

ИЗВЕСТИЯ КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Год основания издания – 1947

Том 90



МОСКВА "НАУКА"

1995

ББК 22.63
И 33
УДК 523

Редакционная коллегия:

член-корреспондент РАН и НАНУ *Н.В. Стещенко* (председатель),
кандидат физ.-мат. наук *Н.И. Шаховская* (ответственный секретарь),
доктор физ.-мат. наук *Р.Е. Гершберг*, доктор физ.-мат. наук *С.И. Гонасюк*,
кандидат физ.-мат. наук *Д.Н. Рачковский*,
кандидат физ.-мат. наук *И.С. Саванов*,
кандидат физ.-мат. наук *Б.М. Владимирский*

Рецензенты:

доктор физ.-мат. наук *А.В. Брунс*,
кандидат физ.-мат. наук *Т.Т. Цап*

Известия Крымской астрофизической обсерватории. Т. 90. – М.: Наука,
И 33 1995. – 215 с.
ISBN 5-02-007016-5

В 90-м томе "Известий Крымской астрофизической обсерватории" публикуются материалы Мемориальной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Григория Абрамовича Шайна, которая состоялась 17–19 апреля 1992 г. в обсерватории, а также шесть оригинальных научных статей, в которых обсуждаются результаты спектральных и фотометрических исследований пекулярных звезд, активных ядер галактик, периодических проявлений солнечной активности и проблемы инструментов и приспособлений для астрофизических наблюдений.

Сборник рассчитан на специалистов в области астрономии, астрофизики и истории астрономии.

И 1605040000-029
042(02)-95 Без объявл.

ББК 22.63

Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory. Vol. 90. – Moscow: Nauka,
1995. – 215 p.

The 90-th volume of the "Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory" presents the proceedings of Memory Conference dedicated to the 100-th anniversary of the birth of Academician Grigorij Abramovich Shajn, that was held on April 17–19, 1992, in the Observatory, and six original papers discussing the results of spectral and photometer investigations of peculiar stars and galaxy active nuclei manifestations of solar oscillations and problems of original facilities and instruments for astrophysic observations.

The collection of papers is intended for specialists in astronomy, astrophysics and history of astronomy.

ISBN 5-02-007016-5

© Коллектив авторов, 1995

МАТЕРИАЛЫ МЕМОРИАЛЬНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПОСВЯЩЕННОЙ СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
АКАДЕМИКА ГРИГОРИЯ АБРАМОВИЧА ШАЙНА
(1892–1956)

PROCEEDINGS OF THE MEMORIAL CONFERENCE
DEDICATED TO THE 100th ANNIVERSARY
OF THE BIRTHDAY OF ACADEMICIAN
GRIGORIJ ABRAMOVICH SHAJN
(1892–1956)

В связи со столетием со дня рождения инициатора создания Крымской астрофизической обсерватории и ее первого директора академика Григория Абрамовича Шайна с 17 по 19 апреля 1992 года в обсерватории состоялась конференция, посвященная памяти этого выдающегося астронома. Конференция прошла по следующей программе.

Вступительное слово было предоставлено директору Крымской астрофизической обсерватории чл.-корр. РАН и НАНУ Н.В. Стещенко.

С мемориальным докладом "Вся его жизнь была отдана науке" выступил канд. физ.-мат. наук К.К. Чуваев.

Со своими воспоминаниями о Шайнах выступили канд. физ.-мат. наук П.П. Добронравин, проф. В.Г. Горбацкий, М.Б. Попова, канд. физ.-мат. наук А.В. Нумерова, д-р физ.-мат. наук В.В. Прокофьева и проф. Н.Д. Калининков. Были зачитаны также воспоминания акад. А.Б. Северного, чл.-корр. Академии наук И.С. Шкловского, проф. А.Я. Шайна, д-ра физ.-мат. наук В.Б. Николаева и оглашено присланное на конференцию письмо акад. Е.К. Харадзе.

С научными докладами выступили д-р физ.-мат. наук И.М. Копылов, канд. физ.-мат. наук Н.С. Черных, д-р физ.-мат. наук И.Г. Колесник, д-р физ.-мат. наук Н.Г. Бочкарев, проф. В.Г. Горбацкий, д-р физ.-мат. наук Н.Н. Горькавый и Т.А. Тайдакова, д-р физ.-мат. наук В.В. Прокофьева, д-р физ.-мат. наук Р.Е. Гершберг.

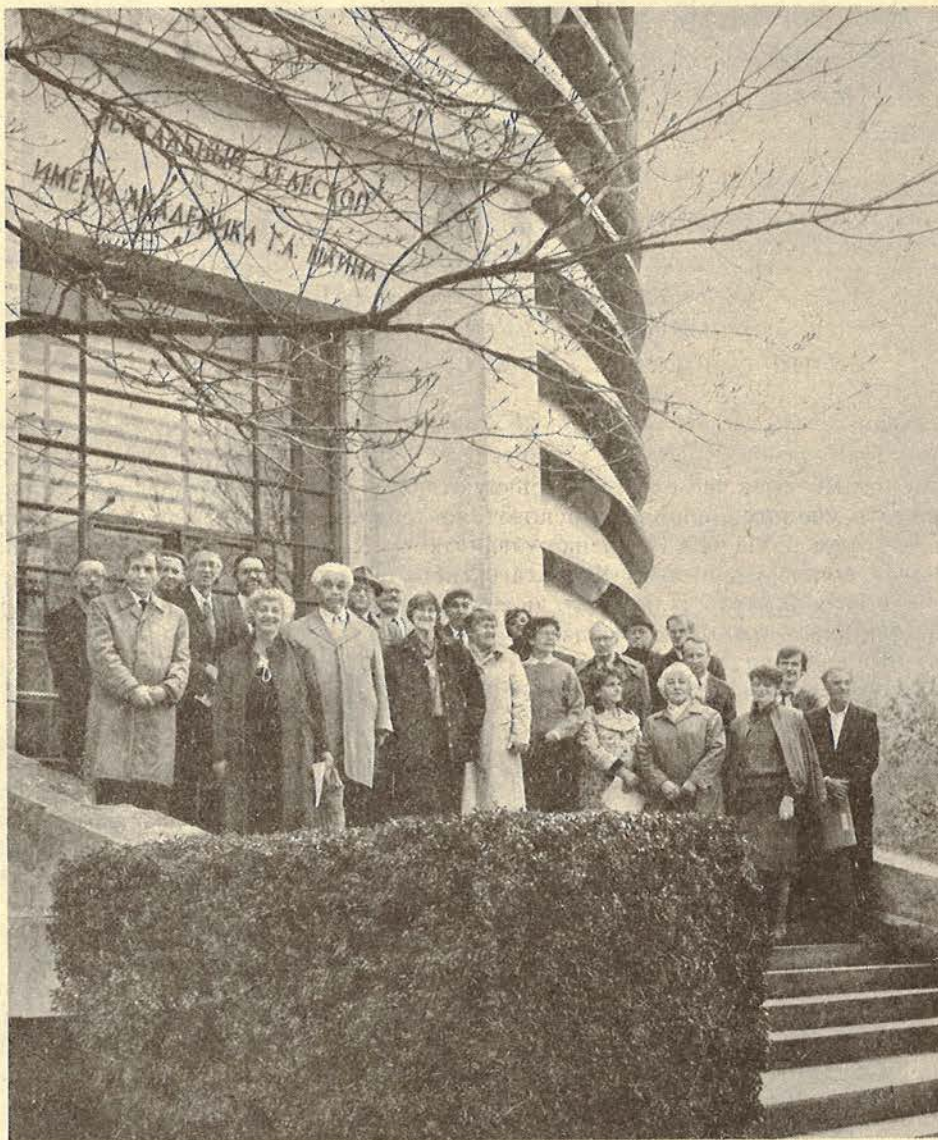
Участники конференции совершили экскурсию на 2,6-метровый зеркальный телескоп им. акад. Г.А. Шайна.

17 апреля в Большом конференц-зале обсерватории состоялся концерт "Музыка Алушкинского дворца", 19 апреля участники конференции посетили Симеизскую обсерваторию на горе Кошка и могилы Г.А. и П.Ф. Шайнов в Голубом заливе.

Все материалы конференции публикуются в настоящем томе Известий КраО. Мы публикуем не только выступления на конференции, но и воспоминания о Шайнах,



Григорий Абрамович Шайн
(портрет художника А.Е. Балковского)



Группа участников конференции у главного входа в башню зеркального телескопа им. акад. Г.А. Шайна
 Слева направо: В.А. Гаген-Торн, В.И. Проник, Т.М. Смирнова, А.К. Алкснис, И.Г. Колесник, А.Б. Нумерова, Н.Д. Калининков, Р.Е. Гершберг, Г.С. Иванов-Холодный, М.Я. Центер, В.Г. Горбачкий, В.Н. Гопасюк, Л.П. Метик, И.М. Антипова-Каратаева, И.М. Копылов, М.Б. Попова, К.Я. Лиморенко, Р.Н. Кумайгородская, П.П. Петров, И.С. Саванов, Т.А. Тайдакова, Н.Н. Горькавый, Ю.И. Нешпор

которые поступили в редакцию позднее, как от наших сотрудников, так и извне. В том включен небольшой отрывок из статьи С.Б. Пикельнера "Г.А. Шайн".

Мы благодарны всем, приехавшим в Крым в столь непростое время на Мемориальную шайновскую конференцию, и всем, кто прислал свои воспоминания. Наша особая благодарность А.И. Еремеевой, которая выслала нам стенограммы Шайновских чтений, состоявшихся в Москве.

Оргкомитет конференции

ВСЯ ЕГО ЖИЗНЬ БЫЛА ОТДАНА НАУКЕ

К.К. Чуваев

Крымская астрофизическая обсерватория

THE WHOLE HIS LIFE WAS DEVOTED TO SCIENCE

К.К. Chuvaev

Сегодня мы отмечаем знаменательную дату – столетие со дня рождения выдающегося ученого, одного из основателей современной астрофизики, действительного члена АН СССР, члена Английского Королевского астрономического общества, почетного доктора Копенгагенского университета, члена Американской академии наук и искусств, первого директора Крымской астрофизической обсерватории Григория Абрамовича Шайна.

Г.А. Шайн родился 19 апреля 1892 года в Одессе в бедной семье столяра. С 1905 года он начал сдавать гимназические экзамены экстерном, поскольку его родители не имели возможности платить деньги за учебу. В 1911 году он с отличием сдал экзамены на аттестат зрелости.

Любовь к астрономии возникла у Г.А. еще в детские годы, после того как он прочитал некоторые книги К. Фламариона. Его первая научная работа "Определение радианта Персеид" была опубликована в 1910 году.

В 1912 году Г.А. поступает на физико-математический факультет Юрьевского университета.

В 1914 году, после начала войны, он вступает добровольцем в действующую армию и находится в ней до 1917 года.

В 1920 году, после прохождения университетского курса, Г.А. сдает экзамен на степень магистра астрономии в Пермском университете, куда был эвакуирован на время войны Юрьевский университет, после чего становится ассистентом кафедры астрономии Томского университета. Там он знакомится, а затем вступает в брак с Пелагеей Федоровной Санниковой, ставшей его верным другом, спутником и помощником.

В 1921 году Шайны переезжают на работу в Пулковскую обсерваторию. Здесь Г.А. сначала выполнил несколько работ, посвященных небесной механике, а затем его привлекли проблемы астрофизики, быстро развивавшейся в то время. Он начал важную работу по изучению орбит, масс и других параметров спектрально-двойных звезд.

После того как в 1924 году для Симеизского отделения Пулковской обсерватории из Англии был получен 40-дюймовый рефлектор, заказанный еще до войны, Шайны в 1925 году переехали в Симеизскую обсерваторию, расположенную на горе Кошка. Здесь прошла вся их последующая жизнь.

Именно в Симеизе расцвел талант Г.А. как большого ученого, наблюдателя, теоретика и организатора науки. Он стал одним из самых крупных астрофизиков страны, хорошо известным всему миру.

В лице Г.А. мы имели человека, для которого непреодолимое желание познать мир, окружающий нашу Землю, возникшее еще в детские годы, не покинуло его никогда. Однако он любил также литературу, музыку, историю. Г.А. был высокообразованным человеком.

За свою жизнь Г.А. как ученый успел сделать очень много. Строение и эволюция звезд, кинематика Галактики, место нашей Галактики среди других галактик, солнечная корона, природа долгопериодических переменных звезд, источники звездной энергии, происхождение звезд и туманностей, магнитное поле Галактики – вот далеко не полный перечень проблем, решением которых он занимался.

Не меньшее значение для астрономии имела научно-организационная деятельность Г.А. Благодаря его усилиям и энергии была восстановлена разрушенная во время войны Симеизская обсерватория, а затем построена новая современная астрофизическая обсерватория.

Можно не сомневаться, что успешное строительство этой новой обсерватории в Крыму инициировало строительство ряда других достаточно крупных обсерваторий и расширение уже существовавших. К таковым можно отнести Абастуманскую, Алма-Атинскую, Бюраканскую, Шемахинскую обсерватории, ГАО Украины, САО и другие.

Теперь, спустя более 35 лет с тех пор как Григория Абрамовича уже нет, для астрономов вообще и сотрудников КрАО особенно интересно вспомнить хотя бы некоторые события, связанные с его работой в Симеизской обсерватории до войны, при восстановлении обсерватории после войны, а затем во время строительства новой обсерватории в Бахчисарайском районе Крыма близ села, которое после войны сперва называлось Партизанским, а теперь – Прохладным.

Итак, в 1925 году Шайны переехали из Пулково в Симеиз. Г.А. было поручено руководство работами по установке 40-дюймового рефлексора, его юстировке и введению в строй. Эти работы были осложнены тем обстоятельством, что фирма "Грэбб и Парсонс", рассчитывавшая получить заказ на монтажные работы, прислала только рабочие чертежи телескопа, но не прислала чертежей монтажных. Помощниками Г.А. в этих работах были В.А. Альбицкий и высококлассный специалист по точной механике Г.А. Фрейберг-Кондратьев, ранее работавший в Пулковской и Николаевской обсерваториях, а также электромеханик Симеизской обсерватории И.Г. Иосько.

Несмотря на упомянутые трудности, работы по монтажу и отладке телескопа были завершены за очень короткое время. Уже в январе 1926 года на телескопе были получены первые спектрограммы звезд.

С этого времени, вплоть до оккупации Крыма немецкими войсками в 1941 году, Г.А. Шайн вместе с В.А. Альбицким использовали для наблюдений буквально каждую ясную ночь. За 15 лет был получен большой наблюдательный материал. Он позволил определить с высокой точностью лучевые скорости около 800 звезд. В то время эта работа имела большое значение для изучения движения звезд и вращения Галактики. Кроме того, Г.А. получил интересные результаты, касающиеся природы двойных звезд, скоростей вращения звезд разных спектральных классов, а также по спектрофотометрии звезд, особенно холодных.

Интенсивная и плодотворная научная деятельность Г.А. была настолько очевидна, что в 1939 году он был избран сразу действительным членом АН СССР.

Как известно, во время Отечественной войны страна потеряла десятки миллионов человеческих жизней и понесла громадный материальный урон. Были разрушены десятки тысяч городов и населенных пунктов. Пострадала во время войны и астрономия. Так, Пулковская обсерватория и ее Симеизское отделение были полностью разрушены. Не удалось вывезти в тыл из Симеиза и 40-дюймовый рефлексор.

После войны детали телескопа и другое оборудование обсерватории было найдено в Потсдаме в виде ржавеющего металлического лома. Сердце телескопа – его

зеркало – было, в сущности, уничтожено, поскольку выбоины, трещины и царапины на поверхности полностью исключали возможность его реставрации.

Таким образом, восстановление Пулковской и Симеизской обсерваторий стало неотложной задачей.

Кроме того, еще до войны было ясно, что для успешного развития астрофизики необходимы телескопы достаточно большого размера, установленные на юге страны. С целью выбора места с хорошим астроклиматом тогда было даже организовано несколько экспедиций в Среднюю Азию, на Кавказ и в Крым.

Многие астрономы, конечно, понимали необходимость серьезных мер для улучшения тяжелого положения, в котором оказалась астрономия. Но одно дело понимать, а другое дело – реально осуществить проект создания современной обсерватории на юге. Заметим, что в условиях послевоенной разрухи нужно было обладать необыкновенным мужеством, энергией и беспредельной преданностью науке, чтобы взяться за решение такой задачи.

Несмотря на плохое здоровье, именно Г.А. принял на себя тяжелое бремя восстановления Симеизской и создания новой обсерватории.

До этого Г.А. непосредственно участвовал в разработке конкретных планов восстановления и развития астрофизики в стране. В 1944 году по его инициативе Симеизская обсерватория становится самостоятельным учреждением, а в 1945 году было принято постановление Правительства о строительстве в Крыму новой современной обсерватории, директором которой был назначен Г.А. Шайн.

Силами вернувшихся из эвакуации сотрудников Симеизской обсерватории В.А. Альбицкого, В.Ф. Газе, Е.Ф. Шапошниковой, С.В. Некрасовой, Л.С. Галкина, а также некоторых сотрудников Астрофизической комиссии Астросовета – О.А. Мельникова, А.Б. Северного, Э.Р. Мустеля, С.Б. Пикельнера, В.П. Вязаницына – в 1944–1945 годах Григорием Абрамовичем были организованы экспедиции по выбору места для новой обсерватории в четырех различных пунктах Крыма, включая Симеиз.

В результате обработки данных наблюдений качества изображений звезд, числа ясных ночей, скорости и направления ветра, которые проводились в течение нескольких месяцев, было установлено, что наилучшим местом является район с. Партизанского в Бахчисарайском районе. Так было выбрано место для строительства новой обсерватории.

В 1946–1947 годах Г.А. возглавил поездку группы наших астрономов в США с целью ознакомления с американской астрофизикой, оснащением обсерваторий, а также возможностью размещения заказов на астрономические инструменты, лабораторные приборы и другое оборудование.

К сожалению, начало холодной войны перечеркнуло все надежды на быстрое восстановление и развитие наблюдательной базы отечественной астрофизики с помощью заграницы. Оказалось, что надеяться нужно только на возможности, которыми располагала наша страна.

Примерно в 1946–1947 годах стало известно, что КрАО может рассчитывать на получение 50-дюймового рефлектора, ранее установленного в Бабельсберге, и 16-дюймового двойного астрографа, изготовленного на заводах Цейсса. Выяснилось также, что и отечественная промышленность намеревается начать изготовление телескопов системы Макутова с оптикой диаметром 200 и 500 мм.

Таким образом, острой проблемой стали вопросы строительства.

Сейчас трудно себе представить, какие титанические усилия требовались от Г.А. в то время, чтобы восстановление Симеиза и строительство новой обсерватории строилось с места. Лишь благодаря его настойчивости, авторитету в академических кругах уже в 1946 году в Крыму была создана крупная строительная организация – ОСМУ "Крымакадемстрой". Ее главной задачей как раз и было строительство новой обсерватории и восстановление Симеизской. Роль Г.А. в преодолении бесконечного

числа организационных, финансовых и всяких других проблем в то время была исключительной.

Но так или иначе уже в 1946 году начались работы по восстановлению Симеизской и строительству новой обсерватории. Постепенно вводились в строй сохранившиеся телескопы малого размера, служебные помещения и жилые здания. Интересно вспомнить хронологию ввода в строй телескопов в Симеизе и в новой обсерватории.

В 1947 году в Симеизе начались систематические наблюдения на спектрогелиоскопе (Е.Ф. Шапошникова). Кроме того, был установлен двойной астрограф с объективами диаметром 120 мм для наблюдения малых планет и переменных звезд (В.А. Альбицкий, П.Ф. Шайн, С.В. Некрасова). В 1948 году были испытаны несколько макетов солнечных телескопов с применением интерферометра Фабри и интерференционно-поляризационного фильтра (А.Б. Северный, Э.Р. Мустель, Е.Ф. Шапошникова, А.Б. Гильварг).

В 1949 году начались наблюдения туманностей на светосильной камере диаметром 450 мм (Г.А. Шайн, В.Ф. Газе). В 1950 году вступил в строй спектрогелиограф (А.Б. Северный).

В 1951 году светосильная камера диаметром 450 мм была заменена на светосильную камеру диаметром 640 мм. Вступил в строй МТМ-200, на котором были начаты фотоэлектрические наблюдения звезд (В.Б. Никонов, Е.К. Никонова). Получены первые спектры туманностей на небулярном спектрографе (С.Б. Пикельнер). К 1952 году в Симеизе были восстановлены все производственные и жилые помещения, а кроме того, построены 2 финских домика и небольшой дом для молодых сотрудников.

В новой обсерватории близ села Партизанского (ныне с. Прохладное) в 1948 году вступил в строй коронограф типа Лио (А.Б. Северный, Е.Ф. Шапошникова, Г.С. Иванов-Холодный). В 1950 году начал работать двойной 16-дюймовый астрограф с объективной призмой (Э.С. Бродская, И.М. Копылов, И.И. Назарова). В 1951 году закончены строительство башни и монтаж телескопа МТМ-500. В 1952 году закончены строительство башни и монтаж 50-дюймового телескопа. Наблюдения на двух последних инструментах начались несколько позднее, после изготовления на ГОМЗе электрофотометра для МТМ-500 по техническому заданию, разработанному В.Б. Никоновым, и нового спектрографа конструкции В.А. Альбицкого для 50-дюймового телескопа, изготовленного в мастерских обсерватории.

К 1952 году, кроме башен для астрономических инструментов, было построено здание механической мастерской, два 8-квартирных дома, несколько финских домиков и около десятка зданий барачного типа, в которых жили рабочие-строители.

Большое внимание в эти годы Г.А. уделял формированию коллектива научных сотрудников. Он считал, что в нем должны быть не только наблюдатели, но и экспериментаторы и теоретики. Так, в штате обсерватории, кроме астрономов, которые работали здесь до войны, появились В.Б. Никонов, П.П. Добронравин, А.Б. Северный, Э.Р. Мустель, Н.А. Козырев, С.Б. Пикельнер, И.С. Шкловский и ряд других. В обсерватории сложился прекрасный, работоспособный коллектив с большим научным потенциалом.

С 1947 года стали издаваться "Известия Крымской астрофизической обсерватории". Редактором этого журнала до 1952 года был Г.А. Шайн.

Итак, к 1952 году в Симеизе на Кошке и в новой обсерватории вступило в строй значительное число телескопов, на которых были начаты или запланированы несколько серьезных и интересных наблюдательных программ. А в ближайшей перспективе обсерваторию ожидала работа, связанная с проектированием и изготовлением 2,6-метрового телескопа (будущего ЗТШ), башенного солнечного телескопа (БСТ), 22-метрового радиотелескопа (РТ-22). Позднее эти крупные проекты были осуществлены.

Таким образом, Г.А. мог с полным основанием считать, что его многолетний труд по созданию астрофизической обсерватории на юге был не напрасным. Крымская астрофизическая обсерватория уже существовала и выдавала научную продукцию высокого качества. Только теперь в 1952 году, когда дальнейшее развитие обсерватории было предопределено и не вызывало сомнений, Г.А., по причине ухудшившегося здоровья, решил оставить директорский пост, продолжая оставаться заведующим Отделом туманностей и межзвездной среды.

Приведенная выше биографическая справка и краткое описание научной и научно-организационной деятельности Г.А., конечно, не дают представления о нем как просто о человеке. В этой связи уместно привести слова С.Б. Пикельнера из его статьи, посвященной Г.А. Шайну и опубликованной в третьем выпуске "Историко-астрономических исследований". Там сказано следующее.

"Уже в юности сложились основные черты характера Григория Абрамовича, сложился тот нравственный облик, который в дальнейшем производил большое впечатление на близко знавших его людей — творческая целеустремленность, правдолюбие, бескомпромиссное требование справедливости, готовность к жертве во имя истины, отказ от излишеств и удобств в жизни".

Эту характеристику следует дополнить упоминанием о его скромности, демократизме и простоте в отношениях с людьми.

Но и после сказанного хочется рассказать о некоторых событиях из жизни Г.А. и обсерватории в послевоенные годы, чтобы оживить его образ.

Впервые я увидел Григория Абрамовича в обсерватории на Кошке летом 1946 года, а последний раз мы встретились, вероятно, в феврале-марте 1956 года в академическом санатории "Узкое" под Москвой, где под присмотром врачей находилась тяжело больная Пелагея Федоровна, да и сам он. Я мог довольно часто видеть Г.А. на работе, во время поездок на строительство новой обсерватории, на прогулках по шоссе под Симеизом, а также во время приемов, которые Пелагея Федоровна и он изредка устраивали для сотрудников обсерватории, примерно на протяжении 6 лет. Последние четыре года встречи были уже редкими, поскольку его отдел оставался еще в Симеизе, тогда как другие отделы переехали в п. Научный. Г.А. также хотел туда переехать. Они с Пелагеей Федоровной на свои средства строили там для себя дом. К сожалению, ни ему, ни Пелагее Федоровне не суждено было дожидаться окончания его строительства.

По стечению обстоятельств после восстановления главного здания обсерватории в Симеизе, в котором кроме лабораторных и рабочих помещений были также и жилые, я получил жилплощадь под кабинетом Г.А. в его квартире. Из-за не очень хорошей звукоизоляции между этажами я по слабым шумам наверху мог определять, когда Г.А. работает, а когда он отдыхает. Хотя с того времени прошло 40 лет, прекрасно помню, что лишь в очень редкие ночи я ложился спать, когда в кабинете Григория Абрамовича было тихо и можно было предполагать, что он уже отдыхает, и очень редко утром, после сна, можно было заподозрить, что он еще отдыхает. Я ложился спать, когда Григорий Абрамович еще работал, и просыпался, когда он уже работал. Это свидетельствует о необычайной работоспособности Г.А. и жесткой регламентации его распорядка дня. Кроме сна и ежедневных систематических не очень продолжительных прогулок, он непрерывно работал как ученый и как директор обсерватории.

Можно думать, что в молодые годы Г.А. не были чужды книги, театр, концерты, кинофильмы, морские купания, т.е. все то, чем обычно увлекается молодежь. Однако за все годы жизни на Кошке я ни разу не встречал его на прекрасных пляжах Симеиза, куда многие сотрудники обсерватории часто ездили на автомашинах после работы.

В начале 50-х годов в большом зале главного здания, где располагались

библиотека Симеизской обсерватории и рабочие места некоторых сотрудников, по вечерам демонстрировались кинофильмы. На просмотр некоторых фильмов приходила Пелагея Федоровна. Но, если память не изменяет мне, я ни разу не видел там Григория Абрамовича.

В первые годы после войны состояние дорог в Крыму было плохим, а поездка из Симеиза до площадки строящейся обсерватории на легковой машине в одну сторону занимала более трех часов. Я не один раз был свидетелем того, как в такую поездку Г.А. брал с собой маленькую подушечку. Он клал ее под голову и, казалось, дремал. Думаю, что это было оптимальным способом использования времени в пути.

Он очень дорожил временем. По-видимому, это обстоятельство, а также умение полностью отдавать себя решению очередной заинтересовавшей его астрофизической проблемы являются ключом к пониманию того, что он много успел сделать в науке.

Перебирая в памяти события, участником которых был Григорий Абрамович, я был поражен следующей мыслью: мне не удалось припомнить ни одного случая, когда, с моей точки зрения, его действия по отношению к кому-то или чему-то были недостаточно мотивированными, несправедливыми и заслуживали критики или осуждения. Возможно, это было результатом пристрастного отношения к Г.А. или эффектом селекции человеческой памяти: часто неприятные события забываются быстрее, чем приятные.

Однако мне известны случаи, когда действия Г.А. и критиковались, и осуждались. Об этом говорит следующий пример.

За очень интересную и важную работу по исследованию тяжелых молекул в спектрах звезд поздних спектральных классов и обнаружение аномально большого содержания изотопа ^{13}C в этих звездах Г.А. был удостоен Сталинской премии I степени. По свидетельству С.Б. Пикельнера, Г.А. тогда говорил, что человеку не нужно столько много денег. Поэтому он обратился в академические и правительственные инстанции за разрешением израсходовать полученную премию на строительство башни и телескопа на новой обсерватории. Но... получил грубый отказ. Отказ сопровождался рассуждением о том, что государство обойдется и без его денег.

Были основания думать, что такой ответ являлся, скорее всего, реакцией высоких партийных кругов на то, что Г.А. имел свою точку зрения на многие вопросы жизни нашего общества, расходящуюся с официальной.

Так, например, в начале холодной войны в стране была развернута кампания борьбы с так называемым преклонением перед иностранщиной. Это касалось всех областей жизни общества. Железный занавес между СССР и Западом был создан и в науке. В то время факты сотрудничества с иностранными учеными или публикация совместных статей, особенно в зарубежных журналах, осуждались.

В разгар этой кампании, в 1947 году, в американском журнале "The Astrophysical Journal" Григорий Абрамович и Отто Струве публикуют статью, посвященную изучению континуума в фиолетовой области спектра углеродных звезд, а в 1948 году во втором томе "Известий КрАО" публикуется статья американского астронома Д. Поппера и Г.А. Шайна "Орбита компонентов спектрально-двойной системы HD 85217". Естественно, что эти статьи были замечены и вызвали неудовольствие высоких партийных инстанций. Как свидетельствует П.П. Добронравин, в то время часто исполнявший обязанности директора в отсутствие Г.А., он был специально вызван в ялтинское отделение Министерства внутренних дел и давал там по этому поводу объяснения.

Г.А. считал, что фундаментальные науки всегда были и будут интернациональными. Всякие действия, препятствующие общению между учеными различных стран, и неразумны, и вредны. Он был убежден, что начавшаяся кампания — явление временное. Следует заметить, что так говорить в те времена было далеко не

безопасно. Я же лично слышал, как он говорил об этом совершенно открыто в присутствии нескольких человек.

Неприятные последствия могло иметь также то, что Г.А. пригласил на работу в Симеизскую обсерваторию и создал нормальные условия для жизни подвергавшимся репрессиям в довоенное время Н.А. Козыреву, В.Ф. Газе, О.М. Герасимович, Е.Ф. Шапошникову.

Иначе поступать Г.А. не мог. Столь сильным у него было чувство справедливости и уважения к человеческой личности.

Как уже отмечалось выше, материальное благополучие и удобства в жизни имели для него второстепенное значение. Поэтому желание Г.А. использовать свою премию на строительство телескопа было не единственным проявлением этой черты его характера. Шайны часто и с удовольствием оказывали материальную помощь как сотрудникам обсерватории, так и строителям, восстанавливавшим обсерваторию. При этом помощь строителям часто оказывалась безвозмездной. Строящийся на их средства дом в поселке Научном Шайны завещали обсерватории для престарелых астрономов, а для оказания материальной помощи молодым астрономам они также завещали около 100 тысяч рублей. На их средства для алушкинской средней школы были приобретены музыкальные инструменты и создан оркестр.

В вопросах науки Г.А. был требовательным и принципиальным. Высшим критерием для него была истина. Он никогда не спешил с выводами. Они делались лишь тогда, когда найденные им свидетельства и аргументы не оставляли места для сомнений. Но не менее строгим было его отношение и к работе других астрономов. Он не мог дать положительной оценки работе, если она того не заслуживала. Менее всего могли влиять на его мнение различного рода конъюнктурные соображения. Вместе с тем свои критические замечания он делал с присущим ему тактом и доброжелательностью.

С улыбкой вспоминается то, как Г.А. реагировал на промахи в работе одного из своих помощников — лаборанта Г.С. Горбачева. Он вслух ругал не Горбачева, а себя, говоря: "Черт бы меня побрал, и зачем я попросил его сделать эту работу?"

Следует специально отметить острое чувство нового, которое было присуще Г.А., независимо от того, касалось ли это теоретических, инструментальных проблем астрофизики или применения в астрофизике достижений в смежных науках.

И действительно, упоминавшиеся выше проблемы, над решением которых в разное время он работал, были проблемами переднего края астрофизики. Особенно впечатляющими, как в смысле методики наблюдений, так и в смысле очень логичной последовательности выполнения, был цикл работ его и В.Ф. Газе, посвященных исследованию туманностей. Большой опыт наблюдателя и глубокое понимание специфики задачи позволили Г.А. с очень скромными и простыми инструментальными средствами разработать весьма эффективную методику, позволившую за короткое время обнаружить более 150 новых эмиссионных туманностей и получить очень важные результаты о природе этих объектов. Позднее эта методика использовалась во многих обсерваториях мира.

При поддержке Г.А. в Крымской обсерватории были впервые выполнены спектральные исследования свечения ночного неба (работы В.И. Красовского), а затем фотометрия области центра нашей Галактики в ближней ИК-области с помощью немецких однокамерных ЭОПов (работа В.И. Красовского, А.А. Калиньяка, В.Б. Никонова). В дальнейшем в КрАО были впервые применены для астрономических целей отечественные однокамерные и многокамерные ЭОПы.

Осенью 1946 года я был свидетелем встречи на Кошке академика Н.Д. Папалакси и Г.А. Шайна. Они обсуждали идею создания на Южном берегу Крыма, в том числе и рядом с обсерваторией, радиоастрономической базы ФИАН. Г.А. горячо поддержал эту идею, а также идею тесного сотрудничества между астрономами оптического и радиодиапазонов, видя за ним большое будущее.

Можно привести еще много примеров, когда Г.А. оказывал не только моральную,

но и реальную поддержку в осуществлении новых идей и разработок. Важно, что такая поддержка оказывалась не только уже известным, но и молодым астрономам.

Не очень часто, несколько раз в году, Шайны приглашали всех, или почти всех, сотрудников обсерватории к себе в гости. Поводы для таких собраний были различные. Можно предполагать, что Пелагея Федоровна и Григорий Абрамович хотели видеть и слышать своих коллег и сослуживцев в непринужденной обстановке. На таких встречах они часто рассказывали и о себе. О двух таких встречах, отдельные детали которых запомнились лучше всего, хочется рассказать подробнее.

Первая была связана с кончиной бывшего президента АН СССР С.И. Вавилова. На ней Г.А. много рассказывал о Сергее Ивановиче как о человеке, ученом и президенте АН. Из рассказа угадывалось, что отношения между этими замечательными людьми были более близкие, чем официальные. Не исключено, что они были дружеские. Я не помню точно всех деталей рассказа, но это были слова, полные горечи от утраты большого ученого, опытного организатора науки, человека с прекрасной душой.

Григорий Абрамович часто бывал на приемах у Сергея Ивановича по самым разнообразным поводам, которые касались вопросов финансирования строительства и оснащения обсерватории, и всегда находил понимание с его стороны. Он удивлялся его способности мгновенно усваивать суть вопроса или проблемы и почти сразу находить оптимальные пути их решения.

В своем рассказе Г.А. делал паузы, во время которых предлагал послушать симфоническую музыку, записанную на диски в исполнении лучших дирижеров и оркестров того времени. Мне кажется, что мы слушали музыку Чайковского и, может быть, Бетховена. Некоторые из присутствовавших тогда утверждают, что звучал "Реквием" Верди.

Не исключено, что второй прием был приурочен к 60-летию Григория Абрамовича. В тот раз он был необыкновенно оживлен и даже весел. За обеденным столом Г.А. рассказывал о некоторых событиях из своей жизни. Рассказ об одной истории Г.А. начал с признания, что в своей жизни он однажды совершил кражу. Дело было летом 1905 года во время восстания на броненосце "Потемкин". В июне или июле "Потемкин" прибыл в Одессу с целью попытаться заправиться топливом, водой и продовольствием. Но портовые власти ответили отказом. Тогда, по рассказу Г.А., при большом стечении народа в порту орудия главного калибра на броненосце стали демонстративно разворачиваться и наводиться в сторону порта. Среди людей, собравшихся в порту, возникла паника и начались беспорядки. Соответствующие элементы, пользуясь паникой, начали грабить склады. Не удержался от искушения принять в этом участие со своими приятелями-мальчиками и Г.А. Тогда-то он и совершил кражу — как он сказал — "уворовал" пачку чая.

Привлекала манера Григория Абрамовича проводить собрания научных сотрудников. Хотя формально Ученый совет обсерватории в то время и существовал, однако в моей памяти он следов о своей деятельности не оставил. Все вопросы жизни обсерватории обсуждались и решались в присутствии всех научных сотрудников. На таких собраниях Г.А. давал подробную информацию о предпринимаемых или принятых им действиях в президиуме АН и в различных учреждениях, с которыми приходилось иметь дело в вопросах, касающихся нужд обсерватории. При обсуждении допускались любые выступления. Он с уважением относился к любым мнениям, в том числе и резко критическим, лишь бы они были высказаны в корректной форме.

В заключение хочется сделать несколько замечаний о жизни коллектива Симеизской обсерватории в те теперь уже далекие годы и об атмосфере, которая царила в нем.

Поскольку башни телескопов, производственные и жилые помещения занимали территорию, едва ли превышающую по своим размерам 200 × 200 метров, жизнь каждого из членов небольшого коллектива сотрудников была на виду у всех остальных.

Невзгоды военных и первых послевоенных лет в той или иной степени коснулись всех жителей Кошки. Можно думать, что это обстоятельство объединяло и сближало людей. Чья-то радость или печаль были радостью или печалью всех остальных. Теплота и доброжелательность, сочувствие и взаимопомощь были характерными чертами во взаимоотношениях между людьми в то нелегкое время.

Естественно, что такой же характер взаимоотношений был и среди астрономов. Удачное сочетание теоретиков и наблюдателей, четкая цель, совпадающая с желанием всех как можно быстрее восстановить Симеизскую обсерваторию и создать новую, хорошо оснащенную обсерваторию, благотворно влияли на стиль работы и атмосферу, царившую среди сотрудников. Они были проникнуты духом творчества и энтузиазма, взаимной поддержки и уважения. Тогда все работали с полной отдачей сил и способностей.

И не случайно, что работы крымских астрономов того времени были заметным вкладом в развитие астрофизики. Теоретические работы и работы, основанные на наблюдениях Г.А. Шайна, В.Ф. Газе, А.Б. Северного, Э.Р. Мустеля, С.Б. Пикельнера, И.С. Шкловского, Н.А. Козырева, В.Б. Никонова, В.А. Красовского и других, получили известность и признание в астрономических кругах у нас и за рубежом. В то же время в обсерваторию пришла талантливая молодежь из университетов, которая училась и успешно осваивала опыт астрономов старшего поколения. Это такие известные теперь ученые, как А.А. Боярчук, И.М. Копылов, Г.С. Иванов-Холодный, Э.Е. Дубов, В.Л. Хохлова, Н.А. Савич и другие.

Также не случайно Симеизская обсерватория была центром притяжения для многих астрономов из других обсерваторий. Сюда приезжали для того, чтобы познакомиться с работами здешних астрономов, установить с ними личные контакты, рассказать о полученных результатах и своих планах и обсудить их. Но для всех самыми желанными были встречи с Григорием Абрамовичем. Всем было известно, что он с большим интересом относится к работам своих коллег независимо от их возраста и положения в астрономическом мире. Все стремились услышать его мнение и оценку новым результатам и идеям. Едва ли будет преувеличением утверждение, что Григорий Абрамович был совестью отечественной астрофизики.

Стиль работы и жизни сотрудников, дух Симеизской обсерватории первых послевоенных лет, по свидетельству многих, кто посещал обсерваторию в то время, производили неизгладимое впечатление. Это время было золотыми годами в ее истории.

Впрочем, наверное, иначе и не могло быть. Во главе коллектива его идейным вдохновителем и руководителем был человек, имевший очень высокие моральные и профессиональные качества, сам внесший значительный вклад в развитие астрофизики как ученый и как организатор науки. Этим человеком был Григорий Абрамович Шайн, вся жизнь которого была отдана науке.

Апрель. 1992 г.

ВРАЩЕНИЕ ЗВЕЗД

И.М. Копылов

Главная астрономическая обсерватория РАН

ROTATION OF STARS

I.M. Kopylov

ВВЕДЕНИЕ. ИСТОРИЯ ВОПРОСА (1928–1948 гг.)

Осевое вращение – это фундаментальная, пожалуй, важнейшая после массы характеристика звезды, являющаяся как бы ее внутренней "температурой". Пониманию этого обстоятельства, а также обоснованию и созданию эффективного метода практического определения скоростей вращения звезд мы в значительной мере обязаны Г.А. Шайну.

Идея о том, что осевое вращение звезд может быть определено из измерения ширин спектральных линий, впервые была высказана У. Эбни в 1877 г. [1]. Однако эта идея сразу же была подвергнута жестокой критике со стороны Г. Фогеля [2] на том основании, что очень большая ширина линий водорода у некоторых звезд не может быть вызвана вращением, поскольку линии других элементов в тех же спектрах обычно выглядят более узкими.

Тем не менее в течение первой четверти нынешнего века было написано примерно 15 работ разных, теперь широко известных авторов, в которых для интерпретации переменности лучевых скоростей и профилей спектральных линий у затменных и спектрально-двойных, а также пульсирующих звезд (например, у цефеид) привлекалась концепция вращения звезд.

Наконец, в самом конце 20-х годов практически одновременно появились две статьи [3, 4], в которых было убедительно показано, что ширины спектральных линий на самом деле являются весьма чувствительным критерием для обнаружения и измерения видимых скоростей вращения звезд. В статье Дж. Кэролла [3] рассматривались преимущественно теоретические вопросы изменения формы спектральных линий в спектрах вращающихся или расширяющихся звезд, в статье же Г. Шайна и О. Струве [4], помимо теоретических аспектов, был обстоятельно разобран метод практического определения скоростей вращения, и он был здесь же применен для определения $u \sin i$ у 83 спектрально-двойных звезд спектральных классов O–B–A, призмённые спектрограммы которых (с дисперсией $10 \text{ \AA}/\text{мм}$ у $\lambda 4500 \text{ \AA}$) имелись в Иеркской обсерватории. Были использованы линии $\text{HeI } \lambda 4471$ и $\text{MgII } \lambda 4481$ (для звезд O–B) и $\text{MgII } \lambda 4481$ для звезд A. Минимальная ширина линий (инструментальный контур спектрографа) была учтена. Точность определения ширин линий (скоростей вращения) лежала в пределах $0,12\text{--}0,20 \text{ \AA}$ ($8\text{--}14 \text{ км/с}$). Анализируя интегральный спектр Юпитера по серии спектрограмм, полученных в 1927 г. с однопризмённым спектрографом 1-метрового телескопа в Симеизе (дисперсия $12,5 \text{ \AA}/\text{мм}$ у $\lambda 4500 \text{ \AA}$), авторы заключили, что минимальная скорость вращения, которая может быть опре-

делена такой методикой по спектрограммам с дисперсией 10–12 Å/мм, составляет 25 км/с.

По существу в [4] впервые был предложен, теоретически обоснован и практически применен метод определения скоростей вращения звезд самых различных типов и групп по спектрограммам с дисперсией 10–30 Å/мм, обеспечивая точность порядка 10–30 км/с. Реальная точность определения $v \sin i$ в той или иной работе зависит от нескольких причин: дисперсии и качества измеряемых спектрограмм, типа и количества использованных линий, разновидности примененного подхода (глазомерная оценка ширин линий на регистрограммах, сравнение измеренного профиля линий с набором теоретических профилей, построенных при разных заданных значениях $v_c \sin i$ и т.д.) и самой величины скоростей вращения.

В последующие 3–4 года в ряде работ метод был применен (с некоторыми модификациями) к определению ширин линий и $v \sin i$ у звезд разных спектральных классов [5, 6], к звездам *Be* со сложными контурами эмиссионных линий (47 звезд В0–В8 [7]), еще раз проверен на богатом спектральном материале, полученном для разных фаз затмения Алголя, и с подтверждением проявившейся тенденции зависимости средней скорости вращения от спектрального класса изучаемых звезд [8]. Эта тенденция была выявлена уже в [6], где было установлено, что средняя видимая скорость вращения $v \sin i$ зависит от спектрального класса звезды: быстрее всего вращаются звезды ранних спектральных классов (В и А), у звезд F8 среднее вращение существенно меньше, у звезд G, К и М признаки заметного осевого вращения уже отсутствуют.

В 1933 г. Г.А. Шайн [9] провел статистику ширин и глубин абсорбционных линий у спектрально-двойных звезд ранних спектральных классов (О–F8) в зависимости от величины орбитального периода, а также у одиночных звезд ранних спектральных классов и выявил ряд важных закономерностей, свидетельствующих о сложном характере зависимости вида профилей линий разных элементов от скоростей вращения звезд.

В своих работах 1933–1934 гг. Дж. Кэрролл [10–12] продолжил обстоятельное теоретическое развитие метода определения $v \sin i$ по профилям спектральных линий с подробным рассмотрением и учетом влияния всех возможных инструментальных и методических ошибок.

В 1933–1934 гг. в серии из трех статей (Ш. Вестгейт [13–15]) были определены скорости вращения 800 звезд в широком интервале спектральных классов от О до F8 ([13]: 275 звезд О–В9, линии HeI 4471 и MgII 4481; [14]: 413 звезд А, линия MgII 4481; [15]: 112 звезд F0–F8, линия SrII 4215), правда, с относительно невысокой дисперсией (около 30 Å/мм у $\lambda 4500$), но с применением единообразной методики.

После 1933–1934 гг. наступил довольно длительный интервал пониженной активности: за примерно 15 лет (после 1934 г. и до конца 40-х годов) было опубликовано всего 3–4 статьи с новыми определениями скоростей вращения для тех или иных типов или групп звезд. Заслуживает внимания работа Б. Смитса и О. Струве (1944 г. [16]), в которой глазомерной оценкой определены ширины линий (скоростей вращения) у 71 звезды В6–G0 в скоплении Плеяды по спектрам с относительно низкой дисперсией (55 Å/мм), – основной целью работы было измерение лучевых скоростей ярчайших звезд Плеяд. В 1945 г. О. Струве определил [17] скорости вращения для 50 звезд Гиад. Кстати, определения $v \sin i$ для звезд Плеяд были повторно сделаны в 1948 г. Э. ван Диеном [18] (75 звезд В6–G0) по спектрограммам с дисперсией 30 Å/мм у H_γ , но уже на основе анализа профиля линии MgII 4481.

Зато в это же время, т.е. в 40-х годах, вышел целый ряд аналитических исследований, в которых рассматривались статистические, теоретические, эволюционные и иные аспекты проблемы вращения звезд.

Упомянем наиболее интересные из них (в хронологическом порядке):

М. Шварцшильд (1942 г. [19]): внутреннее строение вращающихся звезд, учет сил трения, решение задачи для частного случая медленного вращения. См. также результаты ч. II его статьи (1947 г. [20]) о возможности возникновения дифференциального вращения звезд с падением угловой скорости от экватора к полюсу.

Ж. Рэндерс (1942 г. [21]): вращение звезды приводит к анизотропии конвективных движений в (конвективном) ядре с дополнительным прогревом полюсов, что, в свою очередь, приводит к меридиональной циркуляции вещества в более внешних (радиоактивных) слоях звезды.

Р. Балдуин (1944 г. [22]): оценка количественных различий в эффективной температуре быстро вращающихся звезд на полюсах (T_p) и экваторе (T_e).

В. Крогдал (1944 г. [23]): анализ быстрого осевого вращения как причины появления крупномасштабных течений во внешних слоях звезды.

О. Струве (1945 г. [24]): оценка уменьшения величины ускорения силы тяжести на экваторе, оценка предела ротационной неустойчивости для быстро вращающихся звезд. Соображения о происхождении вращения звезд.

В.В. Соболев (1948 г. [25]): вывод о том, что вращение звезд с протяженными атмосферами (WR, Р Лебеда, Ве и т.п.) приводит не только к расширению профилей линий, но и к увеличению их эквивалентных ширин.

Д. тер Хаар (1949 г. [26]): рассмотрение вопроса о происхождении угловых моментов и их изменении с возрастом звезд.

1949–1963 годы

ПЕРВЫЙ СВОДНЫЙ КАТАЛОГ СКОРОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ЗВЕЗД (1964 г.)

С конца 40-х годов снова начал возрастать интерес астрономов к комплексному изучению проблемы осевого вращения звезд, при этом исследования велись сразу по нескольким направлениям.

I. Возобновился процесс массового накопления наблюдательного материала для:

- звезд галактического поля в широком интервале спектральных классов;
- звезд, имеющих общее происхождение (рассеянные скопления, звездные потоки, ОВ-ассоциации и т.п.);
- различных типов переменных звезд или звезд, относящихся к той или иной явно выраженной области или последовательности на диаграмме спектр–светимость.

Хотя сводка почти всех статей по определению $v \sin i$ для различных типов и классов звезд по состоянию на конец 1962 г. дана в [27], основные работы и циклы работ мы здесь кратко прокомментируем с целью сохранения достаточной полноты и последовательности данного обзора.

Статьей [28] начаты многолетние и очень продуктивные исследования А. Слеттебака с соавторами самых разных аспектов звездного вращения. Основной этих исследований послужили обширные наблюдательные программы по определению $v \sin i$ для больших и разнообразных выборок звезд.

[28]: 123 звезды О–В, в том числе звезды Ое–Ве; кроме того, выполнены теоретические расчеты влияния быстрого вращения на светимость (M_v) и температуру (T_{eff}) и, следовательно, показатели цвета звезд.

[29]: 179 ярких звезд В8–А2 из каталога HD.

[30]: 185 ярких звезд В2–В5 из каталога HD.

[31]: 215 ярких звезд А3–G0 из каталога HD.

[32]: 153 звезды спектральных классов О–В.

В последней работе впервые было надежно обосновано сделанное раньше [33] заключение, что у горячих звезд высокой светимости в расширение линий большой вклад вносят крупномасштабные (макротурбулентные) движения в атмосферах, при-

чем этот вклад растет с температурой и светимостью звезды и для звезд 05f–08f и сверхгигантов O9I–B1I становится преобладающим.

С.-Ш. Хуан в 1953 г. [34] определил $v_{\sin i}$ для обширнейшей выборки из 1541 звезды галактического поля спектральных классов O–G по спектрам с дисперсией 10–26 Å/мм. Точность этих определений сравнительно невысока (среднеквадратичная ошибка одного определения $v_{\sin i}$ варьируется от 30 до 60 км/с в зависимости от величины измеряемой скорости), поэтому результаты [34] пригодны преимущественно для статистических целей.

В работах [35, 36] даны измерения $v_{\sin i}$ для 656 звезд F0–K5, классифицированных в системе МК (дисперсия спектрограмм 11 Å/мм, точность определения скоростей 15–20 км/с). Исследованы зависимости $v_{\sin i}$ от спектрального класса и класса светимости.

В [37] измерены $v_{\sin i}$ для 34 гигантов A–F–G (дисперсия 3–20 Å/мм). Данные использованы для установления эволюционной связи между звездами В главной последовательности и гигантами F и G в предположении постоянства углового момента звезды в процессе эволюции.

В [38] сделаны оценки величин $v_{\sin i}$ в 10-балльной шкале для компонентов 51 визуально-двойной звезды (дисперсия 2,8–10 Å/мм). Эти оценки в сводный каталог [27] не были включены.

Г. Абт [39, 40] с большей точностью (3 км/с) определил из детального анализа профилей относительный вклад в расширение линий макротурбулентной скорости v_T в атмосфере и вращательной скорости для 25 специально подобранных ярких гигантов (класс светимости II) и слабых сверхгигантов (класс светимости Ib) спектральных классов A0–F8. Кроме того, методом кривой роста определены микротурбулентные скорости v_T .

Аналогичную работу выполнил Р. Крафт [41] для 7 классических цефеид и 4 непulsирующих сверхгигантов F и G.

В важной работе, представляющей особый интерес при рассмотрении эволюции переменных звезд и характера их вращения, Мак-Намара и Хансен [42] провели тщательные определения (с ошибкой ~5 км/с) скоростей вращения для выборки из 23 pulsирующих переменных типа β Большого Пса и близких к ним по положению на диаграмме спектр–светимость звезд O–B2 классов светимости II–V.

С 1960 г. снова стали появляться работы, посвященные массовому определению скоростей вращения звезд в группировках разного возраста – ценность таких работ в изучении проблемы происхождения и эволюции звезд и их осевого момента чрезвычайно велика.

Дадим краткую аннотированную подборку соответствующей литературы.

[43]: измерены $v_{\sin i}$ для 131 звезды B–F в рассеянных скоплениях Гиады (58 звезд), Ясли (63) и в ассоциации вокруг ζ Персея, Персей OB2 (10). Дисперсия 40 Å у H_γ , ошибки определения скоростей ~25 км/с. В том числе были определены $v_{\sin i}$ для 16 металлических звезд (Am) в Гиадах и Яслях с очередным подтверждением того обстоятельства, что звезды Am имеют $v_{\sin i}$ в среднем в 2–2,5 раза меньше, чем нормальные звезды A-классов светимости III–V. Изучалась статистическая зависимость $v_{\sin i}$ от спектрального класса и показателя цвета ($B-V$). Дана сводка из 22 статей по измерению $v_{\sin i}$ за 1929–1959 гг. с указанием числа звезд, измеренных линий, примененного метода и пр.

[44]: определены $v_{\sin i}$ по 5 линиям HeI, MgII, CII для 50 звезд B0–B3 в ассоциации Ориона OBI. Дисперсия 10,2 Å/мм, ошибки $v_{\sin i}$ в пределах 5–15 км/с.

[45, 46]: определены $v_{\sin i}$ для 109 звезд в ассоциациях Орион OBI, (39, 09.5–B5), Ящерица I (26, 09–B3) и рассеянных скоплениях α Персея (21, B3–A1) и Плеяды (23,

В6–А1). Дисперсия $18 \text{ \AA/мм}$, ошибки v_{ini} в пределах $5\text{--}15 \text{ км/с}$. Фундаментальное исследование, в котором с привлечением сведений о v_{ini} звезд галактического поля и еще 5 звездных скоплений получен ряд основополагающих выводов о различном характере зависимостей (для звезд главной последовательности) величины v_{ini} от спектрального класса (интервал О–G0) и светимости ($-5^m < M < 4^m$) как для звезд поля (смесь звезд разных возрастов и разного происхождения), так и для отдельных звездных группировок.

Результаты работ [45, 46] – последние по времени, включенные в Сводный каталог скоростей вращения, содержащий 2558 звезд и заверченный в мае 1963 г. [27].

Информация о скоростях вращения 2362 звезд, входившая в первую версию каталога, была статистически проанализирована в работах [47, 48], где также описаны в подробностях принципы и методика составления каталога, повторенные в сжатой форме при публикации самого каталога [27]. Собственно каталог содержит текущий номер, номер HD, имя звезды, m_{vis} , спектральный класс (как правило, в системе МК), вес приведенного значения v_{ini} , само значение v_{ini} .

В завершение п. I упомянем еще две статьи, содержащие новые массовые определения v_{ini} , но уже не попавшие в Сводный каталог [27].

[49]: измерены v_{ini} для 123 слабых звезд А0–А5 из каталога HD с $m_{\text{vis}} > 8^m,5$ (дисперсия $\sim 75 \text{ \AA/мм}$ у H_γ , ошибка $20\text{--}30 \text{ км/с}$). Использована методика А. Слеттебака из [28]. Проведена МК – классификация изученных звезд, в результате чего уточнен диапазон спектральных классов (В8–А9). Поскольку галактические широты отобранных звезд лежат в пределах $-90^\circ < b < +10^\circ$, то автор попытался выявить зависимость v_{ini} от b . Слабая зависимость обнаружена: с увеличением галактической широты от $0^\circ\text{--}30^\circ$ до $60^\circ\text{--}90^\circ$ величина v_{ini} уменьшается от $\sim 120 \text{ км/с}$ до $\sim 90 \text{ км/с}$. Кстати, такая тенденция искалась и отмечалась и ранее, например в [33, 50].

[51]: составлена сводка скоростей вращения (и спектральных классов в системе МК) для компонентов 115 визуально-двойных звезд. Проведено сравнение распределений v_{ini} у двойных и одиночных звезд.

II. Во многих случаях желательно знать истинное распределение той или иной выборки звезд по скоростям вращения v_e , свободное от ориентации осей i .

Необходимые соотношения, связывающие параметры распределения видимых скоростей вращения $f(v_e \sin i)$ с параметрами распределения истинных скоростей $f(v_e)$, устанавливаются обычно в предположении о произвольной ориентации осей вращения (углов i) звезд в пространстве. Так, в [52] выведены простые соотношения, позволяющие быстро вычислить первый, второй и третий моменты истинной функции распределения $f(v_e)$ и построить саму эту функцию.

Близкая по сути работа проделана в [53, 54]. Знание функций $f(v_e)$ требуется при разработке практически всех проблем, связанных с осевым вращением звезд, будь то, например, проблема ротационной неустойчивости или анализ соотношений между v_T и v_e , или влияние вращения на наблюдаемые и фундаментальные характеристики звезд, или изменение углового момента на критических стадиях эволюции (рождение звезд, быстрая перестройка внутренней структуры, активная потеря массы и т.п.).

III. В рассматриваемый период времени (1949–1963 гг.) было выполнено несколько интересных работ по выявлению и количественной оценке влияния быстрого осевого вращения на наблюдаемые и на фундаментальные характеристики звезд:

[55]: оценено, что очень быстро вращающиеся звезды могут иметь (при прочих равных условиях, например при равных Sp) абсолютную величину M_V на $\sim 0^m,5$ ярче, чем медленно вращающиеся.

[56, 57]: интенсивности водородных линий в спектрах звезд В (W_λ или индекс β) при

заданных $(U-B)_0$ или спектральном классе тем больше, чем меньше скорость вращения. Дана рациональная физическая интерпретация этому обстоятельству.

Практически одновременно с Мак-Намарой подробное исследование выполнил Б. Гутри [58], давший дополнительно ряд конкретных рекомендаций по учету этого эффекта при определении возрастов В-звезд, по оценке $v \sin i$ и $\sin i$ у звезд — членов скоплений по W_λ (или β) водородных линий и UBV -величинам.

[59] — обстоятельная работа по количественному определению влияния быстрого вращения (в долях $v_e/v_{\text{крит.}}$) на M_V , $B-V$ и $U-B$ (в частности, применительно к звездам Ве). Показано, что ΔM_V может достигать $-0^m,3$, $\Delta(B-V) \sim -0^m,01$ и $\Delta(U-B)$ от $-0^m,01$ до $-0^m,02$.

IV. Продолжалось исследование особенностей взаимосвязи между скоростями вращения, масштабами меридиональной циркуляции и макротурбулентными движениями в атмосферах ранних звезд. Отметим здесь работы [33, 60–62] по изучению связи вращения и макротурбулентности, а также работы теоретического характера [63–65] о перемешивании вещества и механизмов возникновения меридиональной циркуляции во вращающихся звездах.

V. Вопросы происхождения углового момента в процессе формирования звезд из межзвездной среды рассмотрены в [66–68]. Характер изменения скоростей вращения в процессе эволюции звезд (оценка действия законов сохранения углового момента или его потери за счет светового и корпускулярного излучения) рассматривался в [69, 70].

Опубликовано также несколько работ теоретического характера, связанных с изучением внутреннего строения вращающихся звезд, дифференциального вращения, взаимодействия с магнитным полем звезд, пульсаций вращающихся звезд и т.д.

1964–1973 годы

В это десятилетие продолжалось интенсивное накопление все новых и новых данных наблюдений по скоростям вращения самых разных типов и групп звезд, поскольку для получения более достоверных результатов в исследовании физики и эволюции звезд требовалось существенно увеличить, по возможности в единой или близких системах, статистический материал, в первую очередь для особых классов звезд, находящихся на поворотных этапах своей эволюции, нестационарных, с эмиссионными линиями, с сильными магнитными полями, с аномалиями химического состава и т.д.

[71, 72]: определены скорости вращения для 450 звезд O–B5, а также W_λ линий HeI $\lambda 4388$ и $\lambda 4471$. Цель работы — уточнить для ранних звезд В ход зависимости $v \sin i$ от спектрального подкласса (отмечено значимое уменьшение $v \sin i$ в интервале подклассов O9–B1 по сравнению с соседними; см. также более раннее указание на это в [47, 48]). Искалась также зависимость $v \sin i$ у однородных выборок звезд от галактической долготы.

[73]: А. Слеттебак определил $v \sin i$ и спектральные классы в системе МК для 56 поздних В-звезд с эмиссионными линиями (не "типичных" Ве-звезд, B5e–A0e). В результате он установил, что у звезд B6e–B9e истинная скорость вращения на экваторе (v_e) в среднем близка к 350 км/с и что $v \sin i$ определенно зависит от спектрального класса, составляя 305, 278 и 256 км/с для звезд B6e, B7e и B8e соответственно.

[74]: получены указания на то, что в известном потоке Скорпиона–Центавра средние скорости $v \sin i$ звезд В во внутренних и внешних зонах потока значимо различаются. Добавим здесь, что звезды внутренних зон потока определенно моложе, чем звезды внешних зон.

[75]: в малоизвестной (к сожалению) книге М. Хак и О. Струве "Звездная спектроскопия. Нормальные звезды" (1969 г.) опубликован прекрасный обзор боль-

шинства задач и результатов, связанных с самыми разными аспектами проблемы осевого вращения звезд (гл. III, с. 79–109; библиография основных работ по вращению звезд с 1923 по 1967 г., 56 литературных ссылок).

[76]: в 1970 г. опубликованы весьма информативные материалы первого коллоквиума МАС (США, Огайо, Колумбус, 1969 г.), целиком посвященного проблемам вращения звезд.

[77]: определив форму профилей избранных спектральных линий для 60 сверхгигантов 1а, 1в ранних спектральных классов, Дж. Розендаль статистически исследовал относительный вклад $v \sin i$ и v_T в расширение профилей в зависимости от спектрального класса и светимости звезды. Сделан также важный вывод, что у ранних сверхгигантов не обнаруживаются явные признаки потери углового момента в процессе эволюции.

[78]: опубликована (1970 г.) первая версия второго (после [27], 1964 г.) Сводного каталога $v \sin i$, содержащего 3941 сообщение. Основными недостатками этого каталога являются практическое отсутствие необходимых для работы с каталогом других сведений о звездах (кроме $v \sin i$, даны номер звезды и указание на ее визуальную кратность) и недостаточно критическое отношение к редукции $v \sin i$ у разных авторов в единую "стандартную" систему.

[79]: в трех выпусках Трудов обсерватории Асияго (Падуя, 1970–1971–1973 гг.) опубликован компилятивный каталог $v \sin i$ для 2856 звезд. Звезды сгруппированы по следующим классам:

I. Одиночные звезды главной последовательности.

II. Спектрально- и затменно-двойные звезды главной последовательности.

III. Звезды с пекулярными спектрами (Be и Be с оболочками, Bp, Ap, Am).

IV. Гиганты и субгиганты (проэволюционировавшие звезды).

Каталог содержит следующую богатую и важную информацию о каждой звезде: номер HD, BD, ADS, m_V , спектральный класс, V , $B-V$, $U-B$, галактические координаты l , b , $v \sin i$ и указания на принадлежность к скоплению или иной звездной группировке. Каталог был удобен в работе, пользовался большой популярностью у специалистов и послужил основой для большого ряда работ по статистическому изучению вращения у разных типов и групп звезд, в том числе и для нескольких работ его составителей.

Вообще говоря, с конца 60-х–начала 70-х годов быстро увеличивается число статей, посвященных изучению вращения звезд, и расширяются методические подходы по определению $v \sin i$ и области применения результатов таких определений.

Сгруппируем основные работы до 1973 г. включительно по нескольким наиболее важным разделам.

1. Усовершенствование и развитие методов.

[80]: Э. Андерхилл. Модификация метода Г. Шайна и О. Струве.

[81]: Дж. Хатчингс. Очень важная (одна из первых) работа по развитию метода раздельной оценки v_e и $\sin i$ у вращающихся звезд из сопоставления наблюдаемых профилей спектральных линий в далеком ультрафиолете и в видимой области спектра.

2. Влияние быстрого вращения на наблюдаемые (или определяемые) характеристики звезд.

[82–84]: начало серии работ И. Туоминена и В. Осми по изучению возможного влияния осевого вращения на W_λ слабых и сильных линий поглощения и, следовательно, на результаты определения химического состава атмосфер вращающихся звезд.

[85]: о воздействии вращения на распределение энергии в непрерывных спектрах А-звезд. Теоретические расчеты и сравнение с наблюдениями.

3. Определение и анализ скоростей вращения для различных классов и групп звезд, особенно аномальных.

[86]: анализ особенностей $f(v \sin i)$ у различных типов пекулярных и переменных

звезд (типа β Большого Пса, Ве, Ар, Ам, δ Щита и др.) с выводом о том, что характер вращения или его изменения могут служить причиной звездной переменности или быть связанными с аномальностью звезд.

[87–90]: определение скоростей вращения для звезд А и F преимущественно классов светимости III.

Вне обзора приходится оставить, к сожалению, большую подборку статей, где даются полезные, но разрозненные сведения о $v_{\text{sin} i}$ для очень небольших групп или отдельных звезд, а также данные статистики $v_{\text{sin} i}$, подтверждающие ранее сделанные заключения.

4. Вращение звезд и его связь с нерадиальными пульсациями, меридиональной циркуляцией, конвекцией и макротурбулентностью.

[91]: М. Хак. серия из трех статей о связи вращения звезд с крупномасштабными движениями в атмосферах.

[92]: комплексный и очень важный теоретический анализ взаимодействия вращения звезд и конвекции, ведущего к появлению дифференциального вращения, крупномасштабных меридиональных циркуляций и градиента поверхностной температуры звезды от экватора к полюсу.

5. Внутреннее строение и эволюция вращающихся звезд.

[93, 94]: в своем предварительном [93] и затем фундаментальном [94] исследованиях ван ден Хевел, используя наблюдательные данные о $v_{\text{sin} i}$ (преимущественно из каталога [27]) и теорию внутреннего строения и эволюции звезд, выполнил комплексный анализ проблемы происхождения и эволюции звезд Ар, Ам и других медленно вращающихся звезд ранних спектральных классов с учетом эффектов тесной двойственности, обмена и потери массы.

[95, 96]: анализ эволюции звезд с сильными магнитными полями, приводящей к наблюдаемому малому v_c : в случае [95] – за счет перераспределения момента количества движения внутри звезды конвекцией из сильно замагниченных конвективных ядер; в случае [96] – за счет мощного звездного ветра.

Рассмотрению механизмов сильной потери углового момента магнитными звездами в процессе эволюции посвящены также работы [97, 98].

Различные аспекты внутреннего строения, перераспределения масс и внешних проявлений вращения у быстро и медленно вращающихся звезд рассмотрены теоретически в цикле работ И. Туоминена [99].

6. Вращение звезд поздних спектральных классов (G–M), хромосферная активность и связь с возрастом.

[100]: А. Скуманич пришел к заключению, что хромосферная активность, характеризующаяся интенсивность эмиссионных H и K линий CaII, и величина поверхностного магнитного поля (H_p) у поздних звезд пропорциональны скорости осевого вращения (и обратно пропорциональны $t^{0.5}$, где t – время пребывания звезды в пределах главной последовательности).

Эта работа является одной из первых в начавшемся в последующие годы активнейшем изучении комплекса задач, связанных с путями эволюции поздних звезд главной последовательности, характером изменения скоростей вращения, магнитного поля и активностью внешних слоев таких звезд.

1974–1991 годы

В связи с вводом в строй новых крупных телескопов, оснащенных спектрографами с высоким спектральным разрешением и новыми типами светоприемников, и благодаря быстрому развитию методов анализа звездных спектров фронт исследований, связанных с осевым вращением звезд, стал очень быстро разрастаться. Параллельно этому увеличилось внимание к разработке теоретических вопросов формирования

звезд из межзвездной среды, к изучению связи величины углового момента и законов вращения (по радиусу и по поверхности звезд) с особенностями эволюции (и активности) молодых звезд к исходной главной последовательности, в пределах главной последовательности и в последующих стадиях (поздние гиганты и сверхгиганты, пульсирующие звезды и пр.), вплоть до формирования белых карликов, нейтронных звезд и возможных черных дыр.

Однако из-за ограниченности объема данного обзора приходится перейти от аналитически-описательного стиля изложения к краткой, тезисной манере обобщения накопленных за последнее 20-летие сведений и итогов изучения вращения звезд, останавливаясь только на этапных, узловых статьях и основополагающих результатах, тем более что в мою, хорошо упорядоченную картотеку работ по осевому вращению звезд за рассматриваемый период занесено свыше 400 оригинальных и обобщающих статей и сборников таких статей.

1. Продолжалось развитие методов теоретических расчетов профилей спектральных линий, расширенных вращением, атмосферными движениями разных масштабов и другими факторами (Дж. Коллинс, 1947; Ф. Кларк и др., 1979; всего около 7 статей).

2. Велись работы по изучению ориентации осей вращения звезд различных типов в пространстве в связи с процессами звездообразования (Б. Гутри [101]; Д. Содерблом, 1985; Л. Дойль и др., 1984 [102]; 8 статей).

3. Уточнялись и расширялись списки стандартных звезд с наиболее точными определениями скоростей вращения ([103], 217 звезд O9–F9; [104–105]; 5 статей).

4. А. Уесуги и И. Фукуда создали в 1982 г. расширенный Сводный каталог скоростей вращения звезд с полнотой до 1980 г. [106]. Каталог значительно увеличился по сравнению с предыдущей его версией [78] и содержит 6472 записи. Недостатки каталога прежние: имеются лишь номера HD и BD, названия звезд, $v \sin i$ и библиографические ссылки. Каталог имеет код N3063 в ЦАД в Страсбурге.

5. Около 40 статей содержат наблюдательные, статистические и теоретические данные об особенностях вращения звезд Ар и Ам, о взаимодействии вращения и магнитного поля в процессе формирования и эволюции этих звезд до главной последовательности и в ее пределах. Выделим лишь работы [107–111].

6. Развивались методы (см. [81]), а также их критика раздельного определения v_e и $\sin i$ по ультрафиолетовым и по визуальным спектрам звезд ([112, 113] – "развитие", [114] – "критика").

7. Около 50 статей содержат новые наблюдательные данные о $v \sin i$ для тесных и визуально-двойных звезд, "нормальных" звезд В и А с узкими линиями (в связи с проблемой вращения Вр-, Ар- и Ам-звезд), звезд в рассеянных и шаровых скоплениях, звезд гало Галактики, Ве- и В–А–F-звезд с оболочками, новую статистику данных в рамках проблемы эволюции этих звезд. Примеры в [115–117].

8. Дальнейший прогресс достигнут в изучении влияния вращения на самые разнообразные характеристики и параметры звезд: на распределение энергии в спектре, на интенсивности линий, определяемый химический состав атмосфер и спектральную классификацию, на форму поверхности быстро вращающихся звезд и законы изменения T_{eff} и g по поверхности и потемнения к краю диска в разных длинах волн, на светимости M_V , показатели цвета в разных цветовых системах и ИК-избытки цвета и т.д. Из примерно 20 статей упомянем [118–122].

9. Вращение и пульсации звезд (в том числе и нерадиальные). Особое внимание уделялось изучению стимулирования нерадиальными пульсациями потерь вещества у быстро вращающихся звезд (феномен Ве) и характеру пульсаций у медленно вращающихся Вр, поздних Ар-звезд (A3–F0) и звезд типа δ Щита. Из 25 статей по этой теме наиболее информативны [123–125], а также серия работ Д.У. Куртца с соавторами в Monthly Notices RAS; 1987 г. и позже).

10. Роль вращения в эволюции молодых массивных звезд. Влияние вращения на устойчивость массивных звезд, на перемешивание, на увеличение темпов потери массы за счет звездного ветра и, как следствие, на ускоренную потерю углового момента. Выполнено более 40 работ. Из наиболее важных следует назвать [126–130].

11. Из 7 статей по определению периодов вращения звезд типа Т Тельца по кривым периодических изменений блеска этих вращающихся пятнистых звезд отметим лишь [131, 132].

12. Заслуживает специального упоминания серия из десятка работ Ж.-Л. и М. Тассулей, начатая в 1982 г. и рассматривающая теоретически проблему меридиональной циркуляции у вращающихся звезд, в том числе и при наличии магнитного поля. Даю ссылку на 10-ю статью этой серии [133].

13. Выполнен ряд теоретических работ о ранних стадиях формирования вращающихся звезд (протозвезд), в том числе и магнитных, и дальнейших путях их эволюции [134–136]. Общее число работ по этой проблеме не менее 20.

14. В последние годы появились работы по построению моделей вращающихся магнитных белых карликов (6–7 статей).

15. Из примерно 3 десятков статей по моделям внутреннего строения, внутренних движений и устойчивости вращающихся звезд отмечу [138, 139].

16. Важнейшим достижением последних 20 лет в исследовании осевого вращения звезд и связанных с ним физических и эволюционных характеристик звезд явилось теоретическое и практическое развитие и широкое использование нескольких разновидностей фурье-анализа профилей спектральных линий, что позволило, во-первых, добиться весьма высоких точностей в определении $v \sin i$ (до нескольких км/с и даже долей км/с) и перейти к массовому изучению вращения у звезд F–M главной последовательности и других поздних звезд и, во-вторых, получить возможность в результате тонкого анализа профилей линий выделять количественный вклад расширяющих агентов различной природы $v_e \sin i$, дифференциальное вращение, v_p , v_T и др.).

Теоретические основы такого подхода к анализу профилей спектральных линий (переход из λ -пространства в фурье-пространство) сформулировал еще Дж. Кэрролл (начало 30-х годов [3, 10]).

Выдающийся вклад в эту динамичную область астрофизики внесли М. Смит [139], Д. Грей [140–142], А. Воон [143], Д. Содерблом [144, 145], С. Балиунас [146], Т. Диминг [147], У. Бенц и М. Мейджор [148], А. Токовинин [149] и др.

17. Определения скоростей вращения и макротурбулентных движений с высокой точностью, отработанность методики наблюдений в совместном анализе с параметрами звезд, полученными другими методами (хромосферные, эмиссионные линии, радио- и рентгеновское излучения, магнитные поля, переменность блеска и цвета и пр.), позволили выполнить ряд замечательных исследований, связанных с физикой и эволюцией молодых формирующихся звезд, звезд нижней части главной последовательности и красных гигантов, где определяющую роль играют величина и характер осевого вращения [150–162]. Наконец, заслуживают отдельного упоминания Труды недавнего семинара по эволюции вращательных параметров молодых звезд малой массы [163], где суммируются впечатляющие итоги работы за последние 10 лет по этому комплексу проблем.

Общее число известных мне статей по п. 16, 17 не менее 150.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самокритично рассматривая данный обзор как недостаточно удачный и полный, полагаю, что чрезвычайная важность проблемы, значительные достижения в ее разработке за последние 20 лет и большие перспективы на ближайшие годы позволяют мне сформулировать в заключении три пожелания (рекомендации):

А. Настала пора создать действительно сводный каталог скоростей вращения звезд с включением в таковой всех параметров звезд, необходимых для комплексного использования.

Б. Полезно было бы организовать в ближайшие 2–4 года специальное международное совещание, может быть в качестве симпозиума МАС, по современным итогам и проблемам изучения вращения звезд.

В. Актуальным делом являются также подготовка и издание (ведущим специалистом или группой специалистов) добротной и масштабной монографии, целиком посвященной проблеме изучения осевого вращения звезд и многочисленных сопутствующих вопросов (методы, результаты, физика, эволюция).

Апрель. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abney W. de W. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1877. Vol. 37. P. 278.
2. Vogel H.C. // Astron. Nachr. 1877. Bd. 90. S. 71.
3. Caroll J.A. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1928. Vol. 88. P. 548.
4. Shajn G., Struve O. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1929. Vol. 89. P. 222–239.
5. Elvey C.T. // Astrophys. J. 1930. Vol. 71. P. 221.
6. Struve O. // Astrophys. J. 1930. Vol. 72. P. 1–18.
7. Struve O. // Astrophys. J. 1931. Vol. 73. P. 94–103.
8. Struve O., Elvey C.T. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1931. Vol. 91. P. 663–675.
9. Shajn G. // Zs. Astrophys. 1933. Bd. 6. S. 176–192.
10. Caroll J.A. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1933. Vol. 93. P. 478.
11. Caroll J.A., Ingram L.J. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1933. Vol. 93. P. 508–519.
12. Caroll J.A. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1933. Vol. 93. P. 680–690.
13. Westgate Ch. // Astrophys. J. 1933. Vol. 77. P. 141.
14. Westgate Ch. // Astrophys. J. 1933. Vol. 78. P. 46.
15. Westgate Ch. // Astrophys. J. 1934. Vol. 79. P. 357.
16. Smith B., Struve O. // Astrophys. J. 1944. Vol. 100. P. 360.
17. Struve O. // Popular Astr. 1945. Vol. 53, № 5. P. 201–218.
18. Dien E. van // J. Roy. Astron. Soc. Canada. 1948. Vol. 42. P. 249.
19. Schwarzschild M. // Astrophys. J. 1942. Vol. 95. P. 441–453.
20. Schwarzschild M. // Astrophys. J. 1947. Vol. 106, № 3. P. 427.
21. Randers G. // Astrophys. J. 1942. Vol. 95. P. 454–460.
22. Baldwin R.B. // Popular Astr. 1944. Vol. 52. P. 134.
23. Krogdahl W. // Astrophys. J. 1944. Vol. 99. P. 191.
24. Struve O. // Popular Astr. 1945. Vol. 53, № 6. P. 259–276.
25. Соболев В.В. // Астрон. журн. 1948. Т. 25, № 1. С. 3–10.
26. Haar D. ter // Astrophys. J. 1949. Vol. 110. P. 321.
27. Боярчук А.А., Копылов И.М. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1964. Т. 31. С. 44–99.
28. Slettebak A. // Astrophys. J. 1949. Vol. 110. P. 248.
29. Slettebak A. // Astrophys. J. 1954. Vol. 119. P. 146.
30. Slettebak A., Howard R.F. // Astrophys. J. 1955. Vol. 121. P. 102.
31. Slettebak A. // Astrophys. J. 1955. Vol. 121. P. 653.
32. Slettebak A. // Astrophys. J. 1956. Vol. 124. P. 173–175.
33. Huang S.-Sh., Struve O. // Ann. d'Ap. 1954. Vol. 17. P. 85.
34. Huang S.-Sh. // Astrophys. J. 1953. Vol. 118. P. 285.
35. Herbig G.H., Spalding J.F.(Jr.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1953. Vol. 65. P. 192.
36. Herbig G.H., Spalding J.F.(Jr.) // Astrophys. J. 1955. Vol. 121. P. 118.
37. Oke J.B., Greenstein J.L. // Astrophys. J. 1954. Vol. 120. P. 384.
38. Struve O., Franklin K.L. // Astrophys. J. 1955. Vol. 121. P. 337.
39. Abt H.A. // Astrophys. J. 1957. Vol. 126. P. 503–508.
40. Abt H.A. // Astrophys. J. 1958. Vol. 127. P. 658.
41. Kraft R. // Astrophys. J. 1959. Vol. 129. P. 50.
42. McNamara D.H., Hansen K. // Astrophys. J. 1961. Vol. 134. P. 207.
43. Treanor P.J. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1962. Vol. 135. P. 748.
44. McNamara D.H., Larsson H.J. // Astrophys. J. 1962. Vol. 135. P. 748.
45. Abt H.A. // Astron. J. 1962. Vol. 67. P. 267.
46. Abt H.A., Hunter J.H. // Astrophys. J. 1962. Vol. 136. P. 381.
47. Боярчук А.А., Копылов И.М. // Астрон. журн. 1958. Т. 35. С. 804–810.

48. Копылов И.М., Боярчук А.А. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1959. Т. 21. С. 40–53.
49. Svolopoulos S.N. // Astron. J. 1963. Vol. 68. P. 428.
50. Slettebak A., Bahner K., Stock J. // Astrophys. J. 1961. Vol. 134. P. 195.
51. Slettebak A. // Astrophys. J. 1963. Vol. 138. P. 118.
52. Chandrasekhar S., Munch G. // Astrophys. J. 1950. Vol. 111. P. 142.
53. Brown A. // Astrophys. J. 1950. Vol. 111. P. 366.
54. Bohm K.N. // Zs. Astrophys. 1952. Bd. 30. S. 117.
55. Sweet P.A., Roy E.E. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1953. Vol. 113. P. 701.
56. McNamara D.H. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1962. Vol. 74. P. 416–419.
57. McNamara D.H. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1963. Vol. 75. P. 454.
58. Guthrie B.N.G. // Publ. Roy. Obs. Edinburgh. 1963. Vol. 3, № 4. P. 83–107.
59. Collins C.W. // Astrophys. J. 1963. Vol. 138. P. 1134.
60. Huang S.-Sh., Struve O. // Astrophys. J. 1952. Vol. 116. P. 410.
61. Huang S.-Sh., Struve O. // Astrophys. J. 1953. Vol. 118. P. 463.
62. Meadows A.J. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1961. Vol. 123. P. 81.
63. Mestel L. // Astrophys. J. 1957. Vol. 126. P. 550.
64. Baker N., Kippenhahn R. // Zs. Astrophys. 1959. Bd. 48. S. 140.
65. Порфирьев В.В. // Астрон. цирк. Обс. Львовского ун-та. 1960. № 35–36. С. 25–30.
66. Schwarzman E. // Ann. d'Ap. 1954. Vol. 17, № 3. P. 300.
67. Lust R., Schluter A. // Zs. Astrophys. 1955. Bd. 38. S. 190.
68. Dai Ven-Sai // Acta Astron. Sinica. 1962. Vol. 10, № 2. P. 117.
69. Sandage A.R. // Astrophys. J. 1955. Vol. 122. P. 263–270.
70. Белевич В.Ф. // Астрон. журн. 1962. Т. 39, № 5. С. 894–898.
71. Horge S.M., Walker G.A.H. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1965. Vol. 77. P. 231.
72. Walker G.A.H., Horge S.M. // Publ. Dominion Astr. Obs. 1966. Vol. 12, № 19. P. 401–424.
73. Slettebak A. // Astrophys. J. 1966. Vol. 145. P. 121–125.
74. Slettebak A. // Astrophys. J. 1968. Vol. 151. P. 1043.
75. Hack M., Struve O. // Stellar Spectroscopy: Normal stars. Trieste: Osserv. Astron., 1969.
76. The Stellar rotation: Proc. IAU Colloq., 1969 / Ed. A. Slettebak. Columbus (Ohio); Dordrecht, 1970.
77. Rosendahl J.D. // Astrophys. J. 1970. Vol. 159. P. 107.
78. Uesugi A., Fukuda I. // Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. Kyoto. 1970. № 189.
79. Bernacca P.L., Perinotto M. // Contr. Observ. Astrofis. Padova (Asiago). 1970. № 239; 1971. № 250; 1973. № 294.
80. Underhill A.B. // Bull. Astr. Inst. Netherlands. 1968. Vol. 19. P. 56.
81. Hutchings J.B. // Publ. Dominion A.O. Victoria. 1972. Vol. 14, № 4. P. 59.
82. Tuominen I., Osmi V. // The Stellar rotation: Proc. IAU Colloq., 1969 / Ed. A. Slettebak. Columbus (Ohio); Dordrecht, 1970. P. 110–114.
83. Tuominen I., Osmi V. // Astrophys. Lett. 1970. Vol. 6. P. 143.
84. Tuominen I., Osmi V. // Astron. Astrophys. 1971. Vol. 13, № 1. P. 136.
85. Maeder A., Peytremann E. // Astron. Astrophys. 1970. Vol. 7, № 1.
86. Копылов И.М. // Проблемы звездной эволюции и переменные звезды. М.: Наука, 1968. С. 78.
87. Levato H., Malaroda S. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1970. Vol. 82, № 487. P. 741.
88. Nariai K. // Publ. Astr. Soc. Japan. 1971. Vol. 23, № 4. P. 529.
89. Abt H., Chaffee F.H., Suffolk G. // Astrophys. J. 1972. Vol. 175, № 3. P. 279.
90. Danziger I.J., Faber S.M. // Astron. Astrophys. 1972. Vol. 18. P. 428.
91. Hack M. // Sky and Tel. 1970. Vol. 40, № 2, 3, 4.
92. Durney B. // Astrophys. J. 1971. Vol. 163, № 2. P. 353.
93. Heuvel E.P.J. van den // Observatory. 1965. Vol. 85. P. 241.
94. Heuvel E.P.J. van den. A study of stellar rotation. Amsterdam: Horth Holland, 1968. 73 p.
95. Finzi A., Wolf R.A. // Astrophys. J. 1968. Vol. 153, № 3. P. 865.
96. Mestel L., Selley C.S. // The Stellar rotation: Proc. IAU Colloq., 1969. Columbus (Ohio); Dordrecht, 1970. P. 269.
97. Strittmatter P.A., Norris J. // Astron. Astrophys. 1971. Vol. 15. P. 239.
98. Mestel L. // Quart. J. Roy. Astron. Soc. 1971. Vol. 12, № 4. P. 402.
99. Tuominen I.V. // Ann. Acad. Sci. Fenn. VI. Physica. 1972. № 49. P. 391–393.
100. Skumanich A. // Astrophys. J. 1971. Vol. 171, № 3, pt 1. P. 263.
101. Guthrie B.N.G. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1985. Vol. 215, № 3. P. 545.
102. Doyle L.R., Wilcox T.J., Lorre J.J. // Astrophys. J. 1984. Vol. 287, № 1, pt 1. P. 307.
103. Slettebak A. // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1975. Vol. 281, № 20. P. 137.
104. Slettebak A. // Proc. IAU Symp. № 111: Calibration of fundamental stellar quantities. Dordrecht, 1985. P. 163.
105. Soderblom D.R., Pendleton J., Pallavicini R. // Astron. J. 1989. Vol. 97, № 2. P. 539.
106. Uesugi A., Fukuda I. Revised catalogue of stellar rotational velocities / Depart. Astron. Kyoto Univ. Kyoto, 1982. 83 p.
107. Hartoog M.R. // Astrophys. J. 1977. Vol. 212, № 3, pt 1. P. 723.

108. *Fleck R.C.(Jr.)* // *Astrophys. J.* 1980. Vol. 240, № 1. P. 218.
109. *Wolff S.C.* // *Astrophys. J.* 1981. Vol. 244, № 1, pt 1. P. 221.
110. *North P.* // *Astron. Astrophys.* 1984. Vol. 141, № 2. P. 238.
111. *Клочкова В.Г., Копылов И.М.* // *Астрон. журн.* 1985. Т. 62, № 5. С. 947.
112. *Hutchings J.B., Nemec J.H., Cassidy J.* // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1979. Vol. 91. P. 213.
113. *Рызаалени М.* // *Публ. Тартуской астрофиз. общ.* 1986. Т. 51. С. 89.
114. *Karpenter K.C., Slettebak A., Sonneborn G.* // *Astrophys. J.* 1984. Vol. 286. P. 741.
115. *Slettebak A.* // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1982. Vol. 50, № 1. P. 55.
116. *Guthrie B.N.G.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1982. Vol. 198, № 3. P. 795.
117. *Guthrie B.N.G.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1984. Vol. 210, № 1. P. 159.
118. *Balona L.A.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1975. Vol. 173, № 2. P. 449.
119. *Sapar A., Ruusalepp M.* // *Tartu Astrof. Obs. Publ.* 1978. Vol. 46. P. 152.
120. *Slettebak A., Kuzma T.J., Collins G.W.* // *Astrophys. J.* 1980. Vol. 242, № 1, pt 1. P. 171.
121. *Hack C.M.* // *Highlights Astron.* 1980. Vol. 5. P. 809.
122. *Mathew A., Rajamohan R.* // *J. Astrophys. Astron. (India).* 1990. Vol. 11, № 2. P. 167.
123. *Smith M.A.* // *Astrophys. J.* 1977. Vol. 215, № 2, pt 1. P. 574.
124. *Vogt S.S., Penrod G.D.* // *Lick Obs. Bull.* 1983. № 965. P. 661.
125. *Cox J.P.* // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1984. Vol. 96, № 582. P. 577.
126. *Bisnovaty-Kogan G.S., Ruzmaikin A.A.* // *Astron. Astrophys.* 1973. Vol. 27, № 2. P. 209.
127. *Conti P.S., Ebbets D.* // *Astrophys. J.* 1977. Vol. 213, № 2, pt 1. P. 438.
128. *Packet W., Vanbeveren D., D'Greve D.I. et al.* // *Astron. Astrophys.* 1980. Vol. 82, № 1/2. P. 73.
129. *Sreenivasan S.R., Wilson W.J.F.* // *IAU Symp.* № 83: The role of rotation in evolution of massive stars losing mass. Dordrecht, 1979. P. 367.
130. *Nienwenhuijzen H., Jager C. de* // *Astron. Astrophys.* 1988. Vol. 203, № 2. P. 355.
131. *Vrba F.J., Rydgren A.E., Chugainov P.F. et al.* // *Astrophys. J.* 1986. Vol. 303, № 1, pt 1. P. 199.
132. *Shevchenko V.S., Crankin K.N. et al.* // *Inform. Bull. Var. Stars.* 1991. № 3652.
133. *Tassoul H.-L., Tassoul M.* // *Astrophys. J.* 1986. Vol. 310, № 1, pt 1. P. 805.
134. *Horedt G.P.* // *Astrophys. Space Sci.* 1978. Vol. 54, № 2. P. 253.
135. *Durisen R.H., Yang S., Cassen P. et al.* // *Astrophys. J.* 1989. Vol. 345, № 2, pt 1. P. 959.
136. *Kippenhahn R., Thomas H.-C.* // *IAU Symp.* № 93: Fundamental problems in the theory of stellar evolution. Dordrecht, 1981. P. 237.
137. *Nerney S.* // *Astrophys. J.* 1980. Vol. 242, № 2, pt 1. P. 723.
138. *Kiziloglu N.* // *Astron. Astrophys.* 1991. Vol. 243, № 2. P. 405.
139. *Smith M.A., Parsons S.B.* // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1975. Vol. 29, № 289. P. 341.
140. *Грей Д.* Наблюдения и анализ звездных атмосфер. М.: Мир, 1980. 496 с.
141. *Gray D.F.* // *Astrophys. J.* 1982. Vol. 261, № 1, pt 1. P. 259.
142. *Gray D.F.* // *Astrophys. J.* 1982. Vol. 262, № 2, pt 2. P. 682.
143. *Vaughan A.N., Baliunas S.L. et al.* // *Astrophys. J.* 1981. Vol. 250. P. 276.
144. *Soderblom D.R.* // *Astrophys. J.* 1982. Vol. 263. P. 239.
145. *Soderblom D.R.* // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1983. Vol. 53, № 1. P. 1.
146. *Baliunas S.L.* // *Lecture Notes Physics.* 1984. Vol. 193. P. 114.
147. *Deeming T.J.* // *Astrophys. Space Sci.* 1977. Vol. 46, № 1. P. 13.
148. *Benz W., Mayor M.* // *Astron. Astrophys.* 1984. Vol. 138. P. 183.
149. *Токовинин А.А.* // *Письма в "Астрон. журн."* 1990. Т. 16, № 1. С. 52.
150. *Pallavicini R.* // *Messenger (ESO).* 1984. № 35. P. 5.
151. *Duncan D.K.* // *Lecture Notes Physics.* 1984. Vol. 193. P. 128.
152. *Mangeney A., Praderie F.* // *Astron. Astrophys.* 1984. Vol. 130, № 1. P. 143.
153. *Noyes R.W., Weiss N.O., Vaughan A.H.* // *Astrophys. J.* 1984. Vol. 287, № 1, pt 1. P. 769.
154. *Baliunas S.L., Horne J.H. et al.* // *Astrophys. J.* 1985. Vol. 294, № 1, pt 1. P. 310.
155. *Soderblom D.R.* // *Astron. J.* 1985. Vol. 90, № 10. P. 2103.
156. *Simon T., Herbig G., Boesgaard A.M.* // *Astrophys. J.* 1985. Vol. 293, № 2, pt 1. P. 551.
157. *Bohigas J., Garrasco L., Torres C.A.O. et al.* // *Astron. Astrophys.* 1986. Vol. 157. P. 278.
158. *Stewart R.T., Innis J.L., Slee O.B. et al.* // *Astron. J.* 1988. Vol. 96, № 1. P. 371.
159. *Brosius J.W., Mullan D.J., Stencel R.E.* // *Astrophys. J.* 1985. Vol. 288, № 1, pt 1. P. 310.
160. *Gilliland R.L.* // *Astrophys. J.* 1985. Vol. 299, № 1, pt 1. P. 286.
161. *Mekkaden M.V.* // *Astrophys. Space Sci.* 1985. Vol. 117, № 2. P. 381.
162. *Marilli E., Catalano S., Trigilio C.* // *Astron. Astrophys.* 1986. Vol. 167, № 2. P. 297.
163. *Angular momentum evolution of young stars: Proc. NATO Adv. Res. Workshop (Noto, Italy, 1990).* Dordrecht: Kluwer, 1991. 484 p.

ИЗУЧЕНИЕ МАЛЫХ ПЛАНЕТ В КРЫМУ: ОТ ШАЙНОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

Н.С. Черных

Крымская астрофизическая обсерватория

STUDIES OF MINOR PLANETS:
FROM SHAJN UP TO THE PRESENT

N.S. Chernykh

Создание симеизского филиала Пулковской астрономической обсерватории совпало с организацией международной службы малых планет. Симеизская обсерватория с самого начала включилась в эту международную программу [1, 2], и с тех пор Крым неизменно связан с изучением малых планет, внося заметный вклад в исследование особенностей их движения и открытие в поясе малых планет новых объектов.

Наблюдения были начаты в 1912 г. Г.Н. Неуйминым, который в течение почти тридцати лет оставался основным наблюдателем по этой программе. С 1916 г. в наблюдениях принимают участие С.И. Белявский, с 1923 г. – В.А. Альбицкий и с 1925 г. – П.Ф. Шайн. Для наблюдений применялся известный мальцовский двойной астрограф. Тогда во всей международной службе малых планет это был самый маленький инструмент – объективы его камер имели диаметр всего лишь 12 см и фокусное расстояние 60 см. Тем не менее в руках опытных симеизских наблюдателей он давал блестящие результаты, составившие мировую известность Симеизской обсерватории в данной области.

Целью службы наблюдений являлось определение координат известных малых планет для контроля их орбит, а также поиски новых объектов. За год симеизские астрономы фотографировали до 100–150 пар пластинок с малыми планетами. На снимках, сфотографированных по методу Меткофа с экспозицией 2 ч, получались изображения малых планет до 14-й величины, в среднем от 2 до 4 малых планет на пластинке. Новые астероиды в этих пределах яркости уже тогда встречались редко – в среднем один новый объект на 10 известных. За год в Симеизе открывали от 10 до 20 новых астероидов. Все другие обсерватории – участники международной службы малых планет – применяли более мощные астрографы, однако Симеизская обсерватория не уступала большинству из них по числу наблюдений и количеству открытых астероидов.

Наблюдения в Симеизе не прекращались даже в годы гражданской войны и белогвардейской оккупации Крыма.

В 1925 г. в Симеиз переехали Г.А. и П.Ф. Шайны. Хотя Г.А. Шайн специально малыми планетами не занимался, в тот год он также принял участие в программе наблюдений на астрографе. В результате им открыта комета 1925VI Шайн–Комас–Сола, переоткрыта комета Брукса-2 в очередном возвращении и открыты 3 новых малых планеты, получившие впоследствии постоянные номера. П.Ф. Шайн вскоре стала активным участником программы наблюдений малых планет. Ею открыто 17 малых планет, вошедших в каталог под постоянными номерами, и новая комета Шайн–Шалдах.

Великая Отечественная война прервала эту работу, но, и находясь в эвакуации в Китабе, симеизские астрономы продолжали наблюдения и открыли в 1942 г. 5 астероидов.

После войны, когда Симеизская обсерватория стала составной частью вновь со-

Т а б л и ц а 1

Число нумерованных астероидов, открытых разными обсерваториями

Годы	Гейдельберг	Симеиз	Йоханнесбург	Уккль
1912–1915	98	61	14	
1916–1920	102	108	12	
1921–1925	196	52	7	5
1926–1930	458	166	77	61
1931–1935	496	154	346	264
1936–1941	218	114	206	141
1948–1953	372	253	197	253
1912–1953	1940	908	859	724

Т а б л и ц а 2

Вклад обсерваторий в открытие малых планет, получивших постоянные номера

Номера планет	Гейдельберг	Симеиз	Йоханнесбург	Уккль
701–800	44	14	3	
801–900	66	20		
901–1000	58	8	1	
1001–1100	54	23	2	2
1101–1200	44	21	10	10
1201–1300	39	10	15	31
1301–1400	16	14	33	16
1401–1500	26	5	11	8
701–1500	347	115	75	67

зданной Крымской астрофизической обсерватории АН СССР (КраО), одной из первых научных программ в Симеизе стало возобновление наблюдений малых планет. Наблюдения начались в 1947 г. на восстановленном астрографе с объективами от мальцовского телескопа [3, 4]. К тому времени в распоряжении астрономов появились высокочувствительные американские фотопластинки Kodak, на которых с теми же 12-см объективами при двухчасовой экспозиции получались астероиды до 15-й величины. За послевоенный период в Симеизе открыто более 250 нумерованных малых планет. Наблюдения продолжались до 1953 г., пока наблюдатели В.А. Альбицкий (1891–1952) и П.Ф. Шайн (1894–1956) были живы и здоровье позволяло им проводить бессонные ночи у телескопа.

Продуктивность службы наблюдений малых планет можно оценить тремя показателями:

- 1) числом наблюдавшихся объектов и измеренных положений;
- 2) числом обнаруженных нумерованных (известных) астероидов, получивших в результате наблюдений предварительные обозначения;
- 3) числом открытых новых малых планет, получивших постоянные номера на основе наблюдений данной обсерватории.

Подсчеты показали, что всего в Симеизе было определено свыше 12 тысяч приближенных положений уже известных малых планет и выполнено не менее 3 тысяч точных измерений координат новых объектов, обнаруженных в ходе работы. Следует отметить, что в те времена определение координат по фотографии было сложной задачей, так как вычисления производились при помощи арифмометра и таблиц логарифмов. В табл. 1 представлены данные о количестве нумерованных астероидов, открытых в Симеизе и в трех других обсерваториях, наиболее активно работавших по программе наблюдений малых планет в довоенные годы – Гейдельберг (астрограф

40 см), Йоханнесбург (25 см) и Уккль (40 см). В табл. 2 приведены сведения о распределении открытых там планет, получивших постоянные номера. Данные представлены отдельно по каждой сотне номеров.

Симеизская обсерватория по числу открываемых астероидов и числу занумерованных малых планет все годы занимала второе место среди участников международной службы малых планет и уступала первенство лишь Гейдельбергской обсерватории с ее 40-см астрографом. Вклад симеизских астрономов в изучение пояса астероидов является весомым и по масштабам современной международной службы наблюдений малых планет. В Каталоге открытий нумерованных астероидов, изданном в 1982 г. Марсденом [5], симеизский результат стоит на седьмом месте среди достижений 111 обсерваторий мира, имеющих отношение к открытию малых планет.

Интенсивные программы наблюдений малых планет имеют своеобразное последствие — некоторые ранее открытые, а затем утерянные нумерованные малые планеты, годы спустя, переоткрываются другими наблюдателями и в конце концов получают постоянные номера, увеличивая число открытий, когда первооткрывателя уже нет в живых. Так, уже после прекращения наблюдений получили постоянные номера 34 малые планеты, открытые в Симеизе в прежние годы, а всего к настоящему времени занумеровано 145 симеизских малых планет. Одна из них, открытая П.Ф. Шайн 5 сентября 1935 г. и включенная в каталог под номером 1648, по представлению Института теоретической астрономии (ИТА), получила название "Шайна" — в честь Пелагеи Федоровны и Григория Абрамовича, отмечая их заслуги в науке.

С прекращением симеизской службы наблюдений малых планет неоднократно предпринимались попытки организовать такие наблюдения в какой-либо другой обсерватории СССР. В регулярных наблюдениях астероидов был заинтересован прежде всего Институт теоретической астрономии АН СССР, который решением МАС стал после войны Международным центром эфемеридной службы малых планет. Необходимость возрождения астероидной программы в нашей стране неизменно отмечалась в решениях нескольких Всесоюзных астрометрических конференций тех лет, но ни одна из отечественных обсерваторий не хотела брать на себя ведение такой службы. Наконец, в 1963 г. на просьбы ИТА откликнулась дирекция Крымской астрофизической обсерватории, согласившись возобновить работу по малым планетам. Фактически это была новая программа, организованная на новом телескопе, на новом месте (в п. Научный) и новыми исполнителями. Для наблюдений был выделен цейссовский 40-см двойной астрограф. Вести наблюдения было поручено автору, тогда аспиранту ИТА, зачисленному в штат КрАО. В сентябре 1963 г., почти ровно через десять лет после прекращения наблюдений малых планет в Симеизе, на 40-см астрографе были получены первые снимки с малыми планетами [6]. В конце 1964 г. ИТА выделил для работы в Крыму две вакансии, на которые были зачислены Л.И. Черных научным сотрудником-наблюдателем и лаборантка, ей в помощь. Начиная с этого времени и до настоящих дней программа наблюдений малых планет в Крыму выполняется совместно ИТА и КрАО.

40-см астрограф существенно превосходит по своим возможностям слабенький мальцовский телескоп [7]. С полуторачасовой экспозицией он позволяет фотографировать малые планеты до 18-й звездной величины. На пластинках 30×30 см, покрывающих поле 100 кв. градусов, за одну экспозицию получается 20–30 астероидов, а в отдельных благоприятных случаях — даже до 100. Имея широкое поле зрения и обладая достаточно высокой проникающей способностью, телескоп более всего подходит для обзорных наблюдений и поисков новых объектов.

Программу наблюдений малых планет в Крыму в настоящее время ведут 4 человека: 3 сотрудника ИТА и автор данной статьи — сотрудник КрАО. На месте наблюдений, в Крымской обсерватории, выполняется весь комплекс работ, связанных с определением координат фотографическим методом: фотографирование участков неба с малыми планетами, отождествление изображений астероидов на снимках, измерение

негативов и вычисление экваториальных координат объектов. Для нумерованных астероидов, наблюдавшихся как минимум в течение трех ночей, вычисляются предварительные орбиты. Заботами администраций ИТА и КрАО наблюдательная программа обеспечена необходимым оснащением: имеются компаратор звездных пластинок, два координатно-измерительных прибора "Аскорекод" и недавно полученный персональный компьютер. В ИТА для обслуживания крымской программы наблюдений малых планет создано несколько вычислительных программ, которые работают в КрАО на ЭВМ ЕС 1033 и в ИТА на ЭВМ "Эльбрус" и на персональных компьютерах.

В течение года на 40-см астрографе фотографируется 100–120 пар пластинок с малыми планетами, т.е. примерно столько же, сколько в свое время получали за год в Симеизе с мальцовским астрографом. При выборе центров снимаемых областей основное внимание уделяется давно не наблюдавшимся нумерованным планетам, новым объектам, найденным на снимках за предыдущие ночи, и отдельным нумерованным астероидам, ранее обнаруженным в КрАО – тем, которые в перспективе могут получить постоянные номера.

Как известно, Крым отличается резко выраженной неравномерностью распределения ясной погоды по сезонам года. Наибольшая часть наблюдений приходится на конец лета и осень. Годичный цикл наблюдений охватывает обычно 500–600 малых планет с постоянными номерами и примерно такое же число нумерованных астероидов. Большая часть объектов наблюдается по два–три раза. Таким образом, в сумме за год определяется от 2000 до 4000 отдельных положений малых планет. Всего с момента организации программы ИТА–КрАО с 40-см двойным астрографом определено 58 тысяч положений малых планет. Крымский ряд наблюдений отличается высокой полнотой – он охватывает свыше 95% малых планет первых трех тысяч номеров, 90% объектов четвертой тысячи и 80% объектов пятой тысячи номеров. Точность определения координат малых планет фотографическим методом зависит от яркости объектов и для крымского 40-см астрографа характеризуется следующими оценками, полученными на основе анализа остаточных уклонений наблюдений при улучшении орбит (табл. 3):

Т а б л и ц а 3

Объекты	Число наблюдений и временной интервал	Средняя квадратичная ошибка	
		ϵ_α	ϵ_δ
Малая планета 10 Hygiea, $B = 10^m$	70 (1963–1969)	$\pm 0",49$	$\pm 0",36$
Слабые малые планеты 15^m – 17^m	600 (1970–1980)	$\pm 1",7$	$\pm 1",8$

Такая точность вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям к современным астрометрическим наблюдениям малых планет [8].

Суммарная сводка результатов по годам за весь период работы группы ИТА–КрАО показана в табл. 4 (n – число измеренных положений малых планет, N_{un} – число открытых нумерованных астероидов).

Т а б л и ц а 4

Год	n	N_{un}	Год	n	N_{un}	Год	n	N_{un}	Год	n	N_{un}
1964	330	8	1971	2087	509	1978	3437	1350	1985	1686	560
1965	449	20	1972	2098	662	1979	3695	1330	1986	2416	860
1966	908	104	1973	1818	590	1980	2199	980	1987	2797	880
1967	857	104	1974	2241	515	1981	2458	880	1988	678	233
1968	1405	277	1975	2461	860	1982	3895	1200	1989	1650	271
1969	2059	572	1976	2540	980	1983	2148	550	1990	4416	910
1970	1557	278	1977	3251	925	1984	1424	350	1964–1990	56960	16758

Важным результатом программы регулярных наблюдений малых планет является открытие новых объектов. Ненумерованные астероиды обнаруживаются нами практически на каждом снимке. За год наблюдательная группа ИТА-КраО открывает с 40-см астрографом до 500–800 ненумерованных астероидов, а за весь период работы их открыто 17 тысяч. Как обычно, здесь имеется в виду число отдельных обозначений, присвоенных Международным центром. Число объектов, к которым относятся эти обозначения, должно быть раза в два–три меньше, так как почти каждый астероид открывается в нескольких оппозициях и каждый раз получает новое обозначение.

Данные о числе астероидов, получивших постоянный номер, приведены в табл. 5. В ней для каждой сотни номеров указано: n – число астероидов, которые были независимо открыты в КраО до присвоения им номеров, и N^* – число занумерованных планет, открытие которых официально принадлежит КраО. Общее число новых нумерованных планет, зарегистрированных как открытые в КраО, на март 1992 г. составляет 703. В табл. 6 дано распределение их по годам открытия (столбец N_1) и по годам регистрации Международным центром (столбец N_2).

Т а б л и ц а 5

Номер	n	N^*	Номер	n	N^*	Номер	n	N^*
2001–2100	66	19	2701–2800	81	33	3401–3500	84	22
2101–2200	78	28	2801–2900	88	19	3501–3600	81	23
2201–2300	84	30	2901–3000	83	21	3601–3700	84	22
2301–2400	88	27	3001–3100	82	26	3701–3800	80	16
2401–2500	88	33	3101–3200	76	21	3801–3900	77	18
2501–2600	89	26	3201–3300	69	19	3901–4000	87	19
2601–2700	82	23	3301–3400	77	19	Среднее	81,2%	23,2%
						2000–4000		

Т а б л и ц а 6

Год	N_1	N_2	Год	N_1	N_2	Год	N_1	N_2
1964			1974	30	22	1984	6	42
1965			1975	40	3	1985	12	37
1966	10		1976	67	11	1986	8	38
1967	6		1977	88	4	1987	9	41
1968	17	1	1978	99	7	1988		38
1969	38		1979	70	26	1989	3	67
1970	19	3	1980	14	34	1990		67
1971	28	6	1981	22	63	1991		55
1972	43		1982	31	80	1992-III		21
1973	36	2	1983	7	35	Всего	703	703

Т а б л и ц а 7

Обсерватория	Число открытых малых планет, получивших постоянный номер
ИТА-КраО, Крым	703
Паломар, США	453*
Флагстафф-Меза, США	389
Южно-Европейская обсерватория, Чили	176
Клеть, Чехо-Словакия	147

*Включая занумерованные объекты Паломар-Лейденского обзора, открытые в 1960 г.

Для сравнения приведем сведения о числе открытий новых малых планет за тот же период времени в других обсерваториях, принимающих наиболее активное участие в международной программе наблюдений (табл. 7).

Суммарный вклад пяти названных обсерваторий составляет свыше половины от общего прироста числа нумерованных малых планет за последние 25 лет и около 2/3 от числа планет, получивших постоянные номера в результате наблюдений после 1965 г. На долю группы ИТА–КраО приходится четвертая часть открытий последних 25 лет и 14% всего современного числа малых планет с постоянными номерами. Анализ статистических особенностей "крымской коллекции" малых планет показывает, что она отражает все известные характеристики пояса астероидов. Среди открытых в КраО присутствуют представители всех известных групп и семейств астероидов, в том числе один объект группы Аполлона, три малых планеты группы Венгрии и три астероида-тройнца.

Оценивая место группы ИТА–КраО в международной службе малых планет, необходимо отметить, что Крымская обсерватория работает в более трудных условиях, чем, например, обсерватории США и Южно-Европейская обсерватория в Чили. Они, во-первых, находятся ближе к экватору, где условия видимости эклиптикального пояса неба лучше. Во-вторых, они расположены на большей высоте над уровнем моря, поэтому астроклимат там лучше, и, в-третьих, они более оснащены технически. Многие этапы обработки, которые мы до сих пор выполняем вручную, за рубежом давно автоматизированы. В результате мы постоянно запаздываем с публикацией материалов наблюдений и немало теряем на этом.

В заключение необходимо остановиться на перспективах крымской наблюдательной программы по малым планетам. В последние два десятилетия внимание международной астрономической общественности к астероидам резко возросло. Большие успехи достигнуты в области исследования физической природы астероидов. Активизировалась деятельность международной службы наблюдений и открытий малых планет, благодаря чему количество известных малых планет с надежно определенными орбитами за 20 лет удвоилось и теперь превышает 5000, продолжая возрастать. Открыто большое число астероидов во внутренней зоне пояса, ближе орбиты Марса и даже внутри орбиты Земли. Число астероидов, пересекающих орбиту Земли, неожиданно оказалось значительным – уже сейчас их известно 150, а расчеты показывают, что общее число объектов размером больше километра на таких орбитах должно быть около тысячи. Это заставляет изменить прежние оценки вероятности столкновения астероидов с Землей и по-иному смотреть на проблему астероидной опасности. Для координации наблюдательных программ по выявлению астероидов, сближающихся с Землей, при НАСА создана рабочая группа, в которую входят около 30 ведущих специалистов разных стран. При международной неправительственной организации "Международный центр научной культуры – Всемирная лаборатория" создан Международный Институт проблем астероидной опасности (МИПАО), взаимодействующий с ИТА. Проблемы астероидной опасности обсуждались в 1991 г. на нескольких международных конференциях и совещаниях. На них принято решение активизировать поиски близких астероидов существующими наблюдательными средствами и создать сеть из нескольких крупных (2–3 м) широкоугольных телескопов, чтобы в течение следующих 20 лет выявить до 95% объектов размером больше 0,5 км, сближающихся с Землей.

По инициативе МИПАО крымскую программу наблюдений малых планет предполагается в дальнейшем переориентировать на поиски близких астероидов. В связи с тем, что 40-см астрограф при фотографировании быстрых астероидов недостаточно эффективен, планируется восстановить и использовать светосильную камеру $D = 640$ мм, на которой когда-то Г.А. Шайн вел наблюдения диффузных туманностей. На первых порах эта камера будет использоваться как астрограф для прямого фотографирования, а в дальнейшем планируется оснастить ее ПЗС-матрицей.

Т а б л и ц а 8
Сопоставление параметров двух телескопов

Параметры телескопов	40-см астрограф	64-см камера
Относительное отверстие	1 : 4	1 : 1,4
Площадь поля зрения, кв. град	100	20
Масштаб, угл.с/мм	129	230
Предельная экспозиция, мин	90	8
Предельная звездная величина	18,2	18,0

Т а б л и ц а 9
Предельная величина фотографируемых астероидов
в зависимости от скорости их суточного движения

Суточное движение, град/сут	40-см астрограф	64-см камера
0,3	15 ^m ,6	17 ^m ,8
0,5	15,0	17,2
1,0	14,4	16,5
2,0	13,8	15,9

Сравним эффективность 40-см астрографа и 64-см камеры при наблюдениях быстрых астероидов в режиме прямого фотографирования (табл. 8 и 9).

Таким образом, при фотографировании быстрых астероидов 64-см камера будет иметь перед 40-см астрографом преимущество в проникающей способности на две звездных величины. Кроме того, благодаря почти полному отсутствию хроматизма, камера позволит фотографировать в системе V, в которой, как известно, яркость астероидов в 0,8^m выше, чем в системе B.

Замена фотоэмульсии на ПЗС-матрицу повысит проникающую способность телескопа по крайней мере на 3 звездных величины. Поэтому следует ожидать, что 64-см камера с ПЗС-приемником будет способна обнаруживать астероиды до 20^m почти при любой скорости их суточного движения. Короткое фокусное расстояние камеры ($F = 90$ см) в данном случае не является недостатком, а даже окажется положительным фактором, так как обеспечит достаточное угловое поле зрения ($1^\circ \times 1^\circ$ на матрице 1024×1024 элементов и $2^\circ,5 \times 2^\circ,5$ на матрице 2048×2048). Наблюдательная установка на базе 64-см камеры даст возможность открывать за год около десятка астероидов, близких к Земле, и большое количество (до нескольких тысяч) новых астероидов главного пояса. Введение в строй такого мощного наблюдательного средства в дополнение к 40-см астрографу, возможности которого еще далеко не исчерпаны, несомненно откроет новую страницу в истории исследований малых планет в Крыму.

Апрель. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неуймин Г.Н. // Астрон. журн. 1934. Т. 11. С. 504–514.
2. Неяченко И.И. Звезда в подарок. Симферополь: Таврия, 1984.
3. Альбицкий В.А. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1949. Т. 4. С. 197.
4. Шайн П.Ф. // Там же. С. 202.
5. Marsden B.G., Bardwell C.M. Catalogue of discoveries and identifications of minor planets. Cambridge (Mass.): Minor Planet Center, 1982.
6. Черных Л.И., Черных Н.С. // Бюл. ИТА. 1967. Т. 11, № 4. С. 279.
7. Черных Н.С., Черных Л.И. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1975. Т. 58. С. 209.
8. Батраков Ю.В., Дума Д.П., Извеков В.А., Медведев Ю.Д. // Проблемы астрометрии. Тр. 22-й Астрометр. конф. Москва: МГУ. 1986. С. 56.
2. Известия КАО, т. 90

ОТ ПЛОЩАДОК Г.А. ШАЙНА И ПЛАНА П.П. ПАРЕНАГО ДО СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПРОГРАММ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИКИ

И.Г. Колесник

Главная астрономическая обсерватория АН Украины

FROM THE SHAJN'S AREAS AND THE PARENAGO'S PLAN TO MODERN INTEGRATED APPROACHES FOR INVESTIGATIONS OF THE GALAXY

I.G. Kolesnik

ТЕЗИСЫ

1. Исследование свойств Галактики Г.А. Шайн начал еще в предвоенные годы. Это было время, когда большое внимание уделялось исследованиям свойств межзвездного поглощения и структуры поглощающего слоя. Постепенно складывалось представление, что поглощение света звезд определяется отдельными темными туманностями. В этом случае должна быть корреляция между яркостью Млечного Пути и избытком цвета звезд. Можно было ожидать, что чем темнее участок Млечного Пути, тем больше будут избытки цвета звезд, расположенных в этом участке. Такую корреляцию стремился обнаружить Г.А. Шайн. Однако его исследование, проведенное в 1937 году, неожиданно показало отсутствие такой зависимости. Этот результат получил название "парадокс Шайна" – в темных участках Млечного Пути встречались звезды с малым покраснением, а в светлых областях можно было найти сильно покрасневшие звезды. При поисках решения парадокса Шайна было установлено, что видимая яркость Млечного Пути определяется сравнительно близкими туманностями, находящимися на расстояниях 150–250 пк от Солнца. К такому заключению пришел Б.В. Кукаркин в 1939 году. Таким образом, объяснение парадокса Шайна еще больше утвердило представление об облачной структуре поглощающего слоя Галактики.

Второй важный вопрос, рассмотренный Г.А. Шайном в эти годы, связан с определением интегрального спектра Галактики. В 1940 году Г.А. Шайн нашел, что интегральный спектр Млечного Пути имеет тип F5. Это был важный результат для решения вопроса о звездном составе Галактики.

2. Исследования строения Млечного Пути, пространственного распределения и кинематики звезд, а также диффузной материи требуют скоординированных усилий больших научных коллективов. Первая грандиозная программа такого типа была сформулирована Каптейном в 1906 г. Хотя над этой программой работали многие обсерватории мира, план избранных площадок Каптейна остался незавершенным.

Научные направления, которые развивались практически в одно и то же время – в 1954–1955 годах – в Крымской астрофизической обсерватории под руководством Г.А. Шайна и в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга в Москве под руководством П.П. Паренаго, представляли собой крупные комплексные программы исследований пространственного распределения звезд и пылевых облаков в избранных направлениях Млечного Пути.

Выбор площадок Шайна был непосредственно связан с его исследованиями газовых туманностей и возможностями проведения наблюдения в Крымской астрофизической обсерватории. К сожалению, Г.А. Шайн увидел результаты только небольшой части этой огромной работы, выполненной преимущественно коллективом ученых КрАО

(см. список работ по площадкам Шайна). За короткое время были составлены каталоги звездных величин, показателей цвета и спектральных типов свыше 30000 звезд в площадках с эмиссионными туманностями в созвездиях Кассиопеи, Лебеда, Цефея, Щита и Стрельца. На основании данных этих каталогов были проведены обширные исследования спиральных ветвей Персея, Ориона и Стрельца в направлениях, содержащих ОВ-ассоциации. Однако этот значительный комплекс работ не получил предполагавшегося обобщения в плане анализа совместной эволюции больших агрегатов газовых туманностей и комплексов молодых звездных группировок.

Если в Плате площадок Шайна выбирались области с эмиссионными туманностями, то План Паренаго был направлен на изучение областей с темными туманностями. В качестве первого этапа планировалось изучить такие пять областей: по одной области в созвездиях Орла и Тельца с близкими темными туманностями, область ассоциации Ориона и по одной области в Тельце и Лебеде, где поглощение невелико и можно проникнуть до больших расстояний в направлении, перпендикулярном направлению на галактический центр. Предполагалось измерить звездные величины и показатели цвета более чем 40000 звезд, провести их спектральную классификацию, определить собственные движения и, по возможности, лучевые скорости и поляризацию света. По мере выполнения работы первоначальные намерения несколько изменились и главной задачей стало выявление и изучение структуры спиральных ветвей Галактики. В выполнении Плана Паренаго принимали участие разные обсерватории. Наибольший объем работ по составлению каталогов, анализу и обобщению материала провели коллективы ученых Главной астрономической обсерватории АН Украины и Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузии (см. список литературы по Плану Паренаго).

Программа площадок Шайна и Планы Паренаго обладали замечательными свойствами: они способствовали объединению больших коллективов ученых вокруг фундаментальных проблем астрономии и давали возможность на сравнительно небольших телескопах получать важные научные результаты.

3. За три с половиной десятилетия, прошедших после кончины Г.А. Шайна, астрономии стал доступен практически весь диапазон длин волн электромагнитного излучения, и исследования межзвездной среды в радиолиниях молекул и в инфракрасных лучах привели практически к новому видению Галактики. Стали доступными для изучения общая структура галактического диска, кинематика отдельных составляющих Галактики и взаимодействие между ними. На первое место выдвинулись проблемы глобальных эволюционных процессов в Галактике, происхождение и развитие крупных галактических структур, природа спиральной структуры. Сформировались представления об очагах звездообразования и их свойствах. Выяснилось, что с ними связаны одни из крупнейших структур в галактиках, содержащих массы до $10^7 M_{\odot}$ и имеющих размеры 2–4 кпк. Внутри таких структур – сверхоблаков – сосредоточивается сложное переплетение гигантских молекулярных облаков, молодых звездных скоплений, не очень молодых звезд возрастом до 10^8 лет, формирующих вместе звездные комплексы, существование которых обосновал Ю.Н. Ефремов (Ефремов Ю.Н. "Очаги звездообразования в галактиках". М.: Наука, 1989.) Структура и природа таких крупнейших галактических образований далеко еще не изучена. Возникающие при этом проблемы освещены в книге "Строение и эволюция областей звездообразования" / Под ред. И.Г. Колесника. Киев: Наукова думка, 1990.

Чтобы продвинуться в понимании природы звездных комплексов, глубже изучить их составляющие, используя возможности наблюдений в различных диапазонах, была предложена программа "Млечный Путь". Исследования пространственно-кинематических характеристик звезд преимущественно в главном меридиональном сечении Галактики объединила программа МЕГА (Харченко Н.В. // Кинематика и физика небесных тел, 1989. Т. 5, N 6. С. 9).

Проведение этих работ, основанных на широкой кооперации различных обсерваторий, сопряжено в настоящее время со значительными трудностями. Однако можно надеяться, что такие волнующие открытия, как трехосный балдж Галактики, и призыв международного астрономического сообщества "Назад к Галактике!", прозвучавший в Мериленде (США) в 1992 г., вернет нас к сотрудничеству на качественно новом уровне. И можно быть уверенным, что на этом этапе заискрятся новыми гранями богатые россыпи глубоких идей, таящихся в фундаментальном наследии академика Г.А. Шайна.

СПИСОК РАБОТ ПО ПЛОЩАДКАМ Г.А. ШАЙНА*

1. Бродская Э.С. Спектры и величины 400 звезд спектральных классов О–В5 в площадке Млечного Пути с центром $\alpha = 23^h 23^m$, $\delta = +61^\circ$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1953. Т. 10. С. 104.
2. Копылов И.М. Спектры и величины 731 слабой звезды спектральных классов О–В5 в площадке Млечного Пути с центром $\alpha_{1950} = 1^h 25^m$, $\delta_{1950} = +61^\circ 50'$; $3^\circ, 5 \times 3^\circ, 5$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1953. Т. 10. С. 120.
3. Бродская Э.С. Каталог спектральных классов, величин и показателей цвета 5752 звезд в площадке Млечного Пути с центром $\alpha = 23^h 25^m$, $\delta = +61^\circ 31'$ ($l = 81^\circ$, $b = 1^\circ$); площадь 63 кв. град // Изв. Крым. астроф. обсерватории. 1955. Т. 14. С. 3.
4. Бродская Э.С. Исследование межзвездного поглощения в Кассиопее // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1956. Т. 16. С. 162.
5. Бродская Э.С. Исследование спектров и показателей цвета звезд в некоторых участках Млечного Пути // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1956. Т. 16. С. 219.
6. Нумерова А.Б. Пространственное распределение ранних звезд в созвездии Лебеда ($6^\circ \times 6^\circ$) $\alpha_{1950} = 20^h 04^m$, $\delta_{1950} = +36^\circ$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1958. Т. 19. С. 189.
7. Нумерова А.Б. Каталог спектров, фотографических звездных величин и показателей цвета 5000 звезд в созвездии Лебеда на площади $6^\circ \times 6^\circ$ с центром $\alpha_{1950} = 20^h 05^m$, $\delta_{1950} = +36^\circ$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1958. Т. 19. С. 230.
8. Алкснис А.К. Определение звездных величин, показателей цвета и спектральных классов звезд в области с центром $\alpha_{1950} = 21^h 24^m$, $\delta_{1950} = +58^\circ, 5$ (созвездие Цефея; 25 кв. град; 2060 звезд) // Тр. астрофиз. лаб. АН Латвийской ССР. 1958. Т. 7. С. 33.
9. Алкснис А.К. Определение плотности и массы темного облака в Цефее и эмиссионной туманности IC 1396 // Изв. АН Латвийской ССР. 1958. № 9. С. 87.
10. Алкснис А.К. Распределение звезд в области Цефея // Тр. астрофиз. лаб. АН Латвийской ССР. 1961. Т. 8. С. 11.
11. Бродская Э.С., Шайн П.Ф. Спектры и фотографические величины 3340 звезд в созвездии Персея ($\alpha = 2^h 30^m$, $\delta = +58^\circ$; площадь 45 кв. град) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1958. Т. 20. С. 299.
12. Бродская Э.С. Спектры, фотографические величины и показатели цвета 3206 звезд в созвездии Кассиопеи // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1960. Т. 24. С. 160.
13. Проник И.И. Спектральные классы, звездные величины и показатели цвета 3915 слабых звезд в площадке с центром $18^h 10^m$, $-15^\circ 00'$ (1950) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1958. Т. 20. С. 208.
14. Проник И.И. Исследование звездного поля в области Млечного Пути с центром $l = 343^\circ$, $b = 0^\circ$ ($\alpha_{1950} = 18^h 10^m$, $\delta_{1950} = 15^\circ, 0'$); 3915 звезд // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1959. Т. 21. С. 268.
15. Проник И.И. Исследование межзвездного поглощения света в области с центром $l = 343^\circ$, $b = 0^\circ$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1960. Т. 22. С. 152.
16. Проник И.И. Изучение пространственного распределения звезд различных спектральных классов в области с центром $l = 343^\circ$, $b = 0^\circ$ ($\alpha = 18^h 10^m$, $\delta = -15^\circ$) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1960. Т. 23. С. 46.
17. Метик Л.П. Спектральные классы, фотографические величины и показатели цвета 3404 звезд в созвездии Лебеда (центр $\alpha_{1950} = 20^h 44^m$, $\delta_{1950} = +45^\circ$; $7^\circ \times 6^\circ$) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1960. Т. 23. С. 60.
18. Исханов Р.Н. Спектры, величины и цвета А-А-звезд в площадке Млечного Пути с центром $\alpha = 20^h 16^m$, $\delta = +42^\circ 30'$ (952 звезды, О-В-А-звезды) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1959. Т. 21. С. 229.

* Шайн Г.А. // IAU Draft Reports. Meefing, 1955. P. 308.

19. Исханов Р.Н. Исследование поглощения в площадке Млечного Пути с центром $\alpha = 20^h 16^m$, $\delta = +42^\circ 30'$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1959. Т. 21. С. 257.
20. Проник И.И. О-В-звезды в области $\alpha = 18^h 54^m$, $\delta = +5^\circ, 0$ // Астрон. цирк. 1960. № 214. С. 17.
21. Проник И.И. Фотографические величины и показатели цвета 79 ранних звезд О-В2 в площадке с центром $\alpha = 18^h 54^m$, $\delta = +5^\circ, 0$ (размеры площадки $6^\circ \times 6^\circ$; $l = 5^\circ, 5$, $b = 0^\circ$) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1961. Т. 25. С. 37.
22. Нумерова А.Б. Исследование межзвездного поглощения в созвездии Лебеда на площадке с центром $\alpha = 20^h 04^m$, $\delta = +36^\circ$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1961. Т. 25. С. 46.
23. Проник И.И. О функции светимости в области Млечного Пути $l = 343^\circ$, $b = 0^\circ$ // Астрон. журн. 1961. Т. 38. С. 662.
24. Проник И.И. К вопросу о структуре Орионовой ветви // Астрон. журн. 1962. Т. 39. С. 362.
25. Проник И.И. Спектральные классы и звездные величины 1492 звезд в площадке с центром $\alpha = 18^h 54^m$, $\delta = +5^\circ, 00'$ (1950) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1961. Т. 26. С. 351.
26. Бродская Э.С. Распределение поглощающей материи вблизи галактического экватора в области долгот $91^\circ - 107^\circ$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1961. Т. 26. С. 375.
27. Бродская Э.С. Пространственное распределение звезд АО в направлении созвездий Персей-Кассиопея // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1961. Т. 26. С. 382.
28. Метик Л.П. О пространственном распределении О-В2-звезд и поглощающей материи в созвездии Лебеда (центр $\alpha = 20^h 44^m$, $\delta = +45^\circ$) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1961. Т. 26. С. 386.
29. Метик Л.П. Исследование пространственного распределения звезд в области Лебеда и SA40 (центр $l = 52^\circ$, $b = 0^\circ, 5$) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1962. Т. 27. С. 283.
30. Метик Л.П. О плотности пыли и газа в направлении $l = 52^\circ$, $b = 0^\circ$ (созвездие Лебедь) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1963. Т. 29. С. 315.
31. Проник И.И. К вопросу о соотношении плотности газа и пыли в направлении диффузной туманности NGC 6618 // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1963. Т. 30. С. 118.
32. Бродская Э.С. Межзвездное поглощение в направлении Крабовидной туманности // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1963. Т. 30. С. 126.
33. Разник Р.М. Спектры, звездные величины и показатели цвета звезд в площадке с центром $\alpha = 0^h 00^m$, $\delta = +66^\circ, 5$ (15 кв. град; $l = 84^\circ$, $b = 8^\circ$; 605 звезд) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1963. Т. 30. С. 131.
34. Разник Р.М. Исследование распределения пылевого вещества и горячих звезд в окрестностях О-ассоциации с центром $\alpha = 23^h 59^m$, $\delta = +67^\circ$ // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1964. Т. 32. С. 165.
35. Бродская Э.С., Григорьева Н.Б. Спектры, визуальные величины и показатели цвета 2816 звезд в созвездии Кассиопеи // Сообщ. ГАИШ. 1964. № 136. С. 3.
36. Григорьева Н.Б. Распределение поглощающей материи вблизи Млечного Пути в направлении долгот $117^\circ - 124^\circ$ // Астрон. журн. 1964. Т. 41. С. 185.
37. Григорьева Н.Б. Исследование межзвездного поглощения в Кассиопее (галактические долготы $117^\circ - 124^\circ$; $\alpha_{1950} = 0^h 30^m$, $\delta_{1950} = +62^\circ$) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1965. Т. 34. С. 238.
38. Григорьева Н.Б. Пространственное распределение ранних В-звезд и звезд АО в направлении галактических долгот $117^\circ - 124^\circ$ (Кассиопея) // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1967. Т. 36. С. 260.
39. Проник И.И., Шарапова Г.Н. Звездные величины и показатели цвета слабых звезд в площадке с центром $\alpha = 18^h 54^m$, $\delta = +5^\circ, 00'$ (1950) // Сообщ. ГАИШ. 1971. № 168. С. 8-24.
40. Григорьева Н.Б., Проник И.И., Шарапова Г.Н. Исследование пылевых облаков в области Млечного Пути $l = 38^\circ, 0$, $b = +1,2^\circ$ // Сообщ. ГАИШ. 1971. № 168. С. 3-7.

СПИСОК РАБОТ ПО ПЛАНУ П.П. ПАРЕНАГО*

1. Ворошилов В.И., Горделадзе Ш.Г., Колесник Л.Н., Лукацкая Ф.И., Федорченко Г.Л., Хейло Э.С. Каталог фотографических фотовизуальных и фотокрасных величин 22000 звезд (области N 1-2 Плана Паренаго). Киев: Изд-во АН УССР, 1962. 174 с.
2. Априамашвили С.П. Исследование межзвездного поглощения света и пространственное распределение звезд в двух участках Млечного Пути в созвездиях Орла и Щита (область N 1 Плана Паренаго) // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1964. № 30. С. 49-69.
3. Априамашвили С.П. О структуре Галактики в двух избранных направлениях Плана П.П. Паренаго // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1965. № 33. С. 44.
4. Априамашвили С.П. Спектральный каталог звезд в участке созвездия Орла с координатами центра

* Паренаго П.П. // Астрон. журн. 1956. Т. 33. С. 749.

- $\alpha = 19^h 04^m$, $\delta = +6^\circ$ (3883 звезды); $10^\circ \times 8^\circ$ // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1966. № 35. С. 3–44.
5. Априамашвили С.П., Кузнецов В.И. Каталог фотографических и фотовизуальных величин и спектральных классов звезд в области с центром $\alpha = 19^h 22^m$, $\delta = +17^\circ$ // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1966. № 35. С. 45–50.
 6. Кузнецов В.И. Исследование межзвездного поглощения и распределения звезд области $\alpha_{1950} = 19^h 22^m$, $\delta_{1950} = +17^\circ$ // Астрометрия и астрофизика. 1968. № 3. С. 102–108.
 7. Кузнецов В.И. Структурные особенности Млечного Пути в долготах $338^\circ - 22^\circ$ // Астрометрия и астрофизика. 1968. № 3. С. 109–116.
 8. Каландадзе Н.Б. Каталог звездных величин и показателей цвета в системе $U-B-V$, спектральных классов и классов светимостей звезд в Млечном Пути в созвездии Тельца (область № 3 Плана П.П. Паренаго). Ч. 1 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1966. № 35. С. 51–70.
 9. Каландадзе Н.Б. Каталог звездных величин и показателей цвета в системе $U-B-V$, спектральных классов и классов светимостей звезд в Млечном Пути в созвездии Тельца (область № 3 Плана П.П. Паренаго). Ч. 2 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1966. № 35. С. 17–98.
 10. Бартая Р.А., Харадзе Е.К. Результаты спектрального исследования звезд в трех участках Млечного Пути // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1960. № 25. С. 155–163.
 11. Харадзе Е.К., Априамашвили С.П., Кочлашвили Т.А. Каталог фотовизуальных звездных величин спектров и светимостей звезд в области № 2 Плана П.П. Паренаго (созвездие Лебедь; 3915 звезд) // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1964. № 3. С. 3–26.
 12. Априамашвили С.П. Каталог фотографических звездных величин, показателей цвета, спектров и светимостей слабых звезд в двух участках Млечного Пути в созвездиях Орла и Щита (участки в области № 1 Плана П.П. Паренаго и на границе с ней) // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1964. № 31. С. 27–65.
 13. Каландадзе Н.Б. Каталог звездных величин и показателей цвета в системе $U-B-V$, спектров и светимостей звезд в Млечном Пути в созвездии Тельца (область № 4 Плана П.П. Паренаго) // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1964. № 31. С. 66–104.
 14. Ворошилов В.И. Фотографические и фотокрасные величины звезд в области Млечного Пути с центром $\alpha = 18^h 50^m$, $\delta = +5^\circ$ // Докл. АН УССР. 1961. № 5. С. 616–619.
 15. Ворошилов В.И. О построении каталога фотографических, фотовизуальных и фотокрасных величин в площадке с центром $\alpha = 18^h 50^m$, $\delta = +5^\circ$, 2 // Изв. ГАО АН УССР. 1962. Т. 4, вып. 2. С. 128.
 16. Ворошилов В.И. Межзвездное поглощение света в области Млечного Пути с центром $\alpha = 18^h 50^m$, $\delta = +5^\circ$ // Изв. ГАО АН УССР. Киев: Наук. думка, 1963. Т. 5, вып. 1. С. 117.
 17. Ворошилов В.И., Горделадзе Ш.Г. Трехцветная фотометрия звезд в созвездии Орла // Изв. ГАО АН УССР. 1960. Т. 3, вып. 1. С. 126–146.
 18. Горделадзе Ш.Г., Лукацкая Ф.И. Фотографические, фотовизуальные и фотокрасные величины 1000 звезд в созвездии Орла // Изв. ГАО АН УССР. 1961. Т. 3, вып. 2. С. 77.
 19. Горделадзе Ш.Г., Федорченко Г.Л. Фотографические и фотокрасные величины 1100 звезд в области с центром $\alpha = 18^h 53^m$, $\delta = 15^\circ$, 5 (1950) // Изв. ГАО АН УССР. 1961. Т. 3, вып. 2. С. 112.
 20. Колесник Л.Н. Фотографические, фотовизуальные и фотокрасные величины звезд в SA 40 // Докл. АН УССР. 1960. № 7. С. 899.
 21. Колесник Л.Н. Фотокрасные величины 240 звезд в площадке Каштейна № 40 // Изв. ГАО АН УССР. 1960. Т. 3, вып. 1. С. 41.
 22. Колесник Л.Н. Фотокрасные величины звезд в SA 40 // Изв. ГАО АН УССР. 1961. Т. 3, вып. 2. С. 110.
 23. Колесник Л.Н. Исследование межзвездного поглощения в KSA 40 // Изв. ГАО АН УССР. 1961. Т. 4, вып. 1. С. 55.
 24. Колесник Л.Н. Исследование каталога фотографических и фотовизуальных величин 3124 звезд в SA 40 // Изв. ГАО АН УССР. 1963. Т. 5, вып. 1. С. 137.
 25. Федорченко Г.Л. Каталог спектральных классов 1717 звезд в области с центром $\alpha = 19^h$, $\delta = +15^\circ$ // Изв. ГАО АН УССР. 1962. Т. 4, вып. 2. С. 134.
 26. Федорченко Г.Л. Исследование межзвездного поглощения в площадке с центром $\alpha = 19^h 03^m$, $\delta = +15^\circ$, 3 // Изв. ГАО АН УССР. 1963. Т. 5, вып. 1. С. 128.
 27. Чуададзе А.Д. Фотографические звездные величины 570 звезд // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1966. № 35. С. 99.
 28. Сандакова Е.В. Фотографические и фотовизуальные величины звезд в избранных областях // Публ. Киев. астрон. обсерватории. 1961. № 9. С. 27.
 29. Ворошилов В.И. Каталог спектральных классов звезд в двух площадках в созвездии Орла // Физика звезд и межзвездной среды. Киев: Наук. думка, 1966. С. 92–112.
 30. Ворошилов В.И. Каталог фотовизуальных величин звезд в области $\alpha = 19^h$, $\delta = 11^\circ$ // Вопросы астрофизики. Киев: Наук. думка, 1966. С. 136.

31. Ворошилов В.И. Пространственное распределение звезд в области с центром $\alpha = 18^h 50^m$, $\delta = +5^\circ$ // Вопросы астрофизики. Киев: Наук. думка, 1966. С. 156–168.
32. Ворошилов В.И., Полищук Э.П. Распределение межзвездного вещества и звезд в области с центром $\alpha = 19^h$, $\delta = +11^\circ$ // Вопросы астрофизики. Киев: Наук. думка, 1967. С. 5–15.
33. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б. Пространственное распределение звезд и пылевого вещества в направлении на созвездие Кассиопеи ($l = 112^\circ$, $b = 0^\circ, 5$) // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1977. № 48. С. 103–112.
34. Каландадзе Н.Б. Исследование структуры Галактики в трех участках Млечного Пути в направлении на созвездие Тельца (антицентр Галактики) // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1969. № 38. С. 3–18.
35. Костякова Е.Б. Каталог спектров звезд в области созвездия Ориона // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1969. № 38. С. 19–92.
36. Метревели М.Д. Каталог звездных величин, показателей цвета, спектральных классов и классов светимости звезд в Млечном Пути в созвездии Тельца (область № 3 Плана П.П. Паренаго) // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1969. № 38. С. 93–126.
37. Каландадзе Н.Б., Колесник Л.Н., Кузнецов В.И. Строение звездного поля в направлении на скопление NGC 2129 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1971. № 40. С. 39–54.
38. Кузнецов В.И. Каталог спектральных классов слабых звезд вокруг скоплений NGC 6834 и 7654 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1973. № 44. С. 281–290.
39. Гусева Н.Г., Метревели М.Д. Межзвездное поглощение света и пространственное распределение звезд в области вокруг скопления NGC 6802 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1977. № 48. С. 115–124.
40. Метревели М.Д., Кузнецов В.И. Межзвездное поглощение света и пространственное распределение звезд в области вокруг скопления NGC 6823 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1973. № 48. С. 125–134.
41. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б. Некоторые проблемы спиральной структуры Галактики // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1980. № 52. С. 5–14.
42. Колесник Л.Н., Веленичева И.П. О трехмерной структуре спиральных ветвей // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1980. № 52. С. 21.
43. Кузнецов В.И., Гусева Н.Г., Метревели М.Д. Структура Млечного Пути в пространстве между Местной ветвью и ветвью Стрельца // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1980. № 52. С. 23–28.
44. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б., Метревели М.Д. О широтном распределении объектов плоской составляющей II звезды В3–В5, сверхгиганты, цефеиды, скопления, ассоциации // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1982. № 55. С. 133–142.
45. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б., Метревели М.Д. О широтном распределении объектов плоской составляющей I звезды О–В2 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1980. № 53. С. 67–76.
46. Ворошилов В.И., Метревели М.Д. Исследование области вокруг эмиссионной туманности IC 1848 // Астрометрия и астрофизика. 1982. Вып. 47. С. 3–10.
47. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б. Распределение поглощающей материи в Галактике // Астрометрия и астрофизика. 1983. Вып. 50. С. 35–46.
48. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б. Изучение пространственного распределения звезд и пылевого вещества в направлении созвездия Лебедя–Лисички ($l = 65^\circ, 7$, $b = +1^\circ, 2$) // Астрометрия и астрофизика. 1977. Вып. 32. С. 57–67.
49. Ворошилов В.И., Колесник Л.Н. Каталог В, V-величин и спектральных классов 720 звезд в области с центром $\alpha_{1950} = 2^h 17^m, 9$, $\delta_{1950} = +58^\circ 59'$ // Астрометрия и астрофизика. 1977. Вып. 33. С. 21–30.
50. Ворошилов В.И., Гусева Н.Г., Каландадзе Н.Б., Колесник Л.Н., Кузнецов В.И., Метревели М.Д., Хейло Э.С. Каталог В, V-величин и спектральных классов 18000 звезд. Киев: Наук. думка, 1976. 289 с.
51. Каландадзе Н.Б., Колесник Л.Н., Ворошилов В.И. Галактическая структура в долготах $l = 66^\circ, 77^\circ, 113^\circ, 187^\circ$ // Тр. 3-й Европейской астрономической конференции МАС. Тбилиси: Метснереба, 1976. С. 418–422.
52. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б., Кузнецов В.И. Спектральная классификация звезд по нерасширенным низкодисперсионным спектрам. 3. Методика и критерии классификации // Астрометрия и астрофизика. 1977. Вып. 15. С. 15–22.
53. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б., Кузнецов В.И. Межзвездное поглощение света и распределение звезд вокруг звездного скопления NGC 6834 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1972. № 43. С. 55–64.
54. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б., Колесник Л.Н., Полищук Э.П., Федорченко Г.Л. Каталог величин В и V 12000 звезд. Киев: Наук. думка, 1969. 256 с.
55. Ворошилов В.И. О построении каталога фотографических, фотовизуальных и фотокрасных величин в

- площадке с центром $\alpha = 18^h 50^m$, $\delta = +5^\circ$ // Изв. ГАО АН УССР. 1962. Т. 4, вып. 2. С. 128–133.
56. Гусева Н.Г., Метрели М.Д. Распределение межзвездного пылевого вещества в направлении $l \sim 207^\circ$, $b \sim -30^\circ$ // Кинематика и физика небесных тел. 1986. Т. 2, № 2. С. 3–12.
 57. Колесник Л.Н. Пространственное распределение звезд в SA 40 // Исследования по физике звезд и диффузной материи. Киев: Наук. думка, 1964. С. 52–62.
 58. Колесник Л.Н. К вопросу о развитии исследований структуры Галактики оптическими методами // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1965. № 33. С. 41.
 59. Колесник Л.Н. Строение звездного поля в направлении на скопление NGC 6913. 2. Пространственное распределение звезд // Астрометрия и астрофизика. 1970. Вып. 9. С. 23–26.
 60. Каландадзе Н.Б., Колесник Л.Н. Строение звездного поля в направлении на скопление NGC 6913. 1. Межзвездное поглощение // Астрометрия и астрофизика. 1969. Вып. 8. С. 58.
 61. Каландадзе Н.Б., Колесник Л.Н. Пространственное распределение звезд и межзвездного вещества в направлении $l = 76^\circ.9$, $b = +0^\circ.6$ // Астрометрия и астрофизика. 1977. Вып. 32. С. 57–66.
 62. Кузнецов В.И. О возможности спектральной классификации звезд по нерасширенным спектрограммам // Астрометрия и астрофизика. 1969. Вып. 8. С. 73–76.
 63. Кузнецов В.И. Спектральная классификация нерасширенных низкодисперсионных спектров звезд. 1. Каталог спектров слабых звезд вокруг скопления NGC 6913 // Астрометрия и астрофизика. 1971. Вып. 12. С. 32–40.
 64. Кузнецов В.И. Спектральная классификация нерасширенных низкодисперсионных спектров звезд. 2. Уточнение данных о структуре Галактики в направлении скопления NGC 6913 на основании дополнительного списка спектров слабых звезд // Астрометрия и астрофизика. 1971. Вып. 12. С. 40–44.
 65. Кузнецов В.И. Спектральная классификация звезд по нерасширенным низкодисперсионным спектрам. 4. Каталог спектров слабых звезд, вокруг скопления NGC 2129 // Астрометрия и астрофизика. 1972. Вып. 15. С. 22–26.
 66. Ворошилов В.И., Каландадзе Н.Б., Кузнецов В.И. Межзвездное поглощение и распределение звезд вокруг звездного скопления NGC 7654 // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1972. № 43. С. 55–66.
 67. Кузнецов В.И. Классификация звезд по нерасширенным низкодисперсионным спектрограммам и некоторые результаты ее применения для изучения структуры Галактики // Астрометрия и астрофизика. 1978. Вып. 34. С. 30–43.
 68. Кузнецов В.И. Спектральная классификация звезд до 15^m , 0 вокруг скопления NGC 6823 // Астрометрия и астрофизика. 1981. Вып. 45. С. 53–56.
 69. Кузнецов В.И., Метрели М.Д. Структура внутреннего края местной спиральной ветви в направлении на скопление NGC 6823 // Астрометрия и астрофизика. 1982. Вып. 46. С. 36–42.
 70. Ворошилов В.И., Кузнецов В.И., Каландадзе Н.Б. Звездные скопления и проблемы звездной эволюции // Исследование галактического комплекса NGC 2254. Свердловск, 1983. С. 84–91.
 71. Кузнецов В.И. Спектральная классификация слабых О–В-звезд вокруг скопления IC 1805 // Астрометрия и астрофизика. 1984. Вып. 53. С. 34–36.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ГАЛАКТИКИ

Н.Г. Бочкарев

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга

MAGNETIC FIELD IN THE GALAXY

N.G. Bochkarev

ВВЕДЕНИЕ

Последний и очень важный цикл работ, который успел выполнить Г.А. Шайн, был связан с исследованием магнитного поля Галактики. Интерес к этой теме пробудился у него в начале 50-х годов, после того как накопилось достаточно свидетельств существования магнитного поля Галактики. Григорий Абрамович оставил важный след в его изучении. Часть результатов Г.А. Шайна, посвященных этой теме, до сих пор часто цитируется, воспроизводится в монографиях и учебниках. С тех пор изучение магнитного поля Галактики продвинулось очень далеко. Были найдены и использованы новые методы индикации поля, разработана теория его происхождения, осознана огромная роль магнитных полей в процессах, протекающих в межзвездном газе. В последнее время появилась возможность изучать магнитные поля других галактик. Наиболее полное изложение современного состояния рассматриваемой темы содержится в книге Рузмайкина, Соколова, Шукурова [1]. При подготовке данного доклада мы в значительной степени опирались на указанную монографию.

1. ИНДИКАТОРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1.1. КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

По-видимому, первое указание на существование межзвездного магнитного поля было сделано Альфвеном в 1937 г. [2] в связи с проблемами распространения и изотропии космических лучей. Он предположил, что электромагнитные поля звезд, околозвездного вещества и в межзвездной среде могут иметь достаточные напряженность и протяженность для ускорения космических лучей. Лишь к концу 40-х годов появились расчеты необходимых масштабов и напряженностей поля. Ферми в 1949 г. [3] выдвинул гипотезу общегалактического магнитного поля и предложил механизм ускорения частиц при движении магнитных облаков (механизм Ферми). В том же году Рихтмайер и Теллер [4] показали, что для ускорения частиц до $E = 10^{17}$ эВ необходимо существование поля напряженностью $H = 10^{-6}$ Э в объеме с радиусом $r = 3 \cdot 10^{20}$ см (100 пк). Одновременно опубликовал расчеты ускорения космических лучей в магнитных полях звезд и межзвездной среды Я.П. Терлецкий, а Альфен [5] из соображений равномерного распределения плотностей энергии кинетических движений межзвездного газа и магнитного поля

$$\rho v^2/2 = H^2/8\pi \quad (1)$$

получил очень хорошую оценку напряженности магнитного поля Галактики:

$$H = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Э.} \quad (2)$$

Эти работы были стимулированы открытием в 1949 г. межзвездной поляризации света звезд (см. разд. 1.3). Немного позже, в 1953 г., Пикельнер [6, 7] показал, что для удержания космических лучей в Галактике необходимо магнитное поле не только в диске, но и в гало Галактики.

Нетепловое фоновое радиоизлучение было открыто Янским в 1932 г. [8], а его галактическое происхождение стало ясно в результате работы Рибера в 1940 г. [9]. В 1950 г. оно было интерпретировано как синхротронное излучение релятивистских электронов в межзвездном магнитном поле Галактики (Альфен и Герлофсон [10]; Киппенхойер [11]). Эта интерпретация была развита в работах В.Л. Гинзбурга, И.С. Шкловского, Г.Г. Гетманцева и др. [12, 13]. Справедливость такой интерпретации, а следовательно, и связи нетеплового фонового радиоизлучения с магнитными полями была окончательно доказана в результате открытия Разиным в 1958 г. [14] линейной поляризации фонового радиоизлучения. Стало ясно, что параметры фонового радиоизлучения (интенсивность, поляризация, неоднородность) несут информацию о поперечной по отношению к лучу зрения компоненте магнитного поля ($H_{\perp}$).

Климишин и Базилевич в 1963 г. [15] впервые попытались получить спектр размеров неоднородностей магнитного поля Галактики по данным о флуктуациях интенсивности и поляризации фонового радиоизлучения. Как показал Берн [16], для случая, когда все компоненты регулярного поля равны, степень поляризации определяет соотношение регулярной и хаотической компонент поля:

$$p \sim p_0 \frac{\text{Энергия регулярного поля}}{\text{Полная магнитная энергия}}, \quad (3)$$

где p_0 — степень поляризации синхротронного излучения в однородном магнитном поле. Дальнейшее развитие этого метода выполнено Чибисовым и Птускиным в 1981 г. [17]; подробное обсуждение его содержится в книге Рузмайкина и др. [18].

Межзвездные поля в других галактиках по их нетепловому радиоизлучению стали изучать в конце 70-х годов (Аллен и др. [19]; Бек и др. [20]).

1.3. МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Межзвездная поляризация света, послужившая основным толчком к утверждению представлений о существовании межзвездных полей, была открыта случайно. С. Чандрасекар в 1946 г. [21] и В.В. Соболев в 1949 г. [22] независимо друг от друга показали, что излучение горячих звезд на краю их диска должно быть линейно поляризовано на 11,5%. Излучение сферически симметричной звезды остается неполяризованным, но при взаимных затмениях звезд в тесных двойных системах должна появляться линейная поляризация. Это теоретическое предсказание дало толчок наблюдательному изучению поляризации излучения звезд. Как выяснилось впоследствии, сам эффект оказался очень слабым и был экспериментально обнаружен лишь в 80-х годах Дж. Кемпом. Но стимулированные им работы привели к неожиданному и очень важному результату: наблюдения, начатые одновременно несколькими группами (Хилтнер 1949 г. [23, 24]; Холл 1949 г. [25]; Холл и Майкесел 1949 г. [26]; Домбровский 1949 г. [27]), привели к открытию межзвездной поляризации излучения большинства звезд. История этих работ кратко описана Шуловым [28].

Для обнаруженного эффекта не нашлось другого разумного объяснения, кроме предположения, что поляризация вызывается ориентацией по отношению к магнитным полям межзвездных пылинок несферической формы. Вскоре было предложено несколько механизмов ориентации пылинок, в том числе Девисом и Гринстейном [29] и Спитцером и Тукием [30]. Проверку временем выдержал лишь механизм, предложенный Л. Девисом и Дж. Гринстейном. Стало ясно, что межзвездная поляризация, как и фоновое радиоизлучение, несет информацию о поперечной компоненте магнитного поля.

Когда накопилось достаточно много наблюдательных данных, возник вопрос об их систематизации и интерпретации. Этой теме посвящена последняя работа Г.А. Шай-

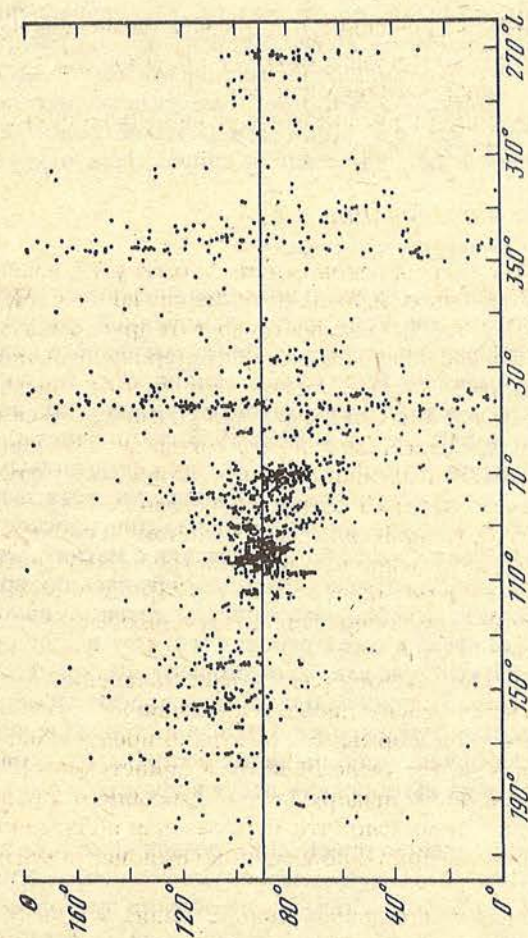


Рис. 1. Распределение позиционных углов межзвездной поляризации вдоль галактической долготы для звезд в поясе $b < \pm 6^\circ$ (Шайн, 1957 [31])

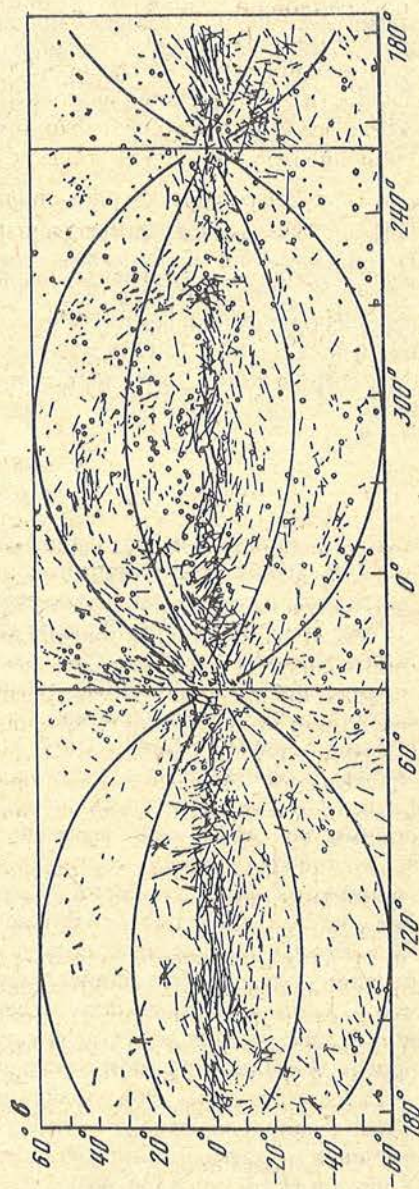


Рис. 2. Структура магнитного поля, выявленная по поляризации оптического излучения звезд (Метьюсон и Форд, 1970 [32], Скулстра, 1977 [33])

на, вышедшая уже после его смерти в 1957 г. [31]. Его интересовало, как можно по межзвездной поляризации выявить структуру магнитного поля в той области Галактики, которая охватывается поляризационными наблюдениями сравнительно близких звезд. Он построил распределение по небу векторов межзвездной поляризации. Соответствующий рисунок до сих пор воспроизводится во многих книгах. По одной оси откладывается распределение поляризационных углов от -90° до $+90^\circ$, а по другой — галактическая долгота (рис. 1).

Оказалось, что в большинстве направлений ориентация векторов поляризации более или менее однородна и параллельна галактической плоскости. В то же время есть места, где позиционные углы ориентации магнитного поля разбросаны очень сильно. Таково направление около $l = 40-50^\circ$. Григорий Абрамович дал правильную интерпретацию этого явления: в направлении $l = 40-50^\circ$ мы смотрим вдоль силовых линий магнитного поля. Поскольку поле неоднородно, т.е. присутствуют флуктуации ориентации силовых линий, в направлении $l = 40-50^\circ$ поляризация в среднем слабее, позиционные углы распределены хаотическим образом. Так впервые была определена ориентация магнитного поля в окрестностях Солнца. Позже выяснилось, что эти окрестности охватывают область не более 500 пк вокруг Солнца.

Впоследствии эта работа Григория Абрамовича получила развитие на основе данных о поляризации нетеплового фонового излучения Галактики, открытого Разиным [14], а позже — по фарадеевскому вращению плоскости поляризации радиоисточников. Поляризация нетеплового фонового радиоизлучения также указывает на направление $l = 40-50^\circ$ и относится к области размерами 150 пк. (Современная картина распределения ориентации векторов межзвездной поляризации и ориентации магнитного поля приведена на рис. 2.) Обнаруженная Г.А. Шайном ориентация поля связана с местной структурой поля, как теперь принято говорить, с местной межзвездной средой, а в больших масштабах поле ориентировано в основном вдоль спиральных рукавов ($l \sim 90^\circ$).

1.4. ТУМАННОСТИ И МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Еще один метод исследования межзвездного магнитного поля был предложен и развит Г.А. Шайном в первой половине 50-х годов. Речь идет о замеченной им связи ориентации туманностей и их волокон с направлением силовых линий магнитного поля.

Уже в первой работе Григория Абрамовича и В.Ф. Газе о туманностях сказано: "тонковолокнистая структура, наблюдаемая в некоторых газовых туманностях, возможно, связана с действием магнитного поля". Затем, в 1952–1955 гг. он занимался сопоставлением формы, ориентации структуры туманностей и их связи с магнитными полями, причем магнитные поля выявлялись по межзвездной поляризации света звезд [34–41]. В большинстве случаев межзвездная поляризация направлена вдоль плоскости Галактики. Из теоретических соображений ее с самого начала связали с магнитными полями. Но оставалось сомнение в этом. Действительно, если наблюдалась поляризация только вдоль плоскости Галактики, то нельзя было исключить и другие причины ее происхождения. Григорий Абрамович показал в своих работах, что есть целый ряд туманностей, округлых и подковообразных, которые как бы окаймляются направлением векторов межзвездной поляризации (рис. 3), причем ориентация плоскости поляризации соответствует направлениям волокон туманностей. Отсюда он сделал вывод, что именно магнитные поля отвечают за ориентацию пылинок и структуру туманности. Ориентация волокон туманностей и их вытянутость несут информацию о поперечной компоненте магнитного поля.

Работы Григория Абрамовича по сопоставлению ориентации туманностей и их волокон с направлением магнитного поля (рис. 4) сформировали отдельное направление изучения межзвездных магнитных полей. В ГАИШ работы в этой области продолжала Ульджан Нурманова [43, 44]. В Японии сейчас их продолжает Софуэ [45], который

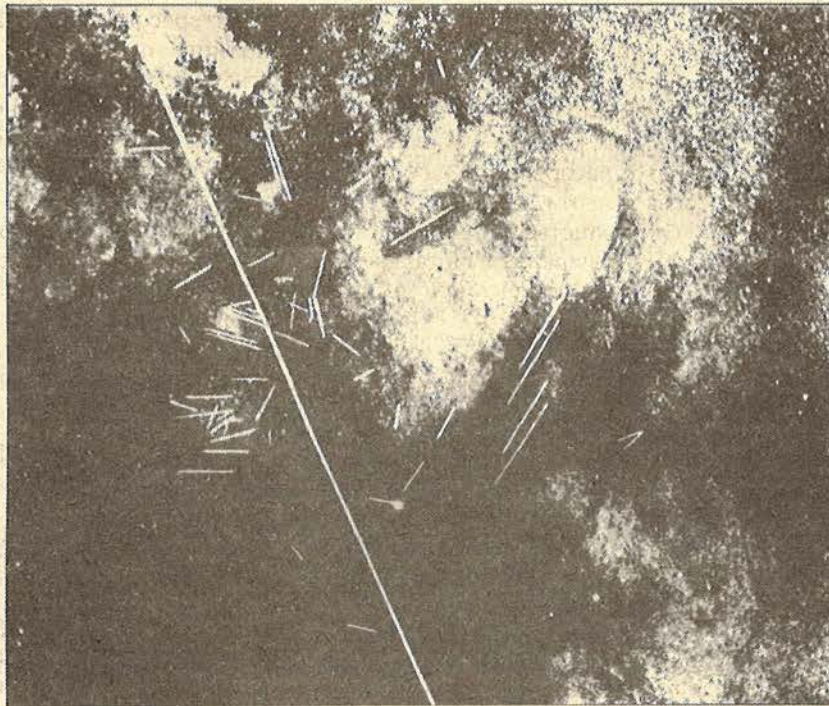


Рис. 3. Туманность, окаймленная силовыми линиями магнитного поля

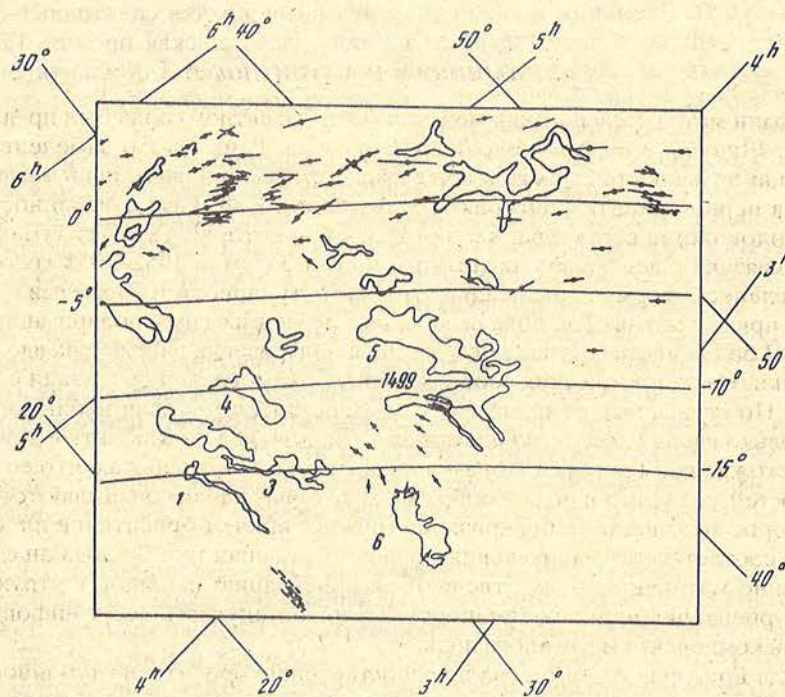


Рис. 4. Сопоставление вытянутости темных и светлых туманностей в созвездиях Персея и Тельца с направлениями межзвездной поляризации (Шайн, 1955 [38])

изучает пылевые волокна и их связь с магнитными полями в центральных областях галактик.

Другая работа Г.А. Шайна, которая очень важна для изучения магнитных полей, была связана с Крабовидной туманностью. И.С. Шкловский в 1953 г. [46] высказал гипотезу о синхротронной природе оптического излучения этой туманности. И.М. Гордон предложил наблюдательный тест – поиск линейной поляризации оптического излучения (см. Шайн и др. [47]). В следующем году Домбровский [48] и Вашакидзе [49] открыли поляризацию излучения туманности в целом. Встал вопрос об изучении структуры ее поляризации. Шайн, Пикельнер и Ихсанов в 1955 г. [47] опубликовали первые наблюдения на эту тему. Ими было исследовано пять участков туманности. Позже, в 1956 г., появились известные фотографии Бааде [50] Крабовидной туманности, выполненные на 5-метровом телескопе через два поляроида со взаимно перпендикулярной ориентацией. На них хорошо видно, что изображения различаются между собой радикально. Это стало прямым указанием на существование сильных межзвездных магнитных полей в некоторых туманностях.

Мелкомасштабные неоднородности туманностей заинтересовали Григория Абрамовича тем, что они могут быть отражением турбулентных движений в межзвездном газе. К этому времени появилась теория турбулентности, развитая Колмогоровым в 1941 г. [51]. Хорнер в 1951 г. [52], а затем Пикельнер и Шайн в 1954 г. [53] сопоставили флуктуации яркости туманности разных масштабов с колмогоровским спектром неоднородностей. В предположении равномерного распределения между магнитной и кинетической энергиями (1), Шайн оценил напряженность магнитного поля в туманности Ориона: около 100 мкЭ. Полученная оценка близка к результатам современных измерений (см. табл. 2).

1.5. ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА

Открытие П. Зееманом в 1896 г. явления расщепления спектральных линий под влиянием магнитного поля (эффект Зеемана, Нобелевская премия, 1902 г.) уже в 1908 г. позволило обнаружить внеземное магнитное поле: Д. Хойл открыл магнитное поле солнечных пятен. В 1947 г. тот же метод позволил Х.У. Бэбкоку зарегистрировать магнитное поле звезды 78 Девы.

Через 6 лет после открытия межзвездной радиолинии водорода 21 см Болтон и Уайлд в 1957 г. [55] предложили ее использовать для измерения межзвездных магнитных полей с помощью эффекта Зеемана. Задача оказалась крайне трудной, так как типичная величина расщепления составляет лишь десятки герц при ширине линии десятки кГц. Прошло около 10 лет, прежде чем Верскер в 1968 г. [56] зарегистрировал зеемановское расщепление радиолинии 21 см.

Регистрация зеемановского расщепления в межзвездной среде требует очень длительных наблюдений. По оценке Верскера [57] для первых пяти уверенных регистраций потребовалось 5000 ч наблюдений. Впоследствии серию таких измерений выполнил К. Хайлес. Впервые появилась возможность измерять продольную (вдоль луча зрения) компоненту межзвездного магнитного поля H .

Успешные измерения обычно удается провести лишь в направлении сравнительно плотных межзвездных облаков, в которых напряженность магнитного поля превышает среднюю.

В 70-е годы Литвак [58], Голдрайх и др. [59] и Варшалович и Бурдюжа [60] предложили измерять магнитное поле в мазерных конденсациях по эффекту Зеемана в молекулярных радиолиниях. Зарегистрировать его впервые удалось в 1984 г. в радиолинии ОН 18 см Вестерну и Ватсону [61]. Голдрайх и Килафис [62, 63] предложили измерять магнитное поле молекулярных облаков по эффекту Зеемана в радиолинии СО 2,6 мм. Пока зеемановское расщепление в этой линии не обнаружено.

Следующим шагом в использовании эффекта Зеемана для изучения межзвездных магнитных полей стало измерение тонкой структуры магнитного поля в плотных конденсациях газа по зеемановскому расщеплению линии поглощения водорода на фоне яркого протяженного источника Кассиопея А (Брегман и др. [64], Шварц и др. [65]; Хайлес и Стивенс [66]).

1.6. ФАРАДЕЕВСКОЕ ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Измерение фарадеевского вращения плоскости поляризации излучения радиоисточников является в настоящее время самым чувствительным и информативным методом регистрации магнитных полей протяженных объектов. Этим методом фиксируется продольная компонента поля $H_{\parallel}$. Угол поворота ψ равен

$$\psi = RM \lambda^2, \quad (4)$$

где λ — длина волны; мера вращения RM равна

$$RM = 0,81 \int n_e H_{\parallel} dr. \quad (5)$$

Здесь RM измеряется в рад/м², n_e — концентрация электронов в см⁻³, $H_{\parallel}$ — в мкЭ и r — элемент пути в пк, интеграл берется вдоль луча зрения.

Впервые фарадеевское вращение было измерено Моррисом и Бержем в 1964 г. [67] для внегалактических источников. Эти измерения позволили при известных оценках напряженности магнитного поля оценить среднюю концентрацию электронов в межзвездной среде, оказывающуюся порядка $n_e \sim 0,01$ см⁻³. Полученное значение n_e означало, что в межзвездном газе водород частично ионизован, что послужило исходным мотивом для создания Пикельнером в 1967 г. [68] двухфазной модели межзвездной среды, нагреваемой субкосмическими лучами.

Манчестер в начале 70-х годов [69, 70] первым стал измерять RM для пульсаров. Для них одновременно измеряется и мера дисперсии:

$$DM = \int n_e dr. \quad (6)$$

Из сопоставления RM и DM непосредственно получается средневзвешенное значение $H_{\parallel}$. После этого фарадеевское вращение стали активно использовать для измерения магнитного поля Галактики [71–73].

Тоса и Фужимото в 1978 г. [74], а затем Софуэ и др. в 1980 г. [75] стали использовать измерение эффекта Фарадея для изучения распределения RM по дискам других галактик. Этот же метод оказался самым чувствительным для определения ограничений на напряженность межгалактического магнитного поля.

1.7. МЕЖЗВЕЗДНЫЕ МЕРЦАНИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПУЛЬСАРОВ

Этот метод дает косвенную информацию о полной напряженности магнитного поля в местах межзвездной среды с развитой турбулентностью.

Вскоре после открытия в 1967 г. Дж. Белл Барнелл и Э. Хьюишем пульсаров было обнаружено явление мерцания их радиоизлучения. Сразу же была понята связь мерцаний с мелкомасштабными неоднородностями n_e в межзвездном газе (см. Рикетт [76, 77]; Шишор [78]). Пикельнер и Цытович [79] показали, что эти неоднородности n_e связаны с альфеновскими волнами, возбужденными в отдельных участках межзвездного газа ударными волнами или иным способом. Тем самым, межзвездные мерцания оказались еще одним источником индикации межзвездных магнитных полей, хотя до сих пор малоинформативным.

2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ГАЛАКТИКИ

2.1. ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ДИСК

Диск нашей Галактики является наиболее изученным объектом с точки зрения галактических магнитных полей (Рузмайкин, Соколов, Шукуров [18]). В нем исследованы как регулярная составляющая магнитного поля, так и его неоднородности, причем влияние последних превосходит среднее значение регулярной составляющей. Среднеквадратичное значение напряженности магнитного поля в диске Галактики в окрестностях нескольких килопарсек вокруг Солнца составляет

$$\langle H^2 \rangle^{1/2} = 3 \text{ мкЭ.} \quad (7)$$

Вектор регулярной компоненты магнитного поля ориентирован вдоль галактической плоскости, примерно вдоль спиральных рукавов Галактики. При этом могут быть две возможности: либо в любых двух близко расположенных областях векторы регулярной компоненты магнитного поля $H_{\text{рег}}$ ориентированы не только параллельно друг другу, но и совпадают по направлениям, либо в разных частях направления векторов $H_{\text{рег}}$

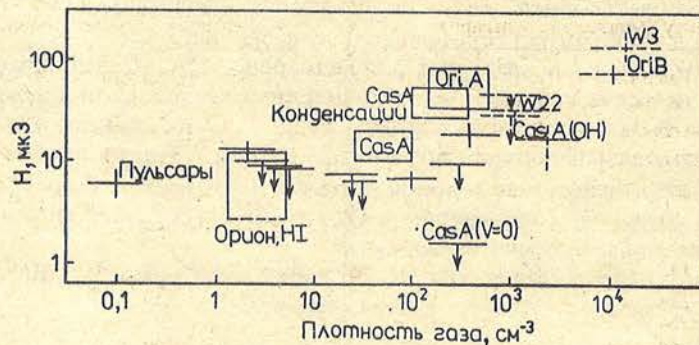


Рис. 5. Зависимость напряженности магнитного поля от плотности межзвездных облаков (Троланд и Хайлес, 1986 [81])

могут быть встречными. Взаимная ориентация векторов $H_{\text{рег}}$ в разных участках диска Галактики до сих пор не выяснена. Как в спиральных рукавах, так и между ними среднеквадратичное значение регулярной составляющей равно

$$\langle H_{\text{рег}}^2 \rangle^{1/2} = 2 \text{ мкЭ} \quad (8)$$

Среднеквадратичное значение неоднородностей магнитного поля диска Галактики превосходит его регулярную составляющую:

$$\langle H_{\text{хаот}}^2 \rangle^{1/2} = (1-2) H_{\text{рег}} \cong 2-3 \text{ мкЭ}$$

Наибольший масштаб неоднородностей, несущий основную энергию хаотической компоненты поля, составляет 100–200 пк и связан, видимо, с крупномасштабной оболочечной структурой межзвездного газа, образованной совокупным действием звездных ветров и вспышек сверхновых в звездных ассоциациях (см., например, работу Бочкарева [80]).

В табл. 1 приведены сводные данные о средних параметрах магнитного поля в различных типах объектов галактического диска. В табл. 2 собраны некоторые индивидуальные измерения внутри галактического магнитного поля (Бочкарев, 1985 [54]). На рис. 5 дана сводка Троланда и Хайлеса [81] зависимости напряженности поля от концентрации газа.

Т а б л и ц а 1
Основные характеристики магнитного поля в различных участках
межзвездной среды диска Галактики

Объект	$n, \text{см}^{-3}$	$H, \text{мкЭ}$	Основной масштаб, пк	Диссипативный масштаб, пк
МЗ облака HI (холодные области HI)	10–30	10	10	0,05
Межоблачная среда (теплые области HI)	0,1–0,3	3	100	0,015
Каверны (корональный газ)	0,001–0,01	2	100	0,0003
Конденсации молекулярных облаков	10^3 – 10^4	100	0,1–1	–
Мазерные конденсации	10^7 – 10^8	3000	10^{-4} – 10^{-5}	–

Т а б л и ц а 2
Некоторые измерения магнитного поля в Галактике

По эффекту Фарадея для пульсаров					По эффекту Зеемана в линии λ 21 см HI				
PSR	Галактические координаты, град		Расстояние r , кпк	$\langle H_{\parallel} \rangle$, мкЭ	Фоновый объект	Галактические координаты, град		Лучевая скорость v_r , км/с	$\langle H_{\parallel} \rangle$, мкЭ
	l	b				l	b		
0329+54	145°	−1°	2,6	−2,9	Телец А	185°	−6°	+10	−3,5±0,7
0531+21	185	−6	2,0	−0,92	Кассиопея А	112	−2	−38	+18,0±1,9
0833−45	264	−3	0,5	+0,59				−48	+11,0±1,7
1240−64	302	−1,5	14,0	+0,65	Орион А	209	−19	+7	−50,0±15
1642−0,3	14	+26	0,2	+0,58				+2	−70,0±20
1929+10	47	−4	0,05	−3,3	По эффекту Зеемана в линии λ 18 см OH				
1933+16	52	−2	7,0	−0,01	Мазер OH	209°	−19°	+7,4	3500
2016+28	68	−4	1,0	−3,0	в Орионе А			+8,0	4500

Как видно, в участках межзвездной среды с концентрацией $n < 100 \text{ см}^{-3}$ напряженность поля примерно одинакова и находится на уровне $H \approx 10^{-5} \text{ Э}$. Такая картина соответствует предложенной еще Г.А. Шайном картине одномерного сжатия газа вдоль силовой линии магнитного поля. При больших плотностях замечен рост $H \sim n_q$, где $q = 1/3$ – $1/2$. Такая зависимость соответствует анизотропному сжатию облаков (Мусховиас [82]).

2.2. ЦЕНТР ГАЛАКТИКИ

В области 50 пк вокруг центра Галактики наблюдения на VLA в непрерывном спектре в середине 80-х годов выявили сложную высокоорганизованную структуру волокон (рис. 6, Юсуф-Заде и др. [84, 85]). Наблюдения длинных (около 40 пк) нитеобразных структур шириной порядка 1 пк, обрамленных следами накручивающейся на них спирали, говорят о преобладающей роли магнитного поля в центре Галактики. Степень поляризации радиоизлучения высока и в максимуме достигает 60%.

В области центра Галактики размером 5 пк оценки дают величину $H_{\parallel} = 10 \text{ мкЭ}$

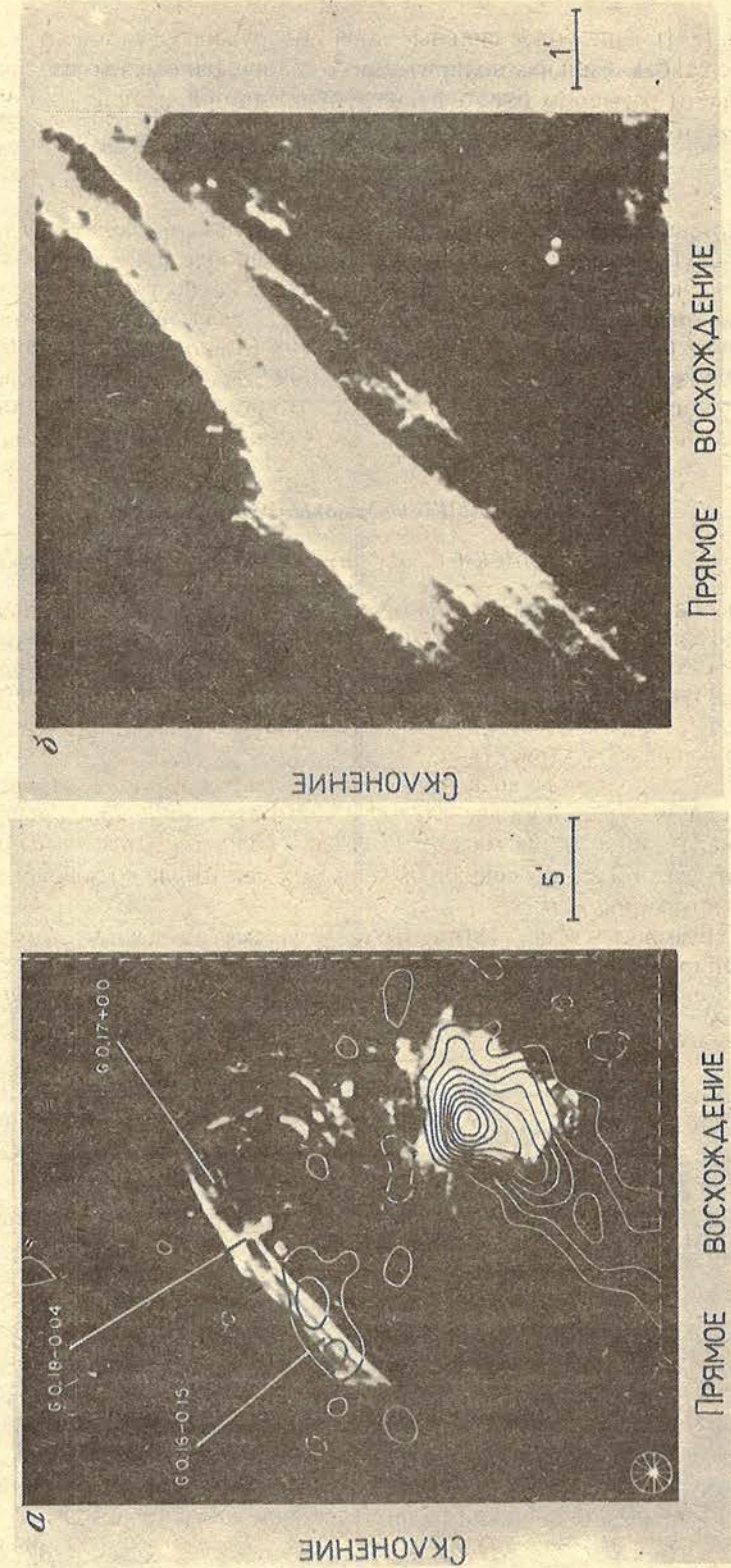


Рис. 6. Система волокон, наблюдаемая в непрерывном спектре в области диаметром 250 пк вокруг центра Галактики
 а – общая картина (Юсуф-Заде и др., 1986 [84]), б – структура волокон, поперечных галактической плоскости (Моррис и Юсуф-Заде, 1985 [85])

(Цубой и др. [86]). Еще более сильные поля обнаруживаются в центре Галактики в меньших масштабах. Сильная поляризация (~7%) инфракрасного излучения из центральной области размером около 1 пк требует для ориентации пылинок поле $H > 10^{-2}$ Э (Эйткен и др. [87]).

2.3. ГАЛО ГАЛАКТИКИ

Как уже отмечено выше, на существование магнитного поля в гало Галактики впервые указал Пикельнер в 1953 г. [6, 7] в связи с проблемой удержания в Галактике космических лучей высоких энергий и их изотропии. Индикатором магнитного поля в гало Галактики на высоте до нескольких килопарсек является синхротронное фоновое радиоизлучение (Уэбстер [88]; Филлипс и др. [89]; Бойерманн и др. [90]). Однако параметры магнитного поля гало до сих пор остаются весьма неопределенными. Согласно Рузмайкину и др. [18], можно ожидать, что поле напряженностью $H \sim 1,5$ мкЭ простирается в область радиусом несколько килопарсек вокруг диска Галактики.

3. ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

3.1. ДИСКИ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

Присутствие и характер ориентации магнитного поля в дисках спиральных галактик обнаруживаются: по измерениям поляризации оптического излучения галактик, вызванной ориентацией межзвездных пылинок, по поляризации нетеплового радиоизлучения, а также по измерению мер вращения в различных участках дисков галактик. Как и в Галактике, силовые линии магнитного поля лежат в плоскостях галактик, повторяя спиральный узор (рис. 7).

Измерение фарадеевского вращения выявило, что галактики делятся по характеру ориентации силовых линий на два класса: осесимметричные, у которых во всех спиральных рукавах ориентация магнитных полей совпадает (рис. 8, а), и бисимметричные, у которых в соседних спиральных рукавах магнитные поля ориентированы навстречу друг другу (рис. 8, б).

В табл. 3 (Рузмайкин и др. [18]) приведены параметры магнитного поля в дисках нескольких спиральных галактик. Как видно, в исследованных галактиках напряженность регулярного поля $H_{\text{рег}} = 1-5$ мкЭ и отношение хаотической и регулярной компонент $H_{\text{хаот}}/H_{\text{рег}} = 0,5-3$ не сильно отличается от таковой в диске нашей Галактики.

Т а б л и ц а 3
Магнитные поля в спиральных галактиках
по наблюдениям в радиодиапазоне

Галактика	Тип	Конфигурация	$H_{\text{рег}}$, мкЭ	$\langle H_{\text{хаот}}^2 \rangle^{1/2}/H_{\text{рег}}$
Галактика	Sb	?	2-3	1,7
M 31	Sb	Осесимметр. кольцо	2-4	0,3-0,5
M 33	Scd	Бисимметричная	1	2,5
M 51	Sc	Бисимметричная	5	1,7
M 81	Sb	Бисимметричная	3	2,3
M 83	Sbc	Бисимметричная	?	?
NGC 253	Sc(p)	?	4	2,5
IC 342	Scd	Осесимметричная	3	2
NGC 6946	Scd	Бисимметричная	5	3
NGC 2903	Sbc	Бисимметричная	?	?
NGC 4258	Sbc	?	< 5-20	2,5?

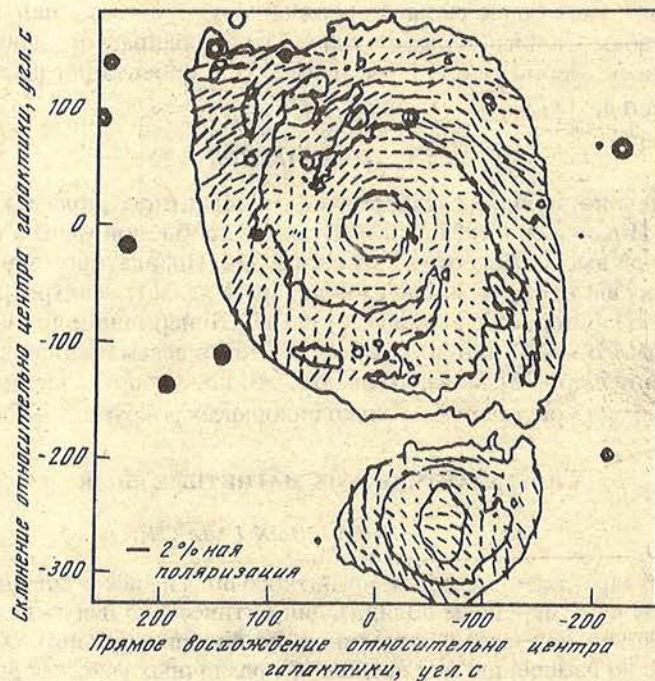


Рис. 7. Ориентация магнитных полей в спиральной галактике M51 согласно оптическим наблюдениям (Скэрротт и др., 1987 [91])

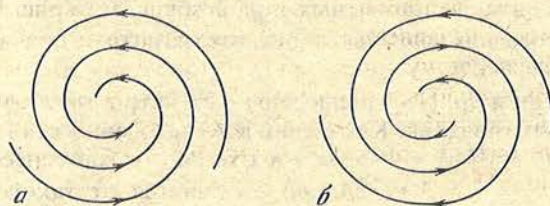


Рис. 8. Схематическое изображение осесимметричной (а) и бисимметричной (б) мод ориентации магнитного поля в дисках спиральных галактик

3.2. РАДИОГАЛАКТИКИ

Гало наблюдаются во многих галактиках. Чаще всего они проявляют себя по не-тепловому радиоизлучению и имеют протяженность до десятков килопарсек. Радио-излучение гало, как правило, поляризовано, хотя и не сильно. Его параметры плавно меняются вдоль гало. Эти данные указывают на присутствие в гало как регулярной, так и хаотической компонент магнитного поля. Сопоставление интенсивности не-теплового синхротронного радиоизлучения, мер вращения плоскости поляризации и теплового рентгеновского излучения позволило Денисону в 1980 г. [92] построить модель гало для M87 (Девы А). Радиус гало составляет 45 кпк, концентрация тепловых электронов $n_e = 0,005 \text{ см}^{-3}$, напряженность поля $H \sim 2 \text{ мкЭ}$.

Мощные радиогалактики с двухкомпонентной структурой радиоизлучения были открыты на заре радиоастрономии Хеем и др. в 1946 г. [93]). Главным образом И.С. Шкловскому принадлежит заслуга обнаружения синхротронной природы их излу-чения (см. Шкловский, [13]). С тех пор неоднократно определялись параметры их ра-

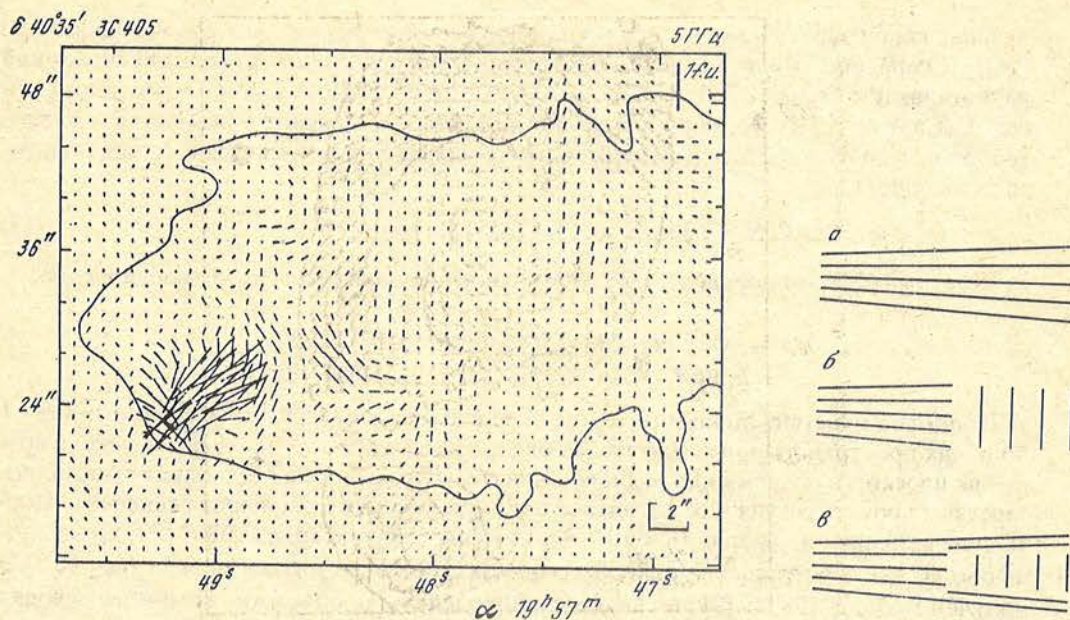


Рис. 9. Распределение поляризации непрерывного радиоизлучения южного компонента радиогалактики Лебедь А на частоте около 5 ГГц (Харгрейв и Райл, 1974 [95])

Рис. 10. Схематическое изображение магнитных конфигураций в джетах радиогалактик (Рузмайкин и др., 1988 [18])

диоизлучения в предположении равенства плотностей энергии релятивистских частиц и магнитного поля (1) (см., например, работу Гинзбурга и Сыроватского [12]). Позднее появилась возможность независимого определения плотности энергии по рентгеновскому излучению, вызванному обратным комптоновским рассеянием фотонов реликтового излучения. Выяснилось, что плотность энергии релятивистских частиц обычно заметно превосходит (иногда, возможно, в сотни раз) плотность энергии магнитного поля. Современные оценки средней напряженности магнитного поля в радиокомпонентах протяженностью в сотни килопарсек дают для наиболее ярких радиогалактик следующие значения (де Янг [94]):

$$H \geq 0,16 \text{ мкЭ для Центавра А, } H \geq 1,6 \text{ мкЭ для Лебедя А.} \quad (10)$$

Наблюдения показывают сложную структуру распределения интенсивности и поляризации радиоизлучения в протяженных компонентах излучения радиогалактик (рис. 9). Они соответствуют картине взаимодействия субрелятивистских плазменных струй (джетов) с межгалактическим газом скоплений галактик, приводящим к турбулизации вещества радиокомпонент. В джетах, безусловно, присутствуют релятивистские электроны и магнитные поля, так как наблюдается непрерывное излучение синхротронной природы. Иногда, например в М87 и 3С273, один из джетов ярко светит в оптическом диапазоне и в случае М87 имеет ячеистую структуру с взаимно перпендикулярными ориентациями поляризации в соседних уярчаниях. Схематическое изображение конфигурации магнитных полей в джетах показано на рис. 10. Надежных определений характеристик магнитного поля в джетах пока нет.

3.3. СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

Помимо хорошо известного теплового рентгеновского излучения газа в скоплениях галактик, к концу 70-х годов стали накапливаться данные о синхротронном радиоиз-

лучении скоплений галактик с четко выраженными степенными спектрами (Яффе и др. [96]). К середине 80-х годов было обнаружено синхротронное радиогало скоплений радиогалактик Coma, A 401, A 754, A 1367, A 2255, A 2256, A 2319 и, возможно, Персея А (Саразин [97]). Размеры радиогало примерно совпадают с размерами области теплового рентгеновского излучения. Оценки напряженности магнитного поля приводят к значениям

$$H \sim 1 - 2 \text{ мкЭ либо } H > 0,3 \text{ мкЭ} \quad (11)$$

в области диаметром порядка 1 Мпк. Магнитное поле при этом сильно неоднородно.

3.4. О РЕГУЛЯРНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ В МЕЖГАЛАКТИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Наиболее чувствительным методом определения регулярного магнитного поля в больших пространственных масштабах оказался метод измерения фарадеевского вращения плоскости поляризации радиоисточников. Этим методом неоднократно пытались зарегистрировать регулярное магнитное поле космологической протяженности. Первые ограничения на уровне $H_{\parallel} < 10^{-9}$ Э получены Софуэ и др. в 1968 г. [98] по наблюдению 40 внегалактических радиоисточников. Наиболее низкий предел $H_{\parallel} < 10^{-11}$ Э получен Валле в 1983 г. [99] по данным наблюдений 142 объектов. Подробная сводка определений верхних пределов на космологическое магнитное поле приведена в монографии Рузмайкина и др. ([18] с. 100).

4. ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ГАЛАКТИКИ

4.1. ГИДРОМАГНИТНОЕ ДИНАМО

Магнитные поля всех достаточно крупных тел – планет, звезд, галактик и их скоплений – обязаны не спиновым взаимодействиям атомов, как это имеет место в ферромагнетиках, а гидромагнитным движениям проводящей среды. В этом они похожи на динамо-машину. Но в космических условиях господствуют хаотические, турбулентные движения. И тем не менее они усиливают и поддерживают регулярные магнитные поля.

Идея гидромагнитного динамо подробно изложена в книге Вайнштейна, Зельдовича и Рузмайкина [100]. Динамо-механизм лишь усиливает поле, поэтому для его действия необходимы затравочные поля. Кроме того, он действует лишь при больших значениях магнитного числа Рейнольдса, т.е.

$$R_m = vR / \nu_m \gg 100, \quad (12)$$

где ν_m – магнитная вязкость

$$\nu_m = c^2 / 4\pi\sigma, \quad (13)$$

v – скорость, R – масштаб движений, σ – проводимость среды, c – скорость света. Условие $R_m \gg 1$ означает применимость приближения вмерзновенности силовых линий магнитного поля в вещество. В диске Галактики $R_m = 10^5 - 10^8$.

Для устойчивого усиления слабого магнитного поля достаточно, чтобы турбулентные движения не имели зеркальной симметрии. В лабораторных условиях такая ситуация экзотична, но в астрономических объектах она обычна, что связано с их осевым вращением. Первые работы по гидротурбулентному динамо в астрономии принадлежат Эльзассеру (1946 г.) [101], Паркеру (1955 г.) [102], Брагинскому (1964 г.) [103] и относятся в основном к объяснению происхождения магнитного поля Земли.

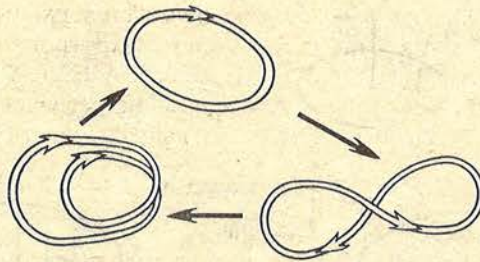


Рис. 11. "Восьмерка Зельдовича" – тип движений, приводящий к усилению магнитного поля при турбулентном динамо

Важно отметить, что турбулентное динамо – исторически один из первых в физике примеров возникновения упорядоченности из хаоса.

Наглядное объяснение действию турбулентного динамо дает пример так называемой восьмерки Зельдовича (рис. 11): для усиления поля необходимо, чтобы под действием гидродинамических движений исходная кольцевая трубка магнитного поля свернулась в восьмерку, а затем сложились пополам и растянулась до прежних размеров. В результате этого после перезамыкания образуется вновь исходная конфигурация поля, но с удвоенной напряженностью.

Работоспособность турбулентного динамо определяется величиной α , характеризующей спиральность движения:

$$\alpha \sim \mathbf{v} \operatorname{rot} \mathbf{v}. \quad (14)$$

При твердотельном вращении инкремент нарастания магнитного поля пропорционален α^2 . Это так называемое α^2 -динамо, действующее в ядрах планет и в магнитных звездах. При дифференциальном вращении преобладает обычно более эффективное так называемое $\alpha\omega$ -динамо с инкрементом, пропорциональным α и градиенту угловой скорости ω . Оно работает в большинстве типов звезд и в галактиках.

Очевидно, что в линейном режиме работы динамо-механизма напряженность поля нарастает экспоненциально:

$$H = H_0 \exp(\gamma t). \quad (15)$$

Предел роста поля определяется нелинейными эффектами – влиянием поля на движение вещества.

4.2. ГИДРОМАГНИТНОЕ ДИНАМО В ГАЛАКТИКАХ

Действие динамо-механизма в галактических дисках было впервые рассмотрено Паркером в 1971 г. [104], а также Вайнштейном и Рузмайкиным [105] в том же году. Для качественного объяснения его можно разделить на два шага: 1) появление азимутального поля из меридионального вследствие дифференциального вращения галактического диска (рис. 12, а); 2) образование меридионального поля из азимутального турбулентными движениями в плоскости, перпендикулярной галактической (рис. 12, б).

Согласно Рузмайкину и др. [106], в диске нашей Галактики максимальный инкремент роста поля γ соответствует характерному времени $\gamma^{-1} = 5 \cdot 10^8$ лет, наиболее вероятный $\gamma^{-1} = 1,5 \cdot 10^9$ лет. Достигнут ли предел роста поля – не ясно. Зависимость γ от галактического расстояния r приведена на рис. 13, а. Присутствуют две области роста поля: в центральных частях Галактики и в окрестностях Солнца. Нарастает при этом лишь осесимметричная мода, изображенная на рис. 8, а. Аналогична картина для туманности Андромеды М 31 (рис. 13, б).

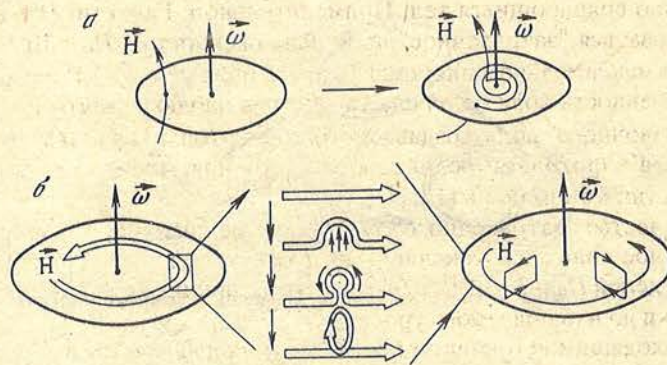


Рис. 12. Схема, поясняющая действие турбулентного динамо в галактическом диске

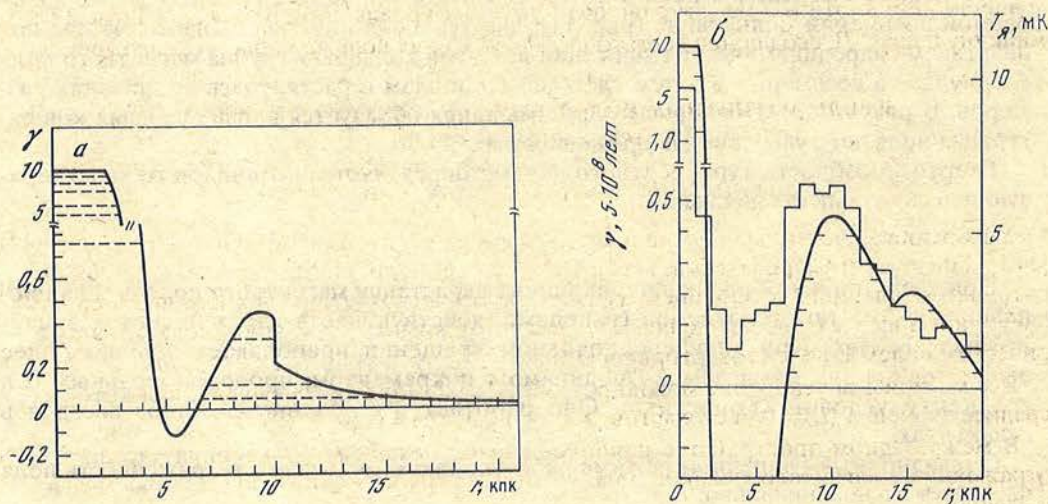


Рис. 13. Зависимость от галактического расстояния r инкремента γ роста осесимметричных мод магнитного поля для Галактики (а) и для туманности Андромеды М31 (б)

Отмечены скорости роста различных осесимметричных мод и области их локализации (Рузмайкин и др., 1988 [18])

Рузмайкин и др. [1], Сава и Фужимото [107], Барышникова и др. [108] показали, что бисимметричные структуры магнитного поля в ряде галактик (см. табл. 3) могут возникать в результате турбулентного динамо. При этом темп роста бисимметричной моды во внешних частях Галактики исчезающе мал по сравнению с симметричной модой. В М 31 рост бисимметричной моды вообще невозможен. В то же время, как показало численное моделирование, в галактике Водоворот (М 51) инкремент роста бисимметричной моды высок, чем, видимо, и объясняется бисимметричная структура поля.

4.3. ПРОБЛЕМА "ЗАТРАВОЧНОГО" ПОЛЯ

Динамо является не механизмом создания, а механизмом усиления магнитного поля. Для его действия необходимо исходное "затравочное" поле.

Наиболее известный механизм формирования "затравочного" поля – это батарейный механизм Бирмана (1950 г.) [109]. Он основан на непараллельности поверхностей

постоянной плотности и постоянной температуры (или давления), что характерно для дифференциально вращающихся тел. Применительно к Галактике за время 10^{10} лет могло сформироваться "затравочное" поле напряженностью $H_0 < 10^{-15}$ Э (Харрисон [110]). Даже при максимальном инкременте роста поля $\gamma^{-1} = 5 \cdot 10^8$ лет (см. выше) при таком H_0 напряженность поля не успела бы достичь наблюдаемого уровня. Тем более не хватает "затравочного" поля, создаваемого за счет различия взаимодействия электронов и протонов с фотонами реликтового излучения, что может привести к $H_0 < 10^{-21}$ Э (Мишустин и Рузмайкин [111]).

Если бы в качестве "затравочного" выступало реликтовое однородное космологическое магнитное поле с напряженностью, соответствующей верхнему пределу, полученному из моделей $H_0 = 3 \cdot 10^{-11}$ Э (см. п. 3.4), то при предельном инкременте поле успело бы дорасти до наблюдаемого уровня.

Наиболее подходящим источником реликтового поля является выброс его из звезд, главным образом при вспышках сверхновых (Сыроватский [112]). "Затравочное" поле могло генерироваться батарейным эффектом в звездах первого поколения. После выброса его в конце эволюции звезд в межзвездное пространство формируется преимущественно хаотическое "затравочное" поле на уровне $H_0 \sim 10^{-9}$ Э. Согласно Рузмайкину и др. [18], его вполне достаточно для усиления поля до наблюдаемого уровня.

5. РОЛЬ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ, ПРОТЕКАЮЩИХ В МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЕ

5.1. УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Ускорение заряженных частиц в космосе имеет электромагнитную природу (Сван [113]; Гинзбург и Сыроватский, [114]; Березинский и др. [115]). Оно связано с относительно медленным изменением энергии частиц в стохастических или переменных электрических и магнитных полях. Это изменение равно работе, производимой электрическим полем E вдоль траектории частицы.

Все механизмы ускорения можно разделить на два вида: регулярные, при которых среднее значение $\langle E \rangle \neq 0$, и стохастического типа с $\langle E \rangle = 0$, но $\langle E^2 \rangle \neq 0$.

В межзвездном пространстве наиболее важны механизмы ускорения частиц при отражении от магнитных облаков (механизмы Ферми [3]), а также под действием ударных волн.

Регулярный механизм Ферми (механизм Ферми I рода) действует при многократном отражении частиц между двумя движущимися навстречу друг другу магнитными экранами (облаками). В этом случае, как при упругих ударах, каждое отражение частицы от экрана приводит к возрастанию ее энергии E на величину ΔE :

$$\Delta E / E = -4(uv) / v^2, \quad (16)$$

где u – скорость магнитного облака (экрана), v – скорость ускоряемой частицы.

При случайном распределении скоростей облаков по направлениям действует статистический механизм Ферми II рода. При этом средний прирост энергии ускоряемой частицы при каждом отражении равен

$$\langle \Delta E / E \rangle = 2u^2 / v^2. \quad (17)$$

В обоих случаях энергия частицы возрастает со временем по экспоненциальному закону. Предел роста энергии частиц $E_{\max}$ определяется проницаемостью магнитного экрана – тем, что ларморовский радиус начинает превосходить размер межзвездного облака, от магнитного поля которого происходят отражения. Для диффузных межзвездных облаков в диске Галактики $E_{\max} \sim 10^{14}$ эВ. Если частицы вступают в процесс

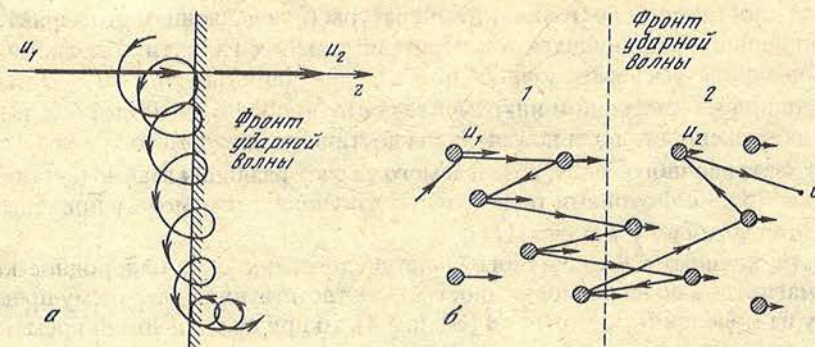


Рис. 14. Траектория быстрой частицы, взаимодействующей с ударным фронтом

a – при однократном пересечении фронта; *б* – при многократном пересечении ударного фронта, распространяющегося в турбулентной среде. U_1 и U_2 – скорости движения газа относительно ударного фронта

ускорения в случайные моменты времени, то формируется степенной спектр ускоренных частиц:

$$n(E) \sim E^{-\gamma}. \quad (18)$$

В гидродинамических ударных волнах, распространяющихся в замагниченном газе перпендикулярно направлению магнитного поля, ускоренная частица движется в переменном магнитном поле. Действительно, в ударной волне с замороженным в газ магнитным полем напряженность его возрастает на фронте волны пропорционально плотности, т.е. для сильного ударного фронта в одноатомном газе – в 4 раза. Как впервые было показано в работах Дорманта и Фрейдмана 1959 г. [116], Шабанского 1961 г. [117] и подробно описано в обзорах (например, Топтыгина [118]), в результате однократного пересечения частицей, вращающейся вокруг силовой линии магнитного поля, ударного фронта (рис. 14, *a*) происходит ускорение типа ускорения Ферми I рода с набором энергии до 7–13 раз (Березинский и др. [115]). В общем случае произвольной ориентации магнитного поля относительно ударного фронта набор энергий мал: $\Delta E \ll E$.

Значительное увеличение энергии частиц может происходить при многократном прохождении через ударный фронт. Такая возможность реализуется либо в ансамбле ударных волн, либо при движении ударного фронта в турбулентной среде (с возбужденной гидродинамической или плазменной турбулентностью, рис. 14, *б*). Последний случай, по-видимому, широко реализуется в межзвездной среде.

5.2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕЖЗВЕЗДНОГО ГАЗА

Магнитные поля играют очень важную роль в самых различных процессах, протекающих в межзвездном газе. Ниже кратко рассмотрены несколько возможных примеров.

1. Неустойчивость Рэлея–Тейлора–Паркера газа в галактических дисках. Как впервые отметили Хойл и Харвит в 1958 г. [119] и затем детально исследовали Е. Паркер, Е. Паркер и И. Лерч (см. [120, 121]), система межзвездный газ–звезды–космические лучи подвержена неустойчивости типа Рэлея–Тейлора. В результате развития неустойчивости вблизи галактической плоскости образуются газовые сгустки, а силовые линии магнитного поля между ними поднимаются в гало (рис. 15, *a*). Характерный масштаб неустойчивости 1–2 кпк, а время ее развития $3 \cdot 10^7$ лет. Пикельнер [122]

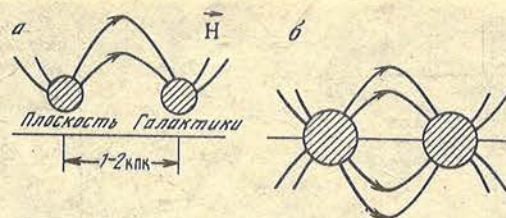


Рис. 15. Образование магнитных ям и сгустков газа в них в результате развития неустойчивости Рэлея-Тейлора-Паркера

связал с ней возникновение плотных звездных скоплений и ассоциаций вокруг них. Т.Ч. Мусховиас показал, что образующаяся конфигурация магнитного поля скорее всего симметрична относительно галактической плоскости (рис. 15, б).

Таким образом, данный тип неустойчивости замагниченного межзвездного газа играет роль при формировании крупномасштабной структуры газа в галактиках, создавая газопылевые комплексы. Вероятно, наиболее важен этот процесс в неправильных галактиках, в которых нет спиральных ударных волн, мешающих развитию паркеровской неустойчивости. Эта неустойчивость также выносит магнитное поле в галактическое гало. Но, по-видимому, более сильным конкурирующим процессом выноса магнитного поля в гало являются галактические фонтаны.

2. Магнитные поля и структура туманностей. Связь морфологии туманностей с магнитными полями впервые отметил и исследовал Г.А. Шайн (см. п. 1.4). Из его работ следует, что как ориентация самих туманностей, так и их волокнистая структура связаны с магнитными полями. Имеется очень широкий спектр магнитогидродинамических процессов, определяющих форму и тонкую структуру туманностей. В случае туманности Ориона (рис. 16) структура напоминает результат действия паркеровской неустойчивости (см. выше), хотя в этой туманности безусловно важную роль играют другие процессы.

В туманностях очень часто наблюдаются структуры в виде очень тонких (сотые доли парсек) длинных и почти параллельных друг другу волокон. Подобная картина очень отчетливо видна на широко известных изображениях отражательных туманностей в Плеядах. Проявляется она и во многих темных туманностях (см. примеры в книге Бочкарева [54]). Наблюдения облаков H I в радиолинии водорода 21 см показывают существование в них таких волокон. Вызвана тонкая структура межзвездных облаков и туманностей желобковой (перестановочной) неустойчивостью, при которой волокна газа как бы просачиваются между силовыми линиями магнитного поля. Подробный анализ условия развития этой неустойчивости на примере отражательных туманностей в Плеядах выполнил Артамонов [124].

Сильные магнитные поля обнаружены в остатках свехновых: около 10^{-4} Э в оболочечных остатках и около 10^{-3} Э в плерионах (Лозинская [125]). Они являются сильными источниками синхротронного излучения, а также местами, где возникают и ускоряются частицы космических лучей. Структура силовых линий магнитного поля в них выявляется по поляризации радиоизлучения. Синхротронная эмиссия старых оболочек обусловлена выметанием межзвездного магнитного поля с частицами, вброшенного в газ за фронтом ударной волны (ван дер Лаан [126]). В молодых оболочечных источниках магнитное поле усиливается за счет движений конвективного типа, возникающих в результате развития в оболочке неустойчивости Рэлея-Тейлора (Галл [127]). Конвекция усиливает магнитное поле из-за запутывания силовых линий.

Для плерионов характерна концентрическая структура магнитного поля, усиливающегося к центру. Источником магнитного поля и синхротронного излучения явля-

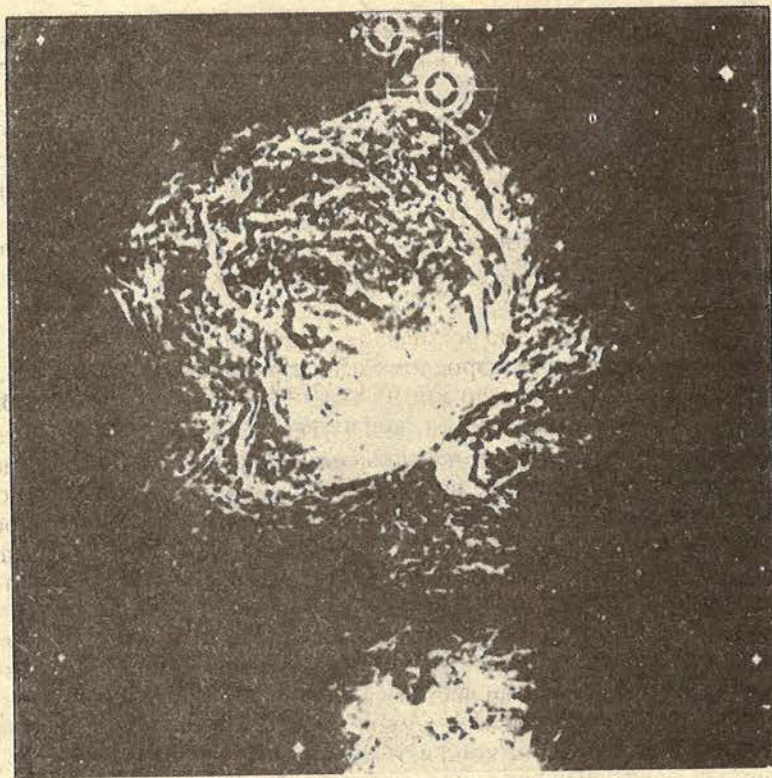


Рис. 16. Контрастированная фотография туманности Ориона, выявляющая ее сложную волокнистую структуру (Мардин и Аллен, 1979 [123])

ется пульсар. Об этом говорят быстрые вариации яркости центральных жгутов (виспов) в Крабовидной туманности, связанные с выбросом релятивистской плазмы.

3. Магнитные поля в молекулярных облаках косвенно проявляют себя по их гамма-излучению. Последнее обусловлено взаимодействием усиленных в облаке космических лучей с его веществом (Исса и Волфендейл [128]; Морфил и др. [129]). Гуревичем и др. [130] было показано, что в магнитных полях облаков происходит ускорение космических лучей.

Магнитные поля молекулярных облаков играют решающую роль для возможности проникновения внутрь облаков низкоэнергичных субкосмических лучей (Цесарский и Волк [131]). Последние являются основным источником образования ионов в молекулярных облаках, запускающих цепочки ионно-молекулярных реакций и тем самым определяющих химический состав газа.

Наконец, магнитное давление внутри молекулярных облаков, возможно, является важным динамическим фактором, препятствующим быстрому ($\sim 10^6$ лет) разрушению облаков за счет гравитационной неустойчивости и образования звезд.

5.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ

Магнитное поле играет исключительно важную роль в процессах образования звезд. Причем решающее влияние магнитных сил проявляется на самых разных стадиях таинства рождения звезд. Многие аспекты рассмотрены в книге Каплана и Пикельнера [132] и обзорах Муховиаса [133] и Дудорова [134]. Ниже кратко перечислим основные моменты.

Как уже отмечено выше в п. 5.2, неустойчивость Рэля–Тейлора–Паркера замаг-

ниченного газа галактического диска является одним из источников формирования крупномасштабных газопылевых комплексов, внутри которых разыгрывается процесс образования звезд.

В процессе гравитационного коллапса роль магнитного поля двойная. Во-первых, оно тормозит коллапс. Всякий сгусток газа имеет хотя бы небольшой момент количества движения. Поэтому коллапс из сферически симметричного постепенно переходит в осесимметричный. При сжатии вдоль экватора напряженность магнитного поля нарастает $H \sim \rho$, где ρ – плотность газа, а следовательно, магнитное давление

$$p_{\text{маг}} = H^2 / 8\pi \sim \rho^2 \quad (19)$$

растет столь быстро, что неминуемо останавливает сжатие по радиусу.

Когда плотность вещества в однородном диске становится столь велика, что степень ионизации газа в нем падает до $x = 10^{-10}$ – 10^{-12} , то нарушается приближение вмерзности силовых линий магнитного поля в вещество. Амбиполярная диффузия и отчасти омическая диффузия уносят часть магнитного потока из образующейся протозвездной конфигурации. Это дает возможность дальнейшего сжатия, сопровождающегося фрагментацией. Когда центральная конденсация становится непрозрачной для собственного излучения и адиабатически нагревается, тепловая ионизация калия при температуре около 3000 К снова вмораживает магнитное поле в газ. На нее идет дисковая аккреция вещества.

Оставшееся магнитное поле образовавшегося диска способствует перераспределению углового момента в нем. При этом работают магнитное натяжение, нарастающее при дифференциальном вращении, и крутильные альфеновские волны. В результате перераспределения угловой момент Солнца в 10^5 раз меньше, чем у планет. Это энергетически выгодная конфигурация (Линден–Белл и Прингл [135]). В протопланетарной туманности вокруг Солнца напряженность поля, возможно, достигала значений вплоть до $H = 1$ Э, наблюдаемых по остаточной намагниченности метеоритов (Леви и Сонетт [136]). Такое значение H могло возникнуть за счет турбулентного динамо внутренних частей протосолнечной туманности (Сафронов и Рузмайкина [137]).

6. ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Итак, проявления магнитного поля в галактиках крайне разнообразны, а его роль в процессах, в них происходящих, часто является определяющей. Аналогичная картина наблюдается и в астрономических объектах меньших масштабов – звездах и планетах. Паркер [121] по этому поводу образно замечает: "Магнитное поле играет в астрофизике необычную роль: во многих отношениях оно напоминает живой организм, более того, способный к размножению организм, заполняющий вполне определенное место в экологической системе механических и электродинамических "деталей" астрофизического объекта... Магнитное поле – чрезвычайно простой организм, для его самопроизвольного возникновения в любом вращающемся теле достаточно одного лишь батарейного эффекта. ...Поле не нуждается в сложной окружающей среде и множестве специальных условий, необходимых для самозарождения биологических форм жизни. Магнитное поле благополучно существует почти всюду по Вселенной..."

Добавим к этому, что если бы космические объекты оказались лишенными крупномасштабных магнитных полей (например, если бы монополи Дирака встречались в свободном состоянии так же часто, как свободные электроны), мир был бы скучнее и однообразнее:

- в нем не было бы всего фейерверка активных процессов;
- может быть, не было бы и зрителей, способных наблюдать этот скучный мир, лишенный активности.

Апрель. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукуров А.М. // Plasma Astrophysics: Proc. Joint Varenna-Abastumani Ant. School and Workshop. Sukhumi, 1986. P. 539.
2. Alfven H. // Zs. Phys. 1937. Bd. 105. S. 579; Bd. 107. S. 319.
3. Fermi E. // Phys. Rev. 1949. Vol. 75. P. 1169.
4. Richtmeier R.D., Teller E. // Phys. Rev. 1949. Vol. 75. P. 1729.
5. Alfven H. // Phys. Rev. 1949. Vol. 75. P. 1732.
6. Пикельнер С.Б. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1953. Т. 10. С. 74.
7. Пикельнер С.Б. // Докл. АН СССР. 1953. Т. 88. С. 229.
8. Jansky K.G. // Proc. Inst. Radio Eng. 1932. Vol. 20. P. 1920.
9. Reber G. // Astrophys. J. 1940. Vol. 91. P. 621.
10. Alfven H., Herlofson H. // Phys. Rev. 1950. Vol. 78. P. 616.
11. Kiepenheuer K.O. // Phys. Rev. 1950. Vol. 79. P. 738.
12. Гинзбург В.Л. // УФН. 1953. Т. 51. С. 343.
13. Шкловский И.С. Космическое радиоизлучение. М.: Гостехиздат, 1956.
14. Разин В.А. // Астрон. журн. 1958. Т. 35. С. 241.
15. Климишин А.И., Базилевич В.М. // Цирк. Львов. астрон. обсерватории. 1963. № 39/40. С. 3.
16. Burn B.J. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1966. Vol. 133. P. 67.
17. Чибисов Г.В., Птускин В.С. // Proc. 17th Intern. Cosmic Ray Conf. Paris, 1981. Vol. 2. P. 233.
18. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукуров А.М. Магнитные поля галактик. М.: Наука, 1988.
19. Allen R.J., Baldwin J.E., Sancini R. // Astron. Astrophys. 1978. Vol. 62. P. 397.
20. Beck R., Biermann P., Emerson D.T., Wielebinski R. // Astron. Astrophys. 1979. Vol. 77. P. 25.
21. Чандрасекар С. Перенос лучистой энергии. М.: Изд-во иностр. лит., 1953.
22. Соболев В.В. Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет. М.: Гостехиздат, 1956.
23. Hiltner W.A. // Nature. 1949. Vol. 169. P. 283.
24. Hiltner W.A. // Astrophys. J. 1949. Vol. 109. P. 471.
25. Hall J.S. // Science. 1949. Vol. 109. P. 166.
26. Hall J.S., Mikesell A.M. // Astron. J. 1949. Vol. 54. P. 187.
27. Домбровский В.А. // Докл. АН Арм.ССР. 1949. Т. 10. С. 199.
28. Шулов О.С. // Тр. астрон. обсерватории ЛГУ. 1981. Т. 37. С. 181.
29. Davis L.(Jr.), Greenstein J.L. // Astrophys. J. 1951. Vol. 114. P. 206.
30. Spitzer L.(Jr.), Turkey J.W. // Astrophys. J. 1951. Vol. 114. P. 187.
31. Шайн Г.А. // Астрон. журн. 1957. Т. 34. С. 3.
32. Mathewson D.S., Ford V.L. // Mem. RAS. 1979. Vol. 74. P. 139.
33. Снулстра Т.А.Т. // УФН. 1977. Т. 121. С. 679.
34. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1951. Т. 6. С. 3.
35. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Докл. АН СССР. 1952. Т. 82. С. 857.
36. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1952. Т. 8. С. 3.
37. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1953. Т. 17. С. 114.
38. Шайн Г.А. // Астрон. журн. 1955. Т. 32. С. 110.
39. Шайн Г.А. // Докл. АН СССР. 1955. Т. 101. С. 437.
40. Шайн Г.А. // Астрон. журн. 1955. Т. 32. С. 381.
41. Шайн Г.А. // Астрон. журн. 1955. Т. 32. С. 489.
42. Шайн Г.А. // Астрон. журн. 1955. Т. 33. С. 469.
43. Нурманова У. // Астрон. цирк. 1979. № 1070. С. 4.
44. Нурманова У. // Астрон. журн. 1982. Т. 59. С. 61.
45. Sofue Y. // PAS J. 1987. Vol. 39. P. 547.
46. Шкловский И.С. // Докл. АН СССР. 1953. Т. 90. С. 983.
47. Шайн Г.А., Пикельнер С.Б., Ихсанов Р.Н. // Астрон. журн. 1955. Т. 32. С. 395.
48. Домбровский В.А. // Докл. АН СССР. 1954. Т. 94. С. 21.
49. Ваишакидзе М.А. // Астрон. цирк. 1954. № 147.
50. Baade W. // BAN. 1956. Vol. 12. P. 312.
51. Колмогоров А.Н. // Докл. АН СССР. 1941. Т. 30. С. 299.
52. Von Hoerner S. // Zs. Ap. 1951. Bd. 30. S. 17.
53. Пикельнер С.Б., Шайн Г.А. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1954. Т. 11. С. 22.
54. Бочкарев Н.Г. Магнитные поля в космосе. М.: Наука, 1985.
55. Bolton J.G., Wild J.P. // Astrophys. J. 1957. Vol. 125. P. 296.
56. Verschuur G.L. // Phys. Rev. Lett. 1968. Vol. 21. P. 775.
57. Verschuur G.L. // Fund. Cosm. Phys. 1979. Vol. 5. P. 113.
58. Litvak M.M. // Astrophys. J. 1971. Vol. 170. P. 71.
59. Goldreich P., Keeley D.A., Kwan J.Y. // Astrophys. J. 1973. Vol. 179. P. 111.
60. Варшавский Д.А., Бурдюжа В.В. // Астрон. журн. 1975. Т. 52. С. 1178.
61. Western L.R., Watson W.D. // Astrophys. J. 1984. Vol. 285. P. 158.
62. Goldreich P., Kylafis N.D. // Astrophys. J. 1981. Vol. 243. P. L75.

63. Goldreich P., Kylafis N.D. // *Astrophys. J.* 1982. Vol. 253. P. 606.
64. Bregman J.D., Troland T.H., Forster J.R. et al. // *Astron. Astrophys.* 1983. Vol. 118. P. 157.
65. Schwarz U.J., Troland T.H., Albinson J.C. et al. // *Astrophys. J.* 1986. Vol. 301. P. 320.
66. Heiles C., Stevens M. // *Astrophys. J.* 1989. Vol. 301. P. 331.
67. Morris D., Berge G.L. // *Astrophys. J.* 1964. Vol. 139. P. 1388.
68. Пикельнер С.Б. // *Астрон. журн.* 1967. Т. 44. С. 915.
69. Manchester R.N. // *Astrophys. J.* 1972. Vol. 172. P. 43.
70. Manchester R.N. // *Astrophys. J.* 1974. Vol. 188. P. 637.
71. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д. // *Astrophys. Space Sci.* 1977. Vol. 52. P. 365.
72. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д. // *Astron. Astrophys.* 1977. Vol. 58. P. 247.
73. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д. // *Astron. Astrophys.* 1979. Vol. 78. P. 1.
74. Tosa M., Fujimoto M. // *PAS J.* 1978. Vol. 30. P. 313.
75. Sofue Y., Takano T., Fujimoto M. // *Astron. Astrophys.* 1980. Vol. 31. P. 335.
76. Rickett B.J. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1970. Vol. 150. P. 67.
77. Rickett B. J. // *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1977. Vol. 15. P. 479.
78. Шишов В.И. // *Изв. вузов. Радиофизика.* 1973. Т. 16. С. 1796.
79. Пикельнер С.Б., Цытович В.Н. // *Астрон. журн.* 1969. Т. 46. С. 8.
80. Бочкарев Н.Г. // *Astron. Astrophys. Trans.* 1992. Vol. 3, N 1.
81. Troland T.H., Heiles C. // *Astrophys. J.* 1986. Vol. 301. P. 339.
82. Mouschovias T.Ch. // *Astron. Astrophys.* 1985. Vol. 142. P. 41.
83. Yusef-Zadeh F., Morris M., Chance D. // *Nature.* 1984. Vol. 310. P. 557.
84. Yusef-Zadeh F., Morris M., Slee O.B., Nelson G.L. // *Astrophys. J.* 1986. Vol. 310. P. 689.
85. Morris M., Yusef-Zadeh F. // *Astron. J.* 1985. Vol. 90. P. 2511.
86. Tsuboi M., Inoue M., Handa T. et al. // *PAS J.* 1985. Vol. 37. P. 359.
87. Aitken D.K., Roche P.F., Bailey J.A. et al. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1986. Vol. 218. P. 363.
88. Webster A. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1978. Vol. 185. P. 507.
89. Phillips S., Kearsy S., Osborne J.L. et al. // *Astron. Astrophys.* 1981. Vol. 103. P. 405.
90. Beuermann K., Kanbach G., Burkhuijsen E.M. // *Astron. Astrophys.* 1985. Vol. 153. P. 17.
91. Scarrott S.M., Ward-Thompson D., Warren-Smith R.F. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1987. Vol. 224. P. 299.
92. Dennison B. // *Astrophys. J.* 1980. Vol. 236. P. 761.
93. Hey J.S., Parsons S.J., Phillips J.W. // *Nature.* 1946. Vol. 158. P. 234.
94. De Young D.S. // *Astrophys. J.* 1984. Vol. 241. P. 81.
95. Hargrave P.J., Ryle M. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1974. Vol. 166. P. 305.
96. Jaffe W.J. // *Astrophys. J.* 1977. Vol. 212. P. 1.
97. Sarazin C.L. // *Rev. Mod. Phys.* 1986. Vol. 58. P. 1.
98. Sofue Y., Fujimoto M., Kawabata K. // *PAS J.* 1968. Vol. 20. P. 388.
99. Vallee J.P. // *Astrophys. Lett.* 1983. Vol. 23. P. 85.
100. Вайнштейн С.И., Зельдович Я.Б., Рузмайкин А.А. *Турбулентное динамо в астрофизике.* М.: Наука, 1980.
101. Elsasser W.N. // *Phys. Rev.* 1946. Vol. 69. P. 106.
102. Parker E.N. // *Astrophys. J.* 1955. Vol. 122. P. 293.
103. Брагинский С.И. // *ЖЭТФ.* 1964. Т. 47. С. 1084, 2178.
104. Parker E.N. // *Astrophys. J.* 1971. Vol. 163. P. 252.
105. Вайнштейн С.И., Рузмайкин А.А. // *Астрон. журн.* 1971. Т. 48. С. 902.
106. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукуров А.М. // *Astron. Astrophys.* 1985. Vol. 148. P. 335.
107. Sawa T., Fujimoto M. // *PAS J.* 1986. Vol. 38. P. 133.
108. Барышникова Ю.С., Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукуров А.М. // *Astron. Astrophys.* 1987. Vol. 177. P. 27.
109. Biermann L. // *Zs. Naturforsch. A.* 1950. Bd. 5. S. 65.
110. Harrison E.R. // *Astrophys. Lett.* 1969. Vol. 3. P. 133.
111. Мишустин И.М., Рузмайкин А.А. // *ЖЭТФ.* 1971. Т. 61. С. 441.
112. Сыроватский С.И. // *Космическая газодинамика* / Под ред. Х.Дж. Хабинга. М.: Мир, 1972. С. 226.
113. Swann W.F.G. // *Phys. Rev.* 1933. Vol. 43. P. 217.
114. Гинзбург В.Л., Сыроватский С.И. *Происхождение космических лучей.* М.: Изд-во АН СССР, 1963.
115. Березинский В.С., Буланов С.В., Гинзбург В.Л., Догель В.А., Птускин В.С. *Астрофизика космических лучей* / Под ред. В.Л. Гинзбурга. М.: Наука, 1984.
116. Дорман Л.И., Фрейдман Г.И. // *Вопросы магнитной гидродинамики и динамики плазмы.* Рига: Зинатне, 1959. С. 77.
117. Шабанский В.П. // *ЖЭТФ.* 1961. Т. 41. С. 1107.
118. Топтыгин И.Н. *Космические лучи в межпланетных магнитных полях.* М.: Наука, 1983.
119. Hoyle F., Harwit M. // *PASP.* 1958. Vol. 74. P. 202.
120. Паркер Е.Н. // *Космическая газодинамика* / Под ред. Х.Дж. Хабинга. М.: Мир, 1972. С. 198.
121. Паркер Е.Н. *Космические магнитные поля.* Т. 2. М.: Мир, 1982.
122. Пикельнер С.Б. // *Астрон. журн.* 1970. Т. 47. С. 254.

123. Murdin P., Allen D. Catalogue of the Universe. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1979.
124. Артамонов Б.П. // Астрон. журн. 1969. Т. 46. С. 978.
125. Лозинская Т.А. Сверхновые и звездный ветер: взаимодействие с газом Галактики. М.: Наука, 1986.
126. Van der Laan H. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1962. Vol. 124. P. 125.
127. Gull T.R. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1973. Vol. 161. P. 47.
128. Issa M.R., Wolfendale A.M. // Nature. 1981. Vol. 292. P. 430.
129. Morfill G.E., Forman M., Bighami G. // Astrophys. J. 1984. Vol. 284. P. 856.
130. Гуревич А.В., Догель В.А., Зыбын К.П., Истомин Я.Н. // Письма в "Астрон. журн." 1985. Т. 11. С. 675.
131. Cesarsky C.J., Volk H.J. // Astron. Astrophys. 1978. Vol. 70. P. 367.
132. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Физика межзвездной среды. М.: Наука, 1979.
133. Мухомов Т.Ч. // Протопланеты и звезды / Под ред. Т. Герелса. М.: Мир, 1982. Т. 1. С. 236.
134. Дудоров А.Е. // Межзвездная среда. М.: ВИНТИ, 1990. С. 77.
135. Lynden-Bell D., Pringle J.E. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1974. Vol. 168. P. 603.
136. Леви Е., Сонетт К. // Протозвезды и планеты / Под ред. Т. Герелса. М.: Мир, 1982. Т. 2. С. 589.
137. Сафронов Б.С., Рузмайкина Т.В. // Protostars and Planets II / Ed. D.C. Black, M.S. Matthews. Tucson: Arisona Univ. press, 1985. P. 959.

УДК 524.33

ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕР ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ — ОТ ШАЙНА ДО НАШИХ ДНЕЙ

В.Г. Горбачкий

Санкт-Петербургский университет

INVESTIGATION OF LONG-TERM VARIABLES' ATMOSPHERES — FROM SHAJN TO MODERN TIMES

V.G. Gorbatsky

Введение в действие в 1926 г. в Симеизской обсерватории крупного по тем временам (с зеркалом диаметром 1 м) телескопа ознаменовало начало новой эпохи в отечественной астрофизике. При посредстве этого инструмента Г.А. Шайном и его сотрудниками выполнялись обширные программы наблюдений спектров звезд и туманностей.

Среди объектов наблюдений видное место занимали долгопериодические переменные звезды (ДП). Они относятся к сверхгигантам (болометрическая величина $L_{\max} \sim 10^{37}$ эрг/с) поздних спектральных классов M, S, C, обладают очень большой амплитудой изменения блеска в оптической области (5^m-6^m) и радиусы их достигают нескольких сотен радиусов Солнца. В спектрах ДП на восходящей ветви кривой блеска появляются эмиссионные линии бальмеровской серии водорода, которые достигают максимальной интенсивности вскоре после максимума блеска звезды и затем постепенно ослабевают. При падении блеска в спектре становятся заметными линии металлов Fe I, Ca I и другие.

Происхождение эмиссионного спектра у ДП долгое время оставалось непонятным. Дело в том, что, согласно разработанной в 30-х годах теории свечения планетарных туманностей и оболочек нестационарных звезд (Be, WR, новых), эмиссионные линии в спектрах этих объектов возникают в процессе флуоресценции, т.е. переработки высокочастотного излучения в УФ-области спектра в излучение в оптическом диапазоне. Источником УФ-излучения у этих объектов служит горячая звезда. В случае действия флуоресцентного механизма для отношения интенсивностей эмиссионных линий бальмеровской серии водорода должно иметь место соотношение $I_{H\alpha} > I_{H\beta} > I_{H\gamma}$ — так

называемый бальмеровский декремент. Отношение интенсивностей этих линий является важной характеристикой эмиссионного спектра. Предположение о происхождении эмиссионных линий у ДП путем флуоресценции встретило большие трудности. Прежде всего очевидно, что холодные звезды, какими являются ДП ($T \sim 3000$ K), не излучают того количества фотонов в УФ-области спектра, которое необходимо для обеспечения наблюдаемых интенсивностей эмиссионных линий. Кроме того, из наблюдений следует, что появляющиеся на восходящей ветви кривой блеска эмиссионные линии водорода имеют аномальное, по сравнению с существующим для планетарных туманностей и нестационарных звезд, отношение интенсивностей, а именно: для них

$$I_{H\alpha} < I_{H\beta} < I_{H\gamma}.$$

Начатые Г.А. Шайном в 30-е годы и продолжавшиеся более 10 лет исследования спектров ДП привели к важнейшим для понимания природы этих звезд выводам. Как известно, спектры холодных звезд очень сложные – в них имеется множество молекулярных полос поглощения. У ДП, относящихся к классу М (мирид), к которым принадлежит около 90% всех ДП, в спектрах доминируют полосы молекулы TiO. Г.А. Шайн нашел, что аномалии в интенсивностях эмиссионных линий водорода возникают в результате экранирования излучения в этих линиях путем поглощения излучения молекулами TiO, располагающимися в более внешних слоях атмосферы звезды [1]. Это поглощение сказывается наиболее сильно в красной и зеленой областях спектра. С течением времени – вблизи максимума блеска и при его падении – отношение интенсивностей эмиссионных линий приближается к нормальному, т.е. эффект экранирования уменьшается. Этот вывод Г.А. Шайна сыграл в дальнейшем весьма существенную роль при разработке теории образования эмиссионных спектров у ДП и других типов пульсирующих звезд.

Впоследствии, в 40-е и 50-е годы, Г.А. Шайн изучал особенности эмиссионных линий Fe II, которые более ярки на нисходящей ветви кривой блеска, и установил, что эти особенности связаны с поглощением излучения в линиях, но уже не молекулами TiO, а атомами Fe I и Ca I, расположенными в более высоких слоях атмосферы звезды [1, 2]. Таким образом, как молекулы TiO, так и нейтральные атомы металлов находятся дальше от центра звезды, чем области, из которых исходит излучение в линиях H и Fe II.

Среди важных обстоятельств, способствовавших в дальнейшем пониманию механизма образования эмиссионного спектра ДП, необходимо отметить вывод о том, что вблизи минимума блеска звезды эмиссионные линии H (к этому времени ослабленные), а также линии Fe II и Fe I представляются наложенными на полосы поглощения TiO, тогда как эффекты экранирования излучения в линиях малы (Джой, 1947 г. [4]). Тем самым наблюдения указывают, что эффективный уровень слоя, дающего излучение в линиях, постепенно смещается в более внешние области атмосферы.

Интересным обстоятельством, выяснившимся при измерениях смещений спектральных линий у ДП, явилось обнаружение "К-эффекта". Измерения лучевых скоростей ДП в эпоху максимального блеска показали, что величина систематического смещения линий поглощения близка к нулю, тогда как смещения линий излучения свидетельствуют о приближении излучающего газа к нам со скоростью несколько десятков километров в секунду. При учете этого факта Соболевым было предложено объяснение происхождения эмиссионного спектра на основе теории движущихся оболочек звезд при использовании традиционного механизма образования линий – флуоресценции [5]. Все же при этом главные особенности эволюции эмиссионного спектра оставались непонятными, поскольку, как выяснилось позже, использовался не соответствующий действительной природе этих звезд механизм образования эмиссионного спектра.

До 50-х годов флуоресцентный механизм возбуждения свечения туманностей и

звездных оболочек в эмиссионных линиях оставался единственно известным. Однако в конце 50-х – начале 60-х годов было показано, что трудности, возникающие при интерпретации спектра ДП, снимаются при привлечении совершенно иного механизма возбуждения свечения – нагрева газа при распространении ударной волны по атмосфере звезды (Горбацкий, 1961 г. [6]).

Явление ударной волны заключается в распространении по газу скачка давления (сопровождающегося скачками плотности и скорости). Ударная волна возникает при резком возрастании давления в газе (например, при быстром вдвигании поршня в трубу, наполненную газом) и движется со сверхзвуковой скоростью относительно невозмущенного газа.

В ударной волне часть кинетической энергии газа переходит в тепловую. Кроме того, ею приводится в движение неподвижный до этого газ. Газ, нагретый до достаточно высокой температуры, является источником излучения. Этот эффект ударных волн оказывается очень важным для изучения их в космических объектах, поскольку излучение нагретого ими газа наблюдаемо. Так как данный элемент газа получает тепловую энергию от волны в течение очень короткого времени, то после ее прохождения, при отсутствии других источников энергии, нагретый газ постепенно теряет полученную энергию путем излучения – высвечивается.

Таким образом, свечение за фронтом ударной волны является нестационарным. Заметим, что теория нестационарного поля излучения разрабатывалась в Ленинградском университете еще с конца сороковых годов, причем вне связи с ударными волнами, отчетливые представления о которых сформировались у астрофизиков лишь десятилетием позже. Ряд выводов этой теории нашел применение при исследовании эволюции эмиссионных спектров ДП (Горбацкий, 1958 г. [7]).

В начале 60-х годов было выдвинуто предположение о том, что появление эмиссионных линий в спектрах ДП обусловлено действием ударной волны, распространяющейся по атмосфере звезды, и были выполнены расчеты кинетики газа при нагреве его волной (Горбацкий [6]). Эти расчеты показали, что в нагретом газе происходит ионизация атомов водорода излучением в резонансной линии L_{α} и непосредственно электронным ударом. Вследствие рекомбинаций возникает излучение в линиях бальмеровской серии водорода, которое и наблюдается. По предположению, ударная волна движется из глубоких областей атмосферы наружу. Соответственно ионизируются все более внешние слои оболочки звезды – эффективный радиус области эмиссии в линиях возрастает. Одновременно уменьшается оптическая толщина наружных слоев атмосферы, создаваемая поглощением молекулами, и соответственно ослабляется экранирование ими излучения в линиях бальмеровской серии. Наблюдаемый бальмеровский декремент поэтому приближается к нормальному. (Нужно иметь в виду, что не только при флуоресценции, но и при других способах образования эмиссионного спектра, в частности при ионизации атомов электронным ударом, имеет место неравенство $I_{H_{\alpha}} > I_{H_{\beta}} > I_{H_{\gamma}}$).

Эмиссионные линии в спектре могут появиться, когда ударная волна обладает достаточно большой скоростью и способна нагреть газ до такой температуры, при которой возможна значительная ионизация водорода. Расчеты показали, что это возможно при скорости волны, превышающей 30 км/с. Согласно наблюдениям смещения эмиссионных линий водорода в момент их появления соответствуют именно такой скорости. Возрастание абсолютных интенсивностей эмиссионных линий водорода с приближением блеска звезды к максимуму связано с возрастанием скорости ударной волны при переходе ее в менее плотные слои атмосферы. Действительно, наблюдения показывают, что смещения эмиссионных линий до максимума блеска возрастают. Таким образом, картина наблюдаемых изменений спектра ДП получила объяснение в рамках описанной газодинамической модели.

По мере исчерпания тепловой энергии, полученной от волны, температура излучающего газа должна уменьшаться. При этом в нем возникают эмиссионные линии с низким потенциалом возбуждения – нейтральных металлов, – а к минимуму блеска температура газа снижается до такого уровня, при котором возможно образование молекул. Так как высветившийся слой атмосферы продолжает свое движение от центра звезды, то линии поглощения, образуемые в нем, имеют смещения, отличающиеся от смещений в самой внешней области, до которой волна еще не дошла. Поэтому в эпоху, близкую к минимуму блеска, существуют две системы абсорбционных линий с различающимися смещениями. Подобное явление наблюдается не только у ДП, но и у пульсирующих звезд типов RR Лиры, W Девы, RV Тельца. Спектры звезд этих типов характеризуются появлением водородной эмиссии в линиях в эпоху после минимума блеска, которая, по-видимому, обусловлена, как и в случае ДП, действием периодически распространяющихся ударных волн в атмосферах (Абт [8]).

Как было сказано выше, расчеты кинетики процесса ионизации ударной волной были произведены в 60-х годах. Что же касается самой ударной волны, ее происхождения и закономерностей движения, то исследование этих проблем было сделано значительно позже (Хилл, Виллсон [9]). Расчет модели звезды с пульсирующим по экспоненциальному закону ядром и протяженной изотермической оболочкой показал, что действующее как "сферический поршень" ядро вызывает движение газа наружу, преобразующееся по мере уменьшения плотности газа с расстоянием от центра звезды в ударную волну. По-видимому, появление ударных волн характерно для атмосфер всех пульсирующих звезд, включая классические цефеиды, но у последних, по ряду причин, волна оказывается недостаточно сильной, чтобы вызвать ионизацию водорода (ионизованными оказываются только атомы металлов).

Распространение ударных волн из глубоких слоев звезды самым существенным образом сказывается на структуре ее атмосферы. Заставляя газ двигаться наружу, волна противодействует тяготению, т.е. приводит к уменьшению эффективной величины ускорения силы тяжести. Как известно, протяженность статической атмосферы обратно пропорциональна этой величине, и уже на таком основании можно сделать вывод о большей протяженности атмосферы пульсирующей звезды по сравнению со звездой того же класса, но не испытывающей пульсаций. Качественно этот вывод остается справедливым и для "динамической атмосферы", подверженной периодическому воздействию ударных волн с интервалом между ними, равным периоду пульсаций. В этом случае распределение скорости движения и плотности в атмосфере оказывается крайне неоднородным – слои, затормозившиеся под действием тяготения звезды и начинающие движение в обратном направлении, встречаются с газом, движущимся наружу. Решение самосогласованной газодинамической задачи о структуре атмосферы в таких условиях привело к заключению о том, что шкала высот увеличивается более чем на порядок по сравнению со статической атмосферой и для ДП составляет несколько сотен радиусов Солнца (Федорова [10]). Таким образом, огромные размеры атмосфер этих звезд (факт, отмеченный еще в 20-е годы) получили объяснение на той же основе, что и интерпретация их эмиссионного спектра.

Явление ударной волны в атмосфере ДП не сказывается сколько-нибудь существенно на энергетике этих звезд. Диссипирующая со временем энергия волны будет того же порядка, что и энергия, испускаемая в частотах эмиссионных линий. По сравнению со светимостью звезды скорость диссипации энергии волны мала – она составляет около 10^{35} эрг/с. Следовательно, долгопериодические изменения светимости не зависят от присутствия ударных волн, хотя на излучении в оптической области спектра распространение волны может сказываться довольно сильно в результате "просветления" атмосферы за счет диссоциации молекул при нагреве газа.

Скорость приведенного в движение волной газа, вообще говоря, недостаточна для того, чтобы приводить к значительной потере вещества из ДП (по крайней мере

для звезд с массой $(2-3)M_{\odot}$. Однако благодаря очень большому размеру атмосферы процесс потери массы должен облегчаться. Наиболее вероятным фактором, способствующим образованию звездного ветра для ДП является давление излучения. Существуют убедительные наблюдательные свидетельства быстрой потери массы холодными звездами большой светимости, в том числе и долгопериодическими переменными звездами. Главным из таких свидетельств является присутствие у этих звезд мощных околосветовых оболочек, обнаруживаемых по их ИК-излучению (Нейгебауер и др. [11]). Если эти оболочки состоят из потерянного звездой вещества, то скорость потери массы звездой (для всех красных гигантов и сверхгигантов) описывается статистически зависимостью $dM_*/dt \sim R_* L_* M_*^{-1}$, где R_* , L_* и M_* – радиус, светимость и масса звезды соответственно (Реймерс [12]). Согласно этой зависимости скорость потери массы для ДП может достигать величины $10^{-5}M_{\odot}$ в год.

По современным представлениям об эволюции звезд, быстрая потеря массы звездой на стадии красного гиганта является необходимым процессом. Предположение о лучевом давлении как о наиболее существенном факторе, обеспечивающем потерю массы, неоднократно использовалось в соответствующих расчетах (см., например, Квок [13]). Однако в отношении того, что является преобладающим в процессе образования звездного ветра у ДП – давление излучения на молекулы или давление на пылинки – до настоящего времени ясности нет. Главная трудность при расчетах давления излучения в этом случае заключается в необходимости корректного учета процессов образования и диссоциации молекул, а также конденсации вещества в твердую фазу (пыль) в динамической атмосфере звезды. При этом нужно принимать во внимание газодинамические процессы и рассчитывать перенос излучения.

О роли ударных волн в образовании мощного звездного ветра у ДП можно судить по результатам одной из недавних работ, в которой производились обширные расчеты скорости потери массы пульсирующей звездой в зависимости от величины массы и других параметров (Боуэн, Виллсон [14]). Из этих расчетов следует, что при определенных условиях скорость потери массы звездой должна расти экспоненциально, достигая величины $(10^{-4}-10^{-5})M_{\odot}$ в год. Такой "сверхветер" ("superwind") приведет к потере звездой вещества в количестве нескольких солнечных масс менее чем за миллион лет. Следовательно, стадия долгопериодической переменности должна быть сравнительно кратковременной – порядка 10^6 лет или менее. С другой стороны, число долгопериодических переменных в Галактике в настоящее время превосходит 10 (Горбацкий, Лебедева [15]). Таким образом, количество звезд, прошедших за время жизни Галактики стадию ДП может превосходить 10^{10} , а общая масса газа и пыли, выброшенных из них, составлять 5–10% массы Галактики.

Каждая из ДП вносит в составе звездного ветра в межзвездную среду выработанные в звезде путем термоядерных реакций углерод, азот, кислород и другие элементы. Из этого газа в дальнейшем вновь могут образовываться звезды. Таким образом, ДП оказывают существенное влияние на химическую эволюцию межзвездной среды, а тем самым и всей Галактики.

В кратком докладе невозможно с достаточной полнотой осветить все аспекты современных исследований долгопериодических переменных звезд. Тем не менее даже из сказанного видно, насколько существенной является роль этих звезд в различных процессах, происходящих в Галактике. То, что в Симеизской обсерватории было уделено столь большое внимание изучению этих звезд в то время, когда об их роли в эволюции Галактики еще ничего не было известно, свидетельствует о глубокой научной интуиции Г.А. Шайна.

Апрель. 1992 г.

1. Шайн Г.А. // *Zs. Astrophys.* 1935. Bd. 10. S. 73.
2. Шайн Г.А. // *ДАН СССР.* 1942. Т. 42. С. 254.
3. Шайн Г.А. // *ДАН СССР.* 1944. Т. 44. С. 293.
4. Joy A. // *Astrophys. J.* 1947. Vol. 106. P. 288.
5. Соболев В.В. // *Движущиеся оболочки звезд.* Л.: Изд-во ЛГУ, 1947.
6. Горбачкий В.Г. // *Астрон. журн.* 1961. Т. 38. С. 256.
7. Горбачкий В.Г. // *Астрон. журн.* 1958. Т. 35. С. 749.
8. Abt H. // *Astrophys. J.* 1959. Vol. 130. P. 560.
9. Hill S., Willson L.A. // *Astrophys. J.* 1979. Vol. 229. P. 1029.
10. Федорова О.В. // *Изв. САО.* 1980. Т. 12. С. 36.
11. Neugebauer G., Becklin E., Hyland A.R. // *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1971. Vol. 9. P. 67.
12. Reimers D. // *Mem. Soc. Roy Liege. Ser. 6.* 1975. Vol. 8. P. 36.
13. Kwok S. // *Astrophys. J.* 1975. Vol. 198. P. 583.
14. Bowen G.H., Willson L.A. // *Astrophys. J.* 1991. Vol. 375. P. 53.
15. Горбачкий В.Г., Лебедева И.И. // *Вестн. ЛГУ.* 1976. № 13. С. 139.

УДК 524.35

УГЛЕРОДНЫЕ ЗВЕЗДЫ

А.К. Алкснис

Радиоастрофизическая обсерватория Латвийской Академии наук

CARBON STARS

A.K. Alksnis

Углеродные звезды выделяются среди других холодных звезд наличием полос поглощения молекулы C_2 в видимом спектре. Это и другие спектральные отличия углеродных звезд от звезд спектральных классов М и S обусловлены в основном относительным содержанием углерода и кислорода $C/O > 1$. Типичные углеродные звезды спектрального класса N (или поздних подклассов C), согласно теории звездной эволюции, находятся на стадии асимптотической ветви гигантов, во время которой продукты термоядерного синтеза, протекающего в недрах, выносятся на поверхность звезды [1]. У ряда групп нетипичных углеродных звезд – CN-звезд, бариевых звезд, J-звезд, HdC-звезд и совсем недавно обнаруженных углеродных карликов [2] – другое происхождение, в частности связанное с двойственностью.

Наблюдения в инфракрасном и микроволновом диапазонах выявили так называемые экстремальные углеродные звезды, окутанные в мощные газопылевые оболочки, и показали роль углеродных звезд в обогащении межзвездной среды тяжелыми элементами [3]. Поиски и исследования углеродных звезд в других галактиках, особенно в Магеллановых Облаках, позволили определить функцию светимости и другие наблюдательные характеристики, необходимые для проверки теории эволюции звезд.

К середине 1989 г. в Общем каталоге холодных углеродных звезд Галактики Стивенсоном [4] было зарегистрировано почти 6000 таких объектов. Различные аспекты исследования углеродных звезд в последние годы обсуждались на международных совещаниях и в обзорных статьях [5–8].

С 1939 г. в течение около 10 лет углеродные звезды были объектами весьма интенсивных исследований Г.А. Шайна. Появилось более десятка публикаций по изучению спектров этих звезд: частично совместно с В.Ф. Газе и в одном случае с О. Струве

(см. [9] и приложенную там библиографию). Эти работы Г.А. Шайна относятся главным образом к двум проблемам: содержанию изотопов углерода ^{12}C и ^{13}C и фиолетовой депрессии.

Отношение содержания изотопов углерода в углеродных звездах позволяет судить о характере протекающих внутри звезд термоядерных реакций.

Уже в 1941 г. по спектрам нескольких звезд спектрального класса N , полученным на 40-дюймовом телескопе Симеизской обсерватории, Г.А. Шайн находит убедительные доказательства в пользу наличия тяжелых молекул углерода $^{13}\text{C}^{12}\text{C}$ в большой концентрации: в разных звездах отношение содержания $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ составляет от 0,05 до 0,5, т.е. намного больше того, что наблюдается на Земле [10]. Позже, подводя итоги цикла работ по изучению содержания изотопа ^{13}C в углеродных звездах, Г.А. Шайн и В.Ф. Газе заключают, что наблюдаемые в некоторых звездах классов R и N большие значения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (в максимуме 0,30–0,40) являются реальностью, так же как и значительная дисперсия этого отношения [11, 12].

Впоследствии появилось много работ разных авторов по изучению отношения содержания изотопов углерода, иногда с очень различающимися между собой результатами (см. обзор Дзервитиса в [13], с. 215–225). Новейшие, более точные определения Ламберта и др. [14] дают результаты, весьма близкие к выводам Г.А. Шайна: у пяти звезд, упомянутых в работе Г.А. Шайна [10], они получили следующие значения $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$: γ CVn – 3,5; U Hya – 4,5; UU Aur – 52; TX Psc – 43; X Cnc – 52, что соответствует обратным числам от 0,02 до 0,3 для отношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, каким пользовался Г.А. Шайн.

Распределение числа углеродных звезд в зависимости от отношения изотопов углерода показано на рис. 24 статьи Ламберта и др. [14]. В этой гистограмме отдельно от остальных группируется небольшое число звезд, богатых изотопом ^{13}C , у которых $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} < 20$ и которые были обозначены как J -звезды. Остальные углеродные звезды имеют это отношение в пределах от 30 до 100 с максимумом распределения около $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 55$.

Для значительно большего количества звезд (300) относительное содержание изотопа ^{13}C по полосам $^{12}\text{C}^{13}\text{C}$ у λ 6168 Å и ^{13}CN у λ 6260 Å грубо оценил Ямашита [15, 16]. Углеродные звезды со значительно усиленными полосами изотопа ^{13}C (индекс ^{13}C имеет значение 4–5) Ямашита классифицировал добавлением буквы J . Согласно Ллойд Ивенсу [17], эти звезды имеют отношение $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} < 19$, т.е. соответствуют классу J по Ламберту и др. [14].

Ибен и Ренцини [1] подчеркивают, что происхождение звезд, богатых изотопом углерода ^{13}C , т.е. J -звезд, не ясно и перечисляют три возможности: 1) несолнечное начальное отношение $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$; 2) дополнительный CN-цикл, созданный своего рода "экстраперемешиванием" и 3) обмен массой в двойной системе. Первую возможность они считают очень маловероятной для возникновения J -звезд с отношением $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \approx \approx 10$.

Новый интерес к J -звездам привлекло открытие силикатной пыли в околозвездных оболочках некоторых углеродных звезд [18, 19]. Обычно химический состав околозвездных оболочек, которые возникают вследствие истечения вещества из внешних слоев центральной звезды, отражает состав ее атмосферы. Среди трех углеродных звезд с "аномальным" химическим составом околозвездной оболочки две оказались классифицированными Ямашитой [15–16] как J -звезды – V778 Cyg и VM Gem [19]. Наличие околозвездных оболочек, характерных для богатых кислородом гигантов, подтвердило обнаружение у двух углеродных звезд EU And и V778 Cyg мазерного излучения H_2O [20, 21].

Появилось еще несколько списков углеродных звезд с оболочками, богатыми кислородом. Ллойд Ивенс [22] тщательно проверил 20 объектов, отнесенных разными авторами к углеродным звездам с силикатными оболочками, и только семь из них признал

соответствующими этому классу звезд. Оказалось, что пять из них принадлежат к J-звездам. При помощи спектров высокого разрешения в области 4 мкм Ламберт и др. [23] показали, что и две остальные из семи звезд – EU And и NC 83 – являются богатыми изотопом ^{13}C углеродными звездами: у них отношение $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ близко к такому же отношению у J-звезды VX And, т.е. $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 13$. Таким образом, все известные углеродные звезды с эмиссией силикатной пыли являются J-звездами. Такое соответствие не может быть случайным [23].

Сразу после сообщения об открытии силикатных оболочек у углеродных звезд были предложены и гипотезы о происхождении таких объектов. Основные из них: 1) двойная звезда с компонентами углеродной звезды и звезды спектрального класса M; оболочка относится к последней [18] и 2) звезда находится на кратковременной стадии вскоре после преобразования M-звезды в углеродную, и околозвездная оболочка первой еще не успела рассеяться [19, 24]. Трудности, с которыми встречаются эти гипотезы, изложены в работах [22, 23, 17].

Некоторые противоречия между гипотезами и наблюдениями углеродных звезд с силикатными оболочками устраняют альтернативные модели – тоже двойные звезды, но содержащие диски из вещества, истекавшего с поверхности главного компонента до того, когда он преобразовался в углеродную звезду [22, 25].

Барнбом и др. нашли признаки переменности лучевых скоростей у EU And и VM Gem, что поддерживает модель с двойной звездой. Возможно, что излучение углеродных звезд с силикатными оболочками имеет ключевое значение для выяснения природы J-звезд [26].

Природа ослабления фиолетовой области спектра – так называемая фиолетовая депрессия – важная наблюдательная характеристика углеродных звезд спектрального класса N была изучена Г.А. Шайном совместно с О. Струве [27]. Они установили наличие сильной широкой абсорбции в области спектра начиная с $\lambda 4100 \text{ \AA}$ или даже $\lambda 4300 \text{ \AA}$, которая ответственна за депрессию фиолетового спектра, являясь причиной больших показателей цвета (до 5 зв. вел. у N-звезд), и за ослабление атомарных линий. Авторы работы считали вероятным, что эта широкая абсорбция, после температуры и содержания химических элементов, является важным фактором, определяющим характеристики углеродных звезд.

Вопрос о происхождении фиолетовой депрессии в углеродных звездах позже рассматривался неоднократно рядом авторов (см. обзор Алксне и др. в работе [13], с. 77–79 или в [28], с. 44–47). Убедительное решение этой проблемы только недавно получено Джонсоном и др. [29] путем сравнения синтетических спектров углеродных и M-звезд, рассчитанных с учетом многих ранее предложенных и новых источников непрозрачности, с результатами наблюдений фиолетового и ультрафиолетового спектров N-звезды TX Psc. Они пришли к выводу, что наблюдаемое явление возникает из-за суммарного действия нескольких источников непрозрачности: связанно-связанной непрозрачности низких уровней MgI, CaI и FeI, связанно-свободной непрозрачности NaI, MgI и CaI, а также, в меньшей мере, фотодиссоциации CN и псевдоконтинуума C_3 . Оказывается все же, что снижение фиолетового потока в углеродных звездах в первую очередь является температурным эффектом, а содержание углерода влияет лишь через величину и глубину охлаждения внешних слоев атмосферы молекулой CO [29].

Таким образом, те задачи в изучении углеродных звезд, которыми полвека назад занимался Г.А. Шайн, по-прежнему актуальны, до конца не решены, хотя теперь используются наблюдения во всем диапазоне длин волн, сложные вычислительные методы и мощная техника.

Апрель, 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Iben I. (Jr.), Renzini A. // *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1983. Vol. 19. P. 271–342.
2. Green P.J., Margon B., MacConnell D.J. // *Astrophys. J.* 1991. Vol. 380. P. 31–34.
3. Omont A., Loup C., Forveille T. et al. 1991. 61 p. (Prepr. Inst. d'Astrophysique de Paris; N 361).
4. Stephenson C.B. // *Publ. Warner and Swasey Obs.* 1989. Vol. 3. P. 55–124.
5. Cool stars with excesses of heavy elements / Ed. V. Jaschek, P.C. Keenan. Dordrecht: Reidel, 1985. 398 p.
6. The evolution of peculiar red giants / Ed. H.R. Johnson, B. Zuckerman. Cambridge: Univ. press, 1989. 440 p.
7. From Miras to planetary nebulae: Which path for stellar evolution? Gif-sur-Yvette, 1990. 565 p.
8. Blanco V.M. // *Rev. Mexicana Astron. Astrofis.* 1989. Vol. 19. P. 25–37.
9. Пикельнер С.Б. // Историко-астрономические исследования. М., 1957. Вып. 3. С. 551–607.
10. Shajn G.A. // *Bull. Abastumani Astrophys. Obs.* 1942. N 6. P. 1–6.
11. Shajn G.A., Hase // *Mem. Soc. Roy. Sci. Liege. Ser. 4.* 1954. Vol. 14. P. 397–401.
12. Шайн Г.А., Газе В. // Ядерные процессы в звездах. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 305–308.
13. Алксне З., Алкснис А., Дзервитис У. Характеристики углеродных звезд Галактики. Рига: Зинатне, 1983. 252 с.
14. Lambert D.L., Gustafsson B., Eriksson K., Hinkle K.H. // *Astrophys. J. Suppl.* 1986. Vol. 62. P. 373–425.
15. Yamashita Y. // *Ann. Tokyo Astron. Obs. Sec. Ser.* 1972. Vol. 13. P. 169–217.
16. Yamashita Y. // *Ann. Tokyo Astron. Obs. Sec. Ser.* 1975. Vol. 15. P. 47–59.
17. Lloyd Evans T. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1991. Vol. 249. P. 409–416.
18. Little-Marenin I.R. // *Astrophys. J.* 1986. Vol. 307. P. L15–L19.
19. Willems F.J., De Jong T. // *Astrophys. J.* 1986. Vol. 309. P. L39–L42.
20. Benson P.L., Little-Marenin I.R. // *Astrophys. J.* 1987. Vol. 316. P. L37–L40.
21. Nakada Y., Izumiura H., Onaka T. et al. // *Astrophys. J.* 1987. Vol. 323. P. L77–L80.
22. Lloyd Evans T. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1990. Vol. 243. P. 336–348.
23. Lambert D.L., Hinkle K.H., Smith V.V. // *Astorn. J.* 1990. Vol. 99. P. 1612–1620.
24. Willems F.J., De Jong T. // *Astron. Astrophys.* 1988. Vol. 196. P. 173–184.
25. Morris M. // From Miras to planetary nebulae: Which path for stellar evolution? Gif-sur-Yvette, 1990. P. 520–535.
26. Barnbaum C., Morris M., Likkell L., Kastner J.H. // *Astron. Astrophys.* 1991. P. 79–91.
27. Shajn G.A., Struve O. // *Astrophys. J.* 1947. Vol. 106. P. 86–91.
28. Alksne Z.K., Alksnis A.K., Dzervitis U.K. // Properties of Galaktic carbon stars. Malabar (Florida), 1991. 163 p.
29. Johnson H.R., Luttermoser D.G., Faulkner D.R. // *Astrophys. J.* 1988. Vol. 332. P. 421–431.

УДК 524.5

ДИФFUЗНЫЕ ТУМАННОСТИ В НАШЕЙ И ДРУГИХ ГАЛАКТИКАХ

В.И. Проник

Крымская астрофизическая обсерватория

DIFFUSE NEBULAE IN OUR AND OTHER GALAXIES

V.I. Pronik

ВВЕДЕНИЕ

Последние 7–8 лет своей жизни Григорий Абрамович Шайн целиком посвятил исследованию диффузных туманностей, положив начало интенсивному развитию в нашей стране одного из самых больших разделов астрофизики, который называется "Межзвездная среда". Вообще говоря, физика газовых туманностей и межзвездного газа берет начало в теоретических работах Д. Мензела, Д. Бэккера, Л. Аллера, В.А. Амбарцумяна и В.В. Соболева. В них основное внимание уделялось атомарным процессам, ответственным за свечение газа, находящегося в поле излучения горячих звезд. Г.А. Шайн впервые рассматривает межзвездное пространство как единую среду, заполненную газом и пылью при наличии в ней магнитного поля. Опираясь на собственные наблюдения, он изучает структуру и динамику диффузных туманностей и

© В.И. Проник, 1995

межзвездного газа, выявляет эволюционную связь диффузных туманностей и обширных областей НП с возбуждающими горячими O–B0-звездами. В этот же период под его влиянием С.П. Пикельнером были выполнены очень важные работы по физике межзвездного газа; некоторые из них были написаны совместно с Г.А. Шайном и В.Ф. Газе.

Выбор тематики научных исследований Г.А. Шайна в послевоенный период, вероятно, был продиктован самими обстоятельствами послевоенных лет. Как известно, вернувшись из эвакуации в обсерваторию в Симеиз, Григорий Абрамович и его сотрудники увидели, что метрового телескопа-рефлектора больше не существует, а научное оборудование уничтожено. В то же время главное в своей научной работе Григорий Абрамович по-прежнему видел в получении наблюдательных фактов. И вот в этой ситуации он находит, может быть, одно из лучших решений – начать исследование диффузных туманностей – больших протяженных объектов, для наблюдений которых важны не столько диаметр объектива телескопа, сколько его светосила. Наблюдения были начаты немедленно, для чего использовались случайные линзовые объективы диаметром около 10 см.

В некрологе, посвященном В.Ф. Газе, своему ближайшему сотруднику и соавтору практически всех работ по газовым туманностям, Григорий Абрамович пишет: "После частичного восстановления обсерватории, из-за отсутствия соответствующих инструментов, нельзя было и думать о продолжении работ по звездной спектроскопии. Было выбрано другое поле исследования – светлые диффузные туманности... Начавшиеся в 1949 году наблюдения проводились со скромными инструментальными средствами. Тем не менее за короткое время был собран большой фактический материал; обнаружено много ранее неизвестных эмиссионных туманностей, а в уже известных – выявлены новые интересные детали" [1].

Регулярные наблюдения диффузных туманностей начаты летом 1949 г. сначала на камере 450 мм, а затем на камере 640 мм, и уже в 1951 г. был опубликован первый список эмиссионных диффузных туманностей, содержащий описание 35 туманностей и их окрестностей [2]. Для увеличения контраста туманностей над звездным фоном и фоном неба и для получения абсолютных потоков фотографирование велось в фильтрах с полосой пропускания, центрированной на линию H_{α} , и в участках непрерывного спектра. Яркость туманностей калибровалась в звездных величинах с квадратной минуты. Одновременно с фотографированием уже известных туманностей велись систематические поиски новых туманностей вдоль Млечного Пути. В результате за 4 года Г.А. Шайном и В.Ф. Газе было открыто более 200 новых диффузных туманностей, которые приведены в окончательном Каталоге эмиссионных туманностей [3]. Самые яркие из них вошли в опубликованный Г.А. Шайном и В.Ф. Газе "Атлас диффузных туманностей" [4].

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Первая большая работа по газовым туманностям была опубликована Г.А. Шайном и В.Ф. Газе в 1951 г. в 6-м томе Известий Крымской астрофизической обсерватории [2]. В ней поставлен целый ряд проблем по межзвездной среде, которые в то время были либо мало разработаны, либо звучали впервые. Среди них перечислены такие проблемы:

- какова средняя и локальная плотность межзвездной материи и какова ее общая масса в Галактике;
- находятся ли газ и пыль вместе в одних и тех же пространственных образованиях;
- каковы взаимоотношения между газовыми туманностями и межзвездными газовыми облаками, ответственными за линии поглощения в спектрах далеких звезд;
- идентичность и различие эмиссионных и отражательных туманностей;
- связь туманностей с возбуждающими звездами; механизмы возбуждения тех туманностей, вблизи которых нет возбуждающих звезд;

- физические параметры газа и пылевой материи, взаимодействия пыли и газа, роль лучевого давления звезд для межзвездной среды;
- эволюция межзвездной материи вообще и диффузных туманностей в частности;
- отношение межзвездной материи к космическому радиоизлучению и к космическим лучам;
- роль межзвездной материи в намечающейся гипотезе о так называемых протозвездах и другие.

С позиций нынешнего дня некоторые проблемы устарели, некоторые звучат слишком осторожно, но есть и такие, которые до сих пор остались не до конца решенными, как, например, эволюция межзвездной материи. Беспокоясь о том, как бы некоторые из проблем не казались чрезмерно надуманными, Григорий Абрамович подчеркивает, что "...по мере накопления наблюдаемых фактов кажущийся спекулятивный характер многих из проблем исчезнет и важная роль межзвездной материи в фундаментальных проблемах астрофизики и космологии станет очевидной. С другой стороны, по мере накопления материала должны возникнуть новые проблемы" [2]. Отличным примером сказанному могут быть последние работы Григория Абрамовича о магнитном поле Галактики и его влиянии на структуру диффузных туманностей. Заметим, что среди перечисленных выше проблем магнитное поле не упоминалось.

Григорий Абрамович отмечает три возможных метода изучения межзвездной материи:

- 1) поглощение света далеких звезд облаками межзвездной материи, полученное на базе фотометрических и колориметрических наблюдений звезд, может дать распределение межзвездной поглощающей свет материи в пространстве;
- 2) облачная структура межзвездной материи и характер движения облаков межзвездного газа могут быть получены по многокомпонентным линиям поглощения межзвездных атомов CaII и NaI, наблюдаемым в спектрах далеких звезд;
- 3) по фотографиям светлых эмиссионных и отражательных туманностей можно исследовать структуру газа и пылевой материи, физические условия в туманностях, их связь с О-В-звездами.

Первый наиболее трудоемкий метод получил название "площадки на небе". Сотрудниками и аспирантами Г.А. Шайна этим методом были исследованы в разных областях Млечного Пути участки неба общей площадью около тысячи квадратных градусов. Второй метод был разработан и применен С.А. Капланом, в частности для исследования турбулентности межзвездного газа. Последний, третий, метод Григорий Абрамович считал наиболее доступным и эффективным.

Опубликованные Григорием Абрамовичем и Верой Федоровной работы по межзвездной среде можно сгруппировать вокруг трех основных проблем.

I. Связь диффузных туманностей с О-В-звездами. С этой проблемой так или иначе связаны такие вопросы, как облачная структура туманностей и сосредоточение газа по периферии туманностей, механизмы возбуждения газа в туманностях, происхождение звезд и туманностей.

II. Идентичность и различия эмиссионных газовых и отражательных пылевых туманностей и их связь с принципиально различными типами звезд (первых – со звездами О-В0, иногда В1, вторых – со звездами В2-В5); о природе излучения газовых туманностей в непрерывном спектре.

III. Крупномасштабная и мелкомасштабная структуры диффузных туманностей (в том числе волокнистых, газовых и пылевых туманностей) как результат расширения газовой-пылевой облаков в магнитном поле Галактики.

Ниже мы остановимся на результатах, полученных Г.А. Шайном и его сотрудниками по каждой из этих проблем, и кратко упомянем о результатах, достигнутых после Шайна.

1. СВЯЗЬ ДИФFUЗНЫХ ГАЗОВЫХ ТУМАННОСТЕЙ С О-В-ЗВЕЗДАМИ

Как известно, эмиссионные диффузные туманности представляют собой газ, находящийся в пределах зоны Стремгrena данной горячей звезды. Понятие "зона Стремгrena" существует с 1948 г. [5], и Григорий Абрамович широко использовал его в своих работах. Поэтому, говоря о связи эмиссионных туманностей со звездами, он имел в виду – случайна эта связь или нет. Если она случайна, то не должно быть светлых диффузных туманностей самих по себе, без возбуждающих звезд. Г.А. Шайн и В.Ф. Газе располагали списком, состоящим из более чем 300 диффузных туманностей и 536 звезд спектрального класса WR и O-B0(B1). Следует отметить, что до Г.А. Шайна самый полный список туманностей, составленный Седербладом [6], содержал 78 эмиссионных туманностей. Г.А. Шайн и В.Ф. Газе рассмотрели распределение по небу тех и других объектов [7].

Полученный ими вывод таков: и туманности, и О-В-звезды распределены вдоль галактического экватора не равномерно, а в виде облаков или скоплений. Области, занятые туманностями и заполненные О-В-звездами, совпадают и примерно одинаковы по своим размерам.

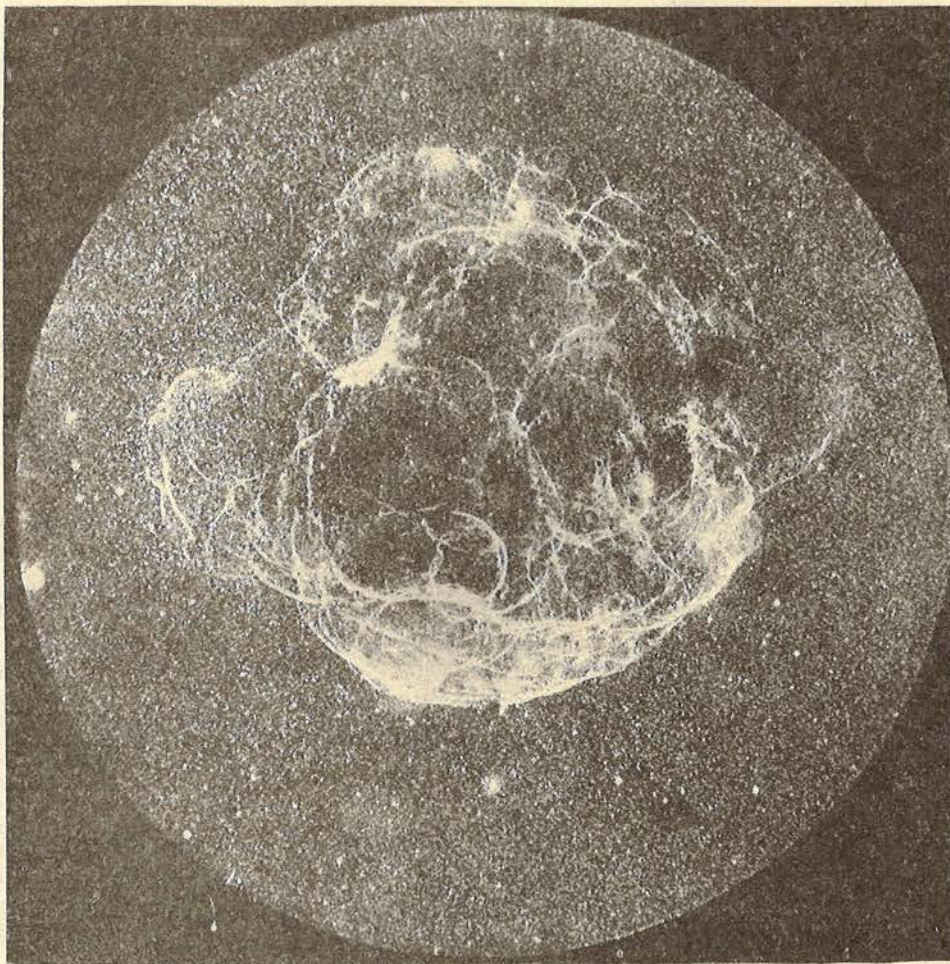
Другими словами, связь между этими объектами не случайна: горячие звезды-гиганты и газовые туманности существуют вместе. Вопрос о том, что из чего образовалось, решается в пользу гипотезы, что звезды образовались из диффузной материи. Основной аргумент – то, что масса туманностей в 100–1000 раз больше массы связанных с ними О-В-звезд. И только в случае слабых оболочечных туманностей (FU Ori) последние могут образоваться в результате истечения материи с поверхности звезды: (Заметим, что приведенные оценки масс были получены Г.А. Шайном и В.Ф. Газе с помощью разработанного ими метода калибровки снимков в абсолютных единицах; позднее пользуясь этим методом, Р.Е. Гершберг и Л.П. Метрик [8] определили массы и плотности всех диффузных туманностей, вошедших в каталог [3].)

Генетическая связь горячих О-В-гигантов с большими комплексами туманностей подтверждается на примере О-В-ассоциаций в ближайшей галактике М33 [9, 10]. Как показали Г.А. Шайн и В.Ф. Газе, именно в гигантских НП-областях этой галактики, содержащих массу газа $10^5 M_{\odot}$ каждая, находятся скопления белых сверхгигантов (индивидуальные звезды в М33 к тому времени были уже разрешены Хабблом на 100-дюймовом телескопе). Очень высокая абсолютная светимость некоторых из звезд указывает на то, что они на самом деле представляют собой группу из нескольких О-звезд типа Трапеции Ориона.

Согласно Г.А. Шайну, после того как в центре большого газово-пылевого комплекса образуется О-В-ассоциация, возросшие после ионизации газа газовое давление и лучевое давление звезд должны привести к расширению туманности и образованию периферийной оболочечной структуры типа туманности "Розетка". Обнаруженная Г.А. Шайном и В.Ф. Газе периферийная структура – характерная особенность многих диффузных туманностей. По мнению Г.А. Шайна, этот же механизм может привести к образованию и двух оболочек, как, например, в туманности "Лагуна".

В свете такого, казалось бы, надежно установленного факта, как генетическая связь О-В-звезд с диффузными туманностями, совершенно непонятным является отмеченное Г.А. Шайном исключение: самая богатая, самая уверенная О-В-ассоциация в нашей Галактике в созвездии Персея совершенно свободна от каких бы то ни было следов газовых и пылевых туманностей. Этот феномен так и остался неразгаданным до сих пор.

Другое исключение – наличие эмиссионных газовых туманностей без каких бы то ни было возбуждающих звезд; этот наблюдательный факт привел к установлению ударного механизма нагрева и ионизации газа. Отсутствие возбуждающей звезды,



Фотография волокнистой туманности "Симеиз 151", открытой Г.А. Шайном и В.Ф. Газе в созвездии Возничего

Фотография получена в 1977 г. И.И. Юргитисом на метровом Шмидтовском телескопе Радио-астрономической обсерватории Латвии в Балдоне

сочетающееся с крайне загадочной волокнистой структурой газа, которая не встречается в туманностях, связанных О-В-звездами, явилось основанием отнести такие туманности к особому классу, который сейчас отождествляется с остатками сверхновых. Помимо тонкой волокнистой структуры, этим туманностям свойственны характерная кольцеобразная макроструктура и наличие внутри кольца оболочки разреженной высокотемпературной плазмы, наблюдаемой в радиодиапазоне. Масса таких туманностей хотя и невелика, но все же больше массы сверхновой. Поэтому считается, что заключенный в волокнах газ имеет межзвездное происхождение – результат прохождения по межзвездной среде ударной волны. Теоретические исследования свечения волокнистых туманностей и механизм их образования были выполнены С.Б. Пикельнером [11].

Помимо известной уже в то время волокнистой туманности, получившей название "Петля в Лебеде", Г.А. Шайн и В.Ф. Газе открыли в созвездии Возничего уникальную туманность, имеющую вид клубка запутанных ниток [12]. В то время как туманность в Лебеде представляет собой систему очень тонких, но коротких волокон,

имеющих примерно одинаковую ориентацию, волокнистая туманность в созвездии Возничего, получившая обозначение "Симеиз 151", состоит из волокон в десятки, а то и сотни раз длиннее, при этом сильно искривленных, образующих множество правильных гладких дуг и петель. Авторы открытия пытались связать свечение волокон с Новой, вспыхнувшей в этом созвездии в 1891 г., однако попытки обнаружить собственное движение волокон не дали результатов. Лучшая фотография туманности "Симеиз 151", имеющаяся в нашем распоряжении, получена в 1977 г. И.И. Юргитисом на метровом Шмидтовском телескопе Радиоастрономической обсерватории Латвии в Балдоне. Яркие части волокон хорошо видны на Паломарской карте, где масштаб составляет 1 угл.мин/мм, тем не менее толщина волокон находится на пределе разрешения.

В настоящее время существуют многочисленные теоретические расчеты свечения газа в волокнах, нагретого ударными волнами и возбуждаемого электронным ударом [13, 14]. Теоретические спектры хорошо согласуются с наблюдаемыми. Однако механизм образования тонкой структуры волокон до конца не ясен.

Что же касается связи диффузных туманностей с $O-B$ -звездами, то современные представления об образовании горячих $O-B$ -звезд в центральных областях диффузных туманностей полностью совпадают с идеями, высказанными Г.А. Шайном [15–17]. Примеров, подтверждающих этот принципиально важный для астрофизики факт, множество – это и концентрация горячих $O-B$ -звезд и газовой-пылевой материи в спиральных рукавах нашей и других галактик, и обширные очаги звездообразования вблизи центральных областей некоторых галактик, где скапливается межзвездный газ, и, наконец, очень ранний интегральный спектральный класс ($A0-A5$) иррегулярных галактик, чрезвычайно богатых газом и пылью, как, например, M82, что свидетельствует о большом числе в них горячих звезд.

Разумеется, сам по себе факт генетической связи диффузных туманностей и горячих звезд не дает ответа на вопрос, почему при сравнительно одинаковом возрасте всех галактик эллиптические системы лишены газа и пыли, в то время как спиральные и особенно иррегулярные так богаты ими; почему в одних галактиках газ как материал для образования звезд давно исчерпан, а в других его еще очень много. Причину сохранения диффузной материи в одних галактиках и ее полное отсутствие в других, по всей вероятности, следует искать в различии условий звездообразования. В одних галактиках эти условия таковы, что образуются долгоживущие маломассивные холодные карликовые звезды, медленно теряющие свою массу в процессе эволюции, тогда как в других галактиках условия благоприятствуют формированию преимущественно массивных звезд, которые за короткое время своей эволюции теряют значительную долю своей массы, возвращая ее в межзвездную среду. Очевидно, что в последнем случае КПД механизма превращения газа в звезды очень низкий, и только поэтому газ сохранился до сих пор в большом количестве в некоторых галактиках. Детали этой концепции можно найти в книге "Происхождение и эволюция галактик и звезд", вышедшей по инициативе и под редакцией С.Б. Пикельнера и получившей название "Пикельнеровский сборник" [18].

II. ИДЕНТИЧНОСТЬ И РАЗЛИЧИЯ ГАЗОВЫХ ЭМИССИОННЫХ И ПЫЛЕВЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Представление о том, что темные и светлые (эмиссионные и отражательные) туманности, а также облака межзвездного газа, дающие линии поглощения в спектрах далеких звезд, являются идентичными образованиями существовало до Г.А. Шайна; во всяком случае Григорий Абрамович [2] ссылается на высказывание такой идеи Оортом [19]. Однако Григорий Абрамович считает, что это утверждение нуждается в обосновании и доказательстве. Дело в том, что, как показали Г.А. Шайн и В.Ф. Газе, отражательные туманности наблюдаются только вблизи звезд $B2$, и если отсутствие эмиссионного спектра для туманностей, ассоциированных со звездой $B2$, можно по-

нять (у этих звезд очень слабо или полностью отсутствует L_c -излучение), то отсутствие отражательного непрерывного спектра в туманности, связанной со звездой В0, далеко не тривиально. Попытка объяснить этот факт выметанием пыли от звезды лучевым давлением не увенчалась успехом. Как одно из возможных объяснений называлось также разрушение пылинок квантами и свободными электронами, кинетическая температура которых около 10^4 К. Однако истинное объяснение того факта, что отражательные туманности никогда не связаны с О-В0-звездами, было дано позже в статье Г.А. Шайна, В.Ф. Газе и С.Б. Пикельнера [20]. Накопленный к тому времени большой наблюдательный материал, содержащий яркости туманностей в H_α и континууме, позволил установить, что непрерывное излучение газовых туманностей в видимой области имеет практически чисто газовую, атомарную природу. Об этом свидетельствует полученная ими строгая линейная зависимость между I_{H_α} и I_{cont} вблизи $\lambda 5500 \text{ \AA}$ в диапазоне яркостей около 8^m :

$$m_V = m_\alpha + 2^m,79 \pm 0^m,09.$$

В этой работе непрерывное излучение газовых туманностей впервые было отождествлено с 2-квантовым излучением водорода при переходе с метастабильного уровня 2S на основной 1S, предсказанным А.Я. Киппером в 1950 г. [21]. Расчеты С.Б. Пикельнера [20] показали, что интенсивность газового континуума в диффузных туманностях должна быть в несколько раз – на полторы звездные величины – выше интенсивности континуума, обусловленного отражением от пыли. Если бы континуум, обусловленный пылью, составлял хотя бы 40% от яркости 2-фотонного излучения, то наблюдаемая пропорциональность между m_V и m_α была бы нарушена. Это означает, что даже если в газовой туманности концентрация пыли такая же, как и в чисто отражательной, то мы эту пыль все равно не обнаружим – она будет "засвечена" газовым континуумом. Отсюда следует, что различие в спектрах газовых (эмиссионных) и пылевых (отражательных) туманностей, действительно, не противоречит представлению о тождественности этих туманностей в смысле относительного содержания газа и пыли. При этом, разумеется, нельзя совсем исключить такие процессы, как разрушение пыли в НП-области или выметание их лучевым давлением, что приводит к реальному дефициту пыли вблизи О-В-звезд. Таким образом, с одной стороны, впервые было дано объяснение тому факту, что отражательные туманности связаны только со звездами В2–В5, а газовые – только со звездами О–В0, а с другой стороны, доказано, что два класса диффузных туманностей гораздо ближе друг к другу, чем это можно было бы думать, несмотря на то что их спектры принципиально различны.

С современной точки зрения газовые и пылевые туманности образуют единые конгломераты, которые весьма неоднородны по плотности и температуре, по молекулярному составу, по составу пыли и газа, по размерам пылинок и т.д. Единство газовых и пылевых туманностей стало очевидным благодаря внеатмосферной инфракрасной астрономии [22]. Оно хорошо видно и на обычных фотографиях, где светлые и темные туманности граничат друг с другом ("Конская голова") или перемешаны ("Пеликан", "Северная Америка", центральная часть туманности "Орион"). Светлые эмиссионные туманности – это только небольшие фрагменты, наблюдаемые, как правило, на окраинах таких комплексов, в которых газ ионизован и которые не закрыты внешними холодными газопылевыми областями. Хорошо изучен ближайший к нам такой комплекс в Орионе: его размеры десятки градусов, в него входят все наблюдаемые в созвездии Ориона диффузные туманности. Газово-пылевой комплекс Ориона богат группировками О-В-звезд и звезд с эмиссией типа Т Тау, точечными инфракрасными источниками излучения в молекулярных полосах CO_2 и в линиях полициклических ароматических гидрокарбонатов, а также точечными мазерными источниками OH , H_2O , SiO и метанола (CH_3OH) [17, 23].

III. КРУПНО- И МЕЛКОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА ДИФFUЗНЫХ ТУМАННОСТЕЙ КАК РЕЗУЛЬТАТ РАСШИРЕНИЯ ГАЗА В СРЕДЕ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Г.А. Шайн обладал удивительной способностью видеть важное в мелочах, "делать" науку из, казалось бы, незначительных фактов. Примером является работа, посвященная магнитному полю Галактики. Вот что он сам пишет по этому поводу: "Возможности спектроскопических исследований физических условий и процессов в светлых диффузных туманностях довольно ограничены. Определения лучевых скоростей и собственных движений этих объектов, исключая единичные случаи, практически пока неосуществимы. Поляризационные исследования возможны также лишь как крайне редкие исключения. Поэтому приходится ценить любую возможность изучения этих туманностей, в частности, их структурных особенностей на прямых фотографиях, особенно полученных в монохроматическом свете. Хотя вообще принимается, что диффузные туманности являются иррегулярными образованиями, но это, по-видимому, далеко не так" [24].

Григорий Абрамович Шайн впервые обратил внимание на то, что направление вытянутых крупномасштабных структурных деталей в диффузных туманностях такое же, как и направление мелкомасштабных деталей – волокон. Сначала это было замечено на фотографии волокнистой туманности в Лебеде, а также туманности "Волна". В дальнейшем выяснилось, что преимущественная ориентация вытянутых деталей, или волокон, в одном каком-то направлении не локальная, а наблюдается в обширном поле в окрестностях α Суг. Гистограмма направленности волокон по позиционному углу для каждой такой области всегда указывала на существование преимущественного направления. В случае окрестности α Суг это направление весьма близко к направлению галактического экватора. В связи с этим как одна из возможных причин вытягивания туманностей рассматривалось галактическое вращение. Однако наблюдаемые в некоторых случаях очень тонкие и очень длинные волокна, а также целые области, в которых волокна ориентированы под большим углом к галактическому экватору, заставили усомниться в правильности такого предположения. По этому поводу Григорий Абрамович пишет: "В настоящее время мы, по-видимому, не отдаем себе отчета о всех факторах, которые контролируют движение газа в диффузных туманностях и в межзвездном пространстве вообще. Например, не исключается, что в диффузных туманностях и межзвездном газе известную роль играют электромагнитные силы... Правда, сколь-нибудь определенных указаний на наличие магнитного поля в межзвездном пространстве не имеется, хотя допущение наличия такого поля напрашивается по ряду соображений" [24]. К таким соображениям Григорий Абрамович относит происхождение и изотропию космических лучей и то обстоятельство, что, несмотря на очень большую вероятность развития турбулентности (число Рейнольдса $R \geq 10^5$), в диффузных туманностях наблюдается упорядоченная ориентация целой системы тонких волокон.

Кроме магнитного поля, заслуживающим внимания механизмом образования волокон Г.А. Шайн считает также ударные волны, которые к тому же служат механизмом нагрева газа: тонковолокнистая структура всегда сочетается с удивительным фактом – отсутствием возбуждающих звезд. О магнитных полях в межзвездном пространстве и в туманностях Г.А. Шайн начал говорить уверенно только после того, как к анализу были привлечены результаты поляризационных наблюдений звезд, выполненных Хилтнером [25] и Холлом [26]. Г.А. Шайн [27] показал, что между ориентацией вытянутых темных туманностей в Персее-Тельце, как и ориентацией волокон в эмиссионной туманности NCG 1499 ("Волна"), с одной стороны, и углом поляризации звезд – с другой, имеется полное согласие. Это послужило надежным доказательством того, что межзвездные магнитные поля действительно являются фактором, ответственным за вытянутость светлых и темных туманностей. Второй

важный вывод касался ориентации самого магнитного поля в области Персея–Тельца, где оно показало сильное отклонение до 60° по отношению к галактическому экватору. Аналогичное согласие между ориентацией светлых и темных волокон в диффузных туманностях и углом поляризации звезд было получено для области в Лебедь в районе NGC 6960–6992 и в районе NGC 7000 и IC 5070. Важнейшим аргументом в пользу связи между ориентацией волокон и магнитным полем явились и результаты исследований ориентации туманностей в области $20^h05^m + 35^\circ,5$, для которой гистограммы как позиционных углов волокон, так и углов поляризации звезд показали минимум в направлении, совпадающем с направлением галактического экватора: светлые и пылевые туманности ориентированы вдоль локального магнитного поля, которое здесь почти перпендикулярно галактическому экватору.

Анализ вытянутой структуры темных и светлых туманностей для всего неба показал, что отклонение магнитного поля от плоскости галактического экватора – явление очень частое на галактических широтах больше 10° – 20° , где имеются локальные магнитные поля, в то время как на низких широтах ($b < 10^\circ$) вытянутость туманностей соответствует регулярному магнитному полю, направленному преимущественно вдоль галактического экватора. Это было интерпретировано как свидетельство того, что на больших широтах облака газа имеют значительную составляющую движения, перпендикулярную галактической плоскости [28]. Исследуя тонковолокнистую структуру отражательных туманностей, Г.А. приходит к выводу, что феномен волокнистости при столь большом различии температур в пылевых и газовых волокнах (100 и 10000 K) и при их общей большой электропроводности вещества может быть обусловлен только специфической особенностью магнитной гидродинамики [28]. Исходя из связи напряженности магнитного поля со средним угловым отклонением волокон, вызванным турбулентностью межзвездного газа, была оценена величина магнитного поля $H \sim (1-2) \cdot 10^{-5}$ Гс.

Последние две работы по магнитному полю Галактики вышли уже после смерти Григория Абрамовича, они были подготовлены к печати С.Б. Пикельнером. В одной из них [29] показано, что в области долгот 330° – 350° (в старой системе галактических координат) магнитное поле ориентировано вдоль луча зрения, что подтверждало наличие здесь внутреннего спирального рукава в направлении созвездия Стрельца, предсказываемого как по звездам высокой светимости, так и по линии 21 см. Рядом с этим направлением обнаружена область, в которой локальное магнитное поле ориентировано под углом 60° к галактическому экватору. Вторая работа Григория Абрамовича [30] называется "Ориентация общего магнитного поля Галактики в окрестности Солнца относительно галактического экватора". Работа базируется исключительно на анализе данных поляризации света звезд, содержащихся в четырех каталогах. В ней показано, что плоскость направления магнитного поля в окрестности Солнца наклонена к плоскости галактического экватора на 18° – 20° . Размер области с такой ориентацией достигает 1000 пк, поэтому считается, что это есть крупномасштабная флуктуация направления общего магнитного поля и спирального рукава. Подобные флуктуации спиральных ветвей наблюдаются во внегалактических туманностях, а также на 21 см в нашей Галактике.

Высказанная Г.А. Шайном идея о значимой роли магнитного поля в динамике межзвездного газа базировалась исключительно на анализе формы и структуры диффузных туманностей. За время, прошедшее после кончины Г.А. Шайна, методика изучения магнитного поля существенно изменилась, повысилась точность определения его величины и ориентации. Обнаруженное в свое время вращение плоскости поляризации радиоизлучения пульсаров является сейчас самым чувствительным методом исследования магнитного поля межзвездной среды. В некоторых облаках меж-

звездного газа величина магнитного поля измерена по зеемановскому расщеплению линии водорода 21 см. Наконец, обнаружено магнитное поле в других галактиках. Современные представления о магнитном поле галактик изложены в книге Руз-майкина, Соколова и Шакуры [31].

IV. НАБЛЮДЕНИЯ ДИФFUЗНЫХ ТУМАННОСТЕЙ В ГАЛАКТИКАХ РАЗЛИЧНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ НА ТЕЛЕСКОПЕ им. Г.А. ШАЙНА

Предложенная Г.А. Шайном в 1949–1955 гг. методика наблюдений диффузных туманностей с узкими фильтрами, центрированными на эмиссионные линии и континуум, была успешно применена для изучения диффузных туманностей в разных галактиках на шайновском 2,6-метровом телескопе сразу после введения его в строй в 1961 г. В сочетании с ЭОПом, который позволил существенно сократить время экспозиции, в прямом фокусе ЗТШ были получены фотографии 58 галактик в 4 фильтрах, включая узкополосный фильтр на линию H_{α} [32]. Во многих галактиках были обнаружены десятки новых, неизвестных ранее гигантских диффузных туманностей и связанных с ними скоплений горячих звезд, которые наблюдались в голубом континууме. Было показано, что газовая составляющая галактик концентрируется к плоскости галактик сильнее, чем звезды. У некоторых галактик были обнаружены ядра сложной структуры, у других наблюдались струи газа, видимые только в лучах H_{α} .

Со временем число фильтров было увеличено до девяти, так что полосы пропускания покрывали видимую часть спектра равномерно от 3700 до 7100 Å. Абсолютная калибровка снимков проводилась по внефокальным изображениям стандартных звезд. Пользуясь этой методикой, были исследованы группировки звезд и туманностей в нескольких десятках спиральных галактик. Получены тысячи негативов, по которым можно определять распределение энергии в спектрах звездных группировок и массу газа в связанных с ними комплексах диффузных туманностях [33]. В пекулярной паре галактик NCG 4038/4039 обнаружены и исследованы 31 сверхассоциация горячих звезд и газовых туманностей, которые отличаются от сверхассоциаций в нашей Галактике большей массой газа и большим числом горячих звезд и по своим параметрам приближаются к карликовым галактикам [34].

Методом многоцветной фотометрии изучены звездные ассоциации и HII-области в бар-галактиках, которые также оказались богаче нормальных галактик того же морфологического типа по количеству газа и числу голубых звезд [35].

Исследования эмиссии H_{α} в центральных областях галактик различных морфологических типов привели к обнаружению зависимости между эквивалентной шириной линии H_{α} и голубым показателем центра ядра, что еще раз подтверждает связь между количеством газа и числом возбуждающих его горячих звезд [36].

Опыт наблюдений диффузных туманностей в галактиках и накопленная информация об их параметрах – размерах, плотности газа, его массе, светимости – послужили в дальнейшем отправным пунктом для исследований газовых образований в ядрах сейфертовских галактик.

Май. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шайн Г.А. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1955. Т. 13. С. 3.
2. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Там же. 1951. Т. 6. С. 3.
3. Газе В.Ф., Шайн Г.А. // Там же. 1955. Т. 15. С. 11.
4. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Атлас диффузных туманностей. М., 1952.
5. Stromgren B. // Astrophys. J. 1948. Vol. 108. P. 242.
6. Cederblad S. // Medd. Lunds Astr. Obs. Ser. II. 1946. N 119.
7. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1953. Т. 10. С. 152.
8. Гершберг Р.Е., Метик Л.П. // Там же. 1960. Т. 24. С. 148.
9. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Там же. 1952. Т. 9. С. 13.

10. Шайн Г.А. // Там же. 1954. Т. 12. С. 3.
11. Пикельнер С.Б. // Там же. С. 93.
12. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Там же. 1952. Т. 9. С. 123.
13. Supernova remnants and their X-ray emission: IAU Symposium N 101 / Ed. J. Danziger, P. Gorenstein. Dordrecht, 1983. P. 221, 231, 245, 261, 517.
14. Aller L.H. Physics and thermal gaseous nebulae. Dordrecht: Reidel, 1984.
15. Star forming regions: IAU Symposium N 115 / Ed. M. Peimbert, J. Jugaku. Dordrecht: Reidel, 1983.
16. The Milky Way Galaxy: IAU Symposium N 106 / Ed. H. van Woerden, R.J. Allen, W.B. Burton. 1985. Dordrecht: Reidel.
17. Galactic radio astronomy: IAU Symposium N 60 / Ed. F.J. Kerr, S.C. Simson. Dordrecht: Reidel, 1973.
18. Происхождение и эволюция галактик и звезд / Под ред. С.Б. Пикельнера. М.: Наука, 1976.
19. Oort J.H. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1946. Vol. 106. P. 159.
20. Шайн Г.А., Газе В.Ф., Пикельнер С.Б. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1954. Т. 12. С. 64.
21. Kupper A.Y. О развитии советской науки в Эстонской ССР, Таллинн, 1950.
22. Light on Dark Matter: Proc. 1st IRAS Conference, Noordwijk, Netherlands, 10–14 June, 1985 / Ed. F.P. Israel, Dordrecht: Reidel, 1985.
23. Interstellar molecules: IAU Symposium N 87, Quebec, Canada, August 6–10, 1979 / Ed. B.H. Andrew. Dordrecht: Reidel, 1979.
24. Шайн Г.А., Газе В.Ф. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1952. Т. 8. С. 3.
25. Hiltner W.A. // Astrophys. J. 1951. Vol. 114. P. 241; 1954. Vol. 120. P. 454.
26. Hall J.S. // Mem. Soc. Roy. Sci. Liege. Ser. 4. 1955. Vol. 15. P. 543.
27. Шайн Г.А. // Астрон. журн. 1955. Т. 32. С. 381.
28. Шайн Г.А. // Там же. 1956. Т. 33. С. 305.
29. Шайн Г.А. // Там же. С. 469.
30. Шайн Г.А. // Астрон. журн. 1957. Т. 34. С. 3.
31. Рузмайкин А.А., Соколов Д.Д., Шукурова А.М. Магнитное поле галактики. М.: Наука, 1988.
32. Бутслов М.М., Копылов И.М., Никонов В.В. и др. // Астрон. журн. 1962. Т. 39. С. 315.
33. Проник И.И., Чуваев К.К. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1967. Т. 38. С. 219; 1969. Т. 40. С. 96; 1971. Т. 43. С. 101; 1971. Т. 44. С. 40.
34. Проник И.И., Добродий О.А. // Там же. 1979. Т. 60. С. 66.
35. Проник И.И. // Там же. 1972. Т. 45. С. 162.
36. Проник И.И. // Астрон. журн. 1969. Т. 46. С. 755; 1972. Т. 49. С. 768.

УДК 523.44

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПЛАНЕТНЫХ КОЛЕЦ

Н.Н. Горькавый, Т.А. Тайдакова

Симеизская обсерватория Института астрономии РАН

MODERN PROBLEMS OF PLANETARY RINGS

N.N. Gor'kavyi, T.A. Taidakova

В 1935 г. в Циркуляре Пулковской обсерватории появилась статья Г.А. Шайна "О распределении интенсивности в спектре Сатурна и его колец" [1]. В книге М.А. Боброва "Кольца Сатурна" (1970 г.) [2] эта важная работа изложена подробно с воспроизведением графика. До работы Г.А. Шайна считалось, что кольца состоят из микроскопической пыли, которая рассеивает желтую часть спектра сильнее, чем голубую.

Г.А. Шайн установил, что кольцо В, во всяком случае, не голубее освещающего его Солнца. Следовательно, размеры частиц колец гораздо больше длины волны. Этот очень важный факт полностью подтвердился впоследствии. Работа Г.А. Шайна – пример того, как по наблюдательным "внешним" особенностям колец можно сделать важные выводы о их "внутренних" характеристиках.

© Н.Н. Горькавый, Т.А. Тайдакова, 1995

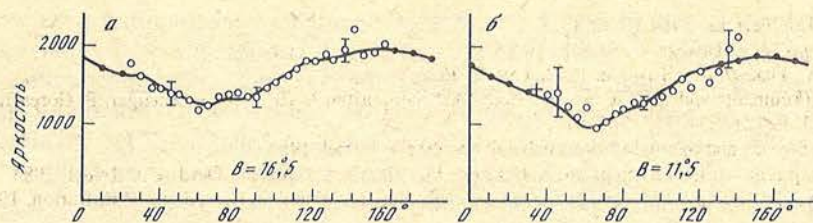


Рис. 1. Теоретические кривые для яркости обломочных облаков (в единицах ячеек плоскости проекции) Плотность крупных частиц $0,15 \text{ г/см}^3$. Круги – экспериментальные данные из [4]

Еще одним таким примером может служить проблема азимутальной асимметрии яркости кольца А Сатурна – явление, которое в 1957 г. открыл Камишель [3] (современные наблюдения – см. в [4, 5]). Если отсчитывать азимутальный угол по кольцу от линии Сатурн–Солнце в направлении вращения колец (против часовой стрелки, от ближайшего к Солнцу участка колец, если мы висим над северным полушарием Сатурна), то откажется, что яркость колец довольно быстро падает с ростом азимутального фазового угла и достигает минимума на 75° , после чего яркость снова увеличивается к максимуму на 165° ; яркость второй половины колец (от 180° до 360°) симметрична первой (от 0 до 180°). Контраст яркости достигает 40% и зависит от угла наклона колец. В кольце В такая асимметрия отсутствует. Асимметрия максимальна при средних углах наклона колец – от 6° до 16° [4].

В [6] изучен механизм азимутальной асимметрии яркости, связанный со столкновительным разрушением крупных рыхлых частиц. Облако разрушенного вещества хорошо отражает солнечный свет, но крупные частицы, расходящиеся после касательного соударения в дифференциально-вращающемся диске, практически полностью загораживают облако мелких обломков и от Солнца, и от наблюдателя при определенных фазовых орбитальных углах. Это объясняет возникновение наблюдаемой азимутальной асимметрии колец Сатурна: в ярких частях колец видно больше обломочно-пылевых облаков, а в темных участках – меньше. Таким образом, значительная часть мелких частиц, определяющих оптическую толщину и яркость колец, сгруппирована в виде вытянутых облаков, образовавшихся при столкновении крупных тел.

В [6] численно исследован разлет облака обломков в гравитационном поле планеты и двух массивных частиц, а также проанализирована яркость образующихся облаков в зависимости от азимутального угла. При этом учитывалось затмение мелких частиц друг другом и крупными телами, а также существование облаков на разной стадии развития в каждой точке колец. Полученную теоретическую зависимость яркости от орбитального азимутального угла и других параметров модели можно сравнить с наблюдательными кривыми (рис. 1). Оказалось, что вид кривой очень сильно зависит от объемной плотности крупных частиц, т.е. от гравитации последних и от их способности рассеивать облако мелких обломков. Лучше всего соответствуют наблюдениям кривые для частиц с плотностями около $0,1\text{--}0,15 \text{ г/см}^3$. Этот вариант хорошо соответствует наблюдениям: минимум располагается в области 65° ; максимум в районе 160° . Расчет дает и наблюдаемую асимметрию крыльев кривой по крутизне, а также наличие плато или минимума вблизи $80^\circ\text{--}85^\circ$ (см. рис. 1). Наблюдаемый рост асимметрии яркости от угла наклона [4] проявляется и в расчетах – см. рис. 1, где случаи а и б соответствуют углам $16,5^\circ$ и $11,5^\circ$.

Рассмотренная модель асимметрии связывает внешние, интегральные характеристики колец с внутренними процессами на уровне отдельных частиц. Дальнейшая разработка теоретических моделей и накопление наблюдений феномена азимутальной асимметрии яркости колец Сатурна может дать новый мощный метод дистанционного исследования планетных колец.

Самой интересной проблемой планетных колец на сегодняшний день остается загадка арок Нептуна. В 1984–1985 гг. появились сообщения об открытии возле Нептуна методом затмения звезды странных образований – полупрозрачных протяженных объектов, резко обрывающихся вдоль орбиты [7]. Они были названы "арками", или "дугами". Стабильность таких образований вызвала бурную полемику – ведь на первый взгляд закон Кеплера должен "размазывать" по орбите любое образование с ненулевыми размерами по радиусу. В ряде теоретических моделей главная роль отводится спутникам-"пастухам", изменяющим действие закона Кеплера настолько, что арки удерживаются от распыления [8, 9]. В работе [10] построена модель, которая не противоречит закону Кеплера и где арки являются цепью "эпитонов" – устойчивых эпициклических вихрей, нанизанных на пылевое узкое колечко. Частицы такого эпитона вращаются вокруг его центра масс по эпициклам (во вращающейся системе отсчета). Все частицы эпитона имеют одинаковую большую полуось, что обеспечивает равенство периодов обращения частиц и стабильность эпитона в стационарном состоянии.

В [11, 12] исследован ряд компьютерных моделей арок Нептуна для неупругих частиц. В настоящее время эти расчеты распространены на случай слипающихся частиц. В итоге можно полагать, что динамика арок Нептуна перестала быть проблемой, а также сделать следующие выводы, применимые не только к кольцам.

1. Существует класс стабильных (или квазистабильных) орбитальных вихреподобных образований из N тел, не связанных взаимным гравитационным или молекулярным притяжением. Эти объекты, названные эпитонами, являясь своеобразными квазичастицами, достаточно устойчивы относительно внешних возмущений и могут возникать, например, при сильном воздействии гравитирующего тела на кольцо мелких частиц. Такие объекты могут сыграть важную роль: а) в аккреционном росте планет; б) в формировании прямого вращения планет; в) в образовании спутниковых систем.

2. Два гравитирующих объекта в поле центральной массы могут взаимодействовать на расстояниях, значительно превышающих радиус гравитационного воздействия – с помощью влияния на окружающую дифференциально-вращающуюся среду мелких частиц. Этот тип взаимодействия был назван обменно-аккреционным.

Рассмотрим эти утверждения более подробно. Эпитон, принцип устройства которого довольно прозрачен (во вращающейся системе отсчета это просто набор вложенных друг в друга эпициклических орбит, засеянных частицами), не скреплен никакими взаимными гравитационными или молекулярными силами. Внешнее возмущение легко может вызвать отличие в больших полуосях частиц, что вызывает быстрое разрушение бесстолкновительного эпитона, но в достаточно плотном эпитоне частицы не могут его покинуть, не столкнувшись друг с другом. Соударения с последующим слипанием частиц служат тем фактором, который усредняет все большие полуоси частиц и сближает их с большой полуосью центра масс, тем самым устраняя различие в периодах обращения и стабилизируя эпитон.

Система из частиц, которые слипаются при соударениях друг с другом, возникает в случае гравитирующих частиц со скоростями столкновений, сравнимых со скоростью убегания с поверхности частиц (пример – диск планетезималей). Для поддержания более или менее постоянного числа частиц в системе введем механизм разрушения частиц, достигших предельного размера. На рис. 2 показан случай изменения среднеквадратичного разброса в больших полуосях частиц эпитона под возмущающим действием резонансного внутреннего спутника (ситуация соответствует аркам Нептуна и Галатее – резонанс 42:43, масса спутника $3,5 \cdot 10^{-8}$ от массы планеты) и стабилизирующего влияния столкновений, частота которых также возрастает при прохождении спутника. Такой разброс в полуосях соответствует дисперсии скоростей частиц, а значит, и скоростям удара до 2 см/с. Для эффективного слипания частиц при

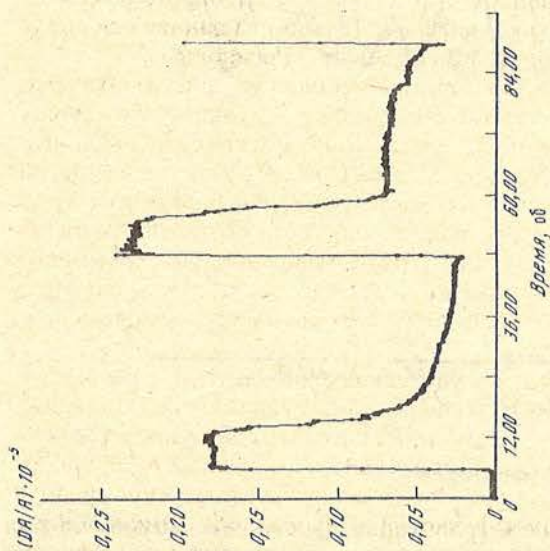


Рис. 2

Рис. 3

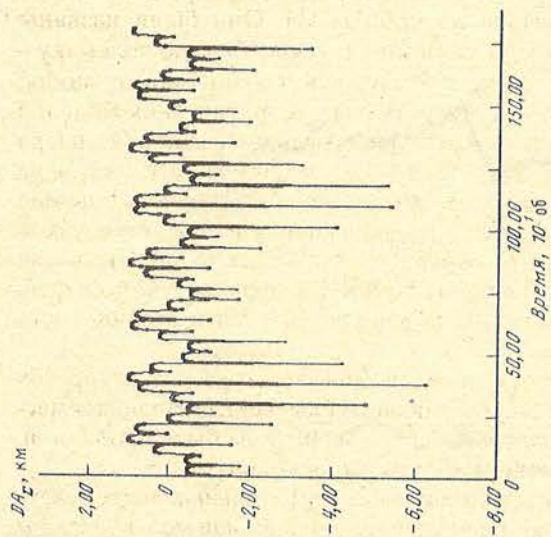


Рис. 2. Среднеквадратичное отклонение в больших полуосях частиц эпитона $18,9 \times 37,8$ км
Эпитон состоит из 100 частиц с $R = 0,2$ км, $R_{\text{орб.}} = 62,9$ тыс. км. Пики соответствуют прохождению спутника (каждые 42 оборота)

Рис. 3. Эволюция большой полуоси эпитона, находящегося в резонансе со спутником массой $M = 3,5 \cdot 10^{-8} M_p$ и $e = 0,01$

Рис. 4. Эволюция азимутального угла эпитона, находящегося в резонансе со спутником массой $M = 3,5 \cdot 10^{-8} M_p$ и $e = 0,01$

Прямая линия отмечает период либрации - 230 об. Зубцы соответствуют периоду в 42 об.

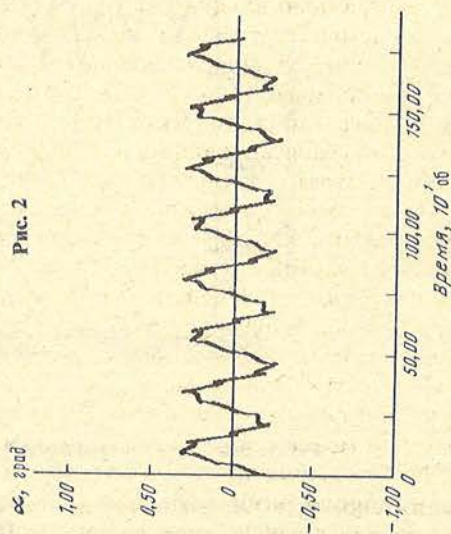


Рис. 4

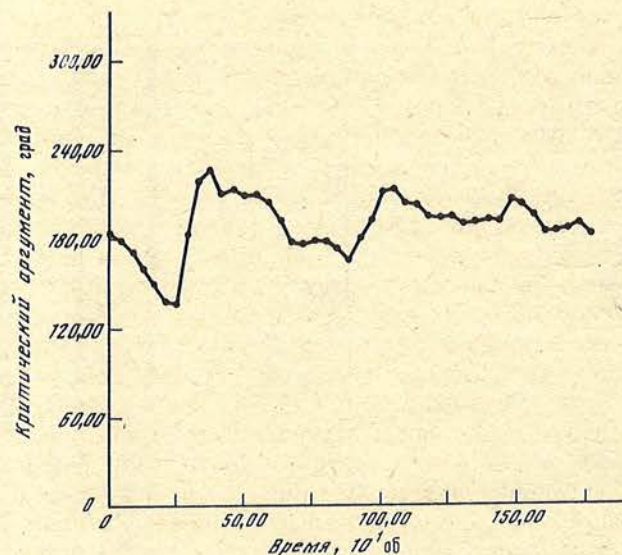


Рис. 5. Эволюция критического аргумента, характеризующего положение эпитона в момент прохождения спутника

Значение 180° соответствует апогею, $M = 3,5 \cdot 10^{-8} M_p$, $e = 0,01$

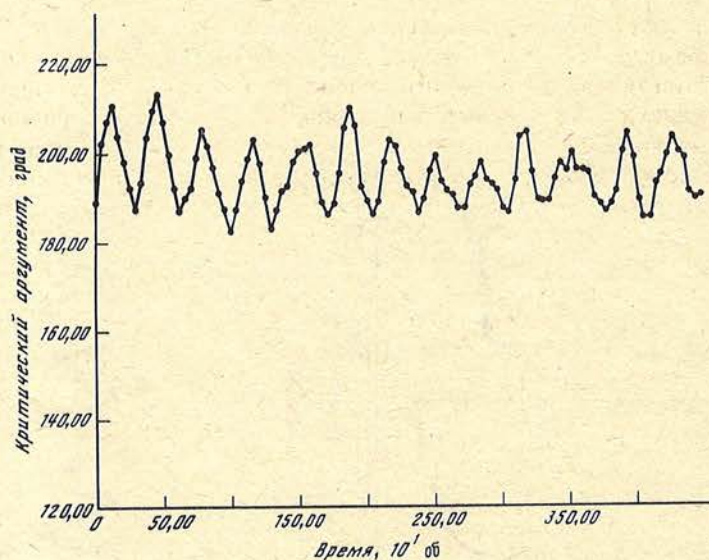


Рис. 6. Эволюция критического аргумента для $e = 5 \cdot 10^{-4}$

таких скоростях необходима достаточная гравитация частиц, что возможно при диаметре ~ 1 км. Эпитон размером 15–20 км из частиц диаметром 1 км устойчив при количестве частиц всего 15–20 штук. Большая полуось центра масс эпитона также изменяется под влиянием спутника, и это изменение зависит от эксцентриситета спутника. Если эксцентриситет спутника меньше $5 \cdot 10^{-4}$, то большая полуось довольно быстро растет, примерно на 2 км в год, если же эксцентриситет больше, то

спутник захватывает эпитон в резонанс и большая полуось не растет, а флуктуирует около среднего значения (рис. 3). (Эти данные и следующие графики на рис. 4, 5 относятся к случаю эксцентриситета спутника в 0,01.) Сам эпитон совершает либрации с периодом в 230 оборотов в той части орбиты, где находится перицентр орбиты спутника (рис. 4). При этом сам эпитон в момент прохождения спутника находится вблизи своего апоцентра (что соответствует значению критического аргумента в 180° на рис. 5). Отметим, что уменьшение эксцентриситета спутника до $5 \cdot 10^{-4}$ вызывает смещение кривой на рис. 4 под линию, отвечающую положению перицентра орбиты спутника; период либрации возрастает до 350 оборотов, а критический аргумент начинает колебаться более упорядоченно, при этом заметно смещение критического аргумента к 200° (рис. 6).

Рассмотрим вопрос о возникновении эпитонов. Очевидно, что на протостадии кольцо 1989N1R было "обычным" непрерывным кольцом. Каким образом оно распалось на набор эпитонов? Если разрезать колечко на отдельные участки (во вращающейся системе отсчета) и поместить каждый участок в круглую коробочку с упругими стенками, то у нас образуется или спутник с обратным вращением, или (если собственный момент вращения участка велик) пара спутников, или (если рост частиц запрещен) многочастичный объект с обратным вращением, т.е. эпитон.

Итак, что может разделить кольцо на эпитоны? Не претендуя на окончательный ответ на этот вопрос, приведем результат одного расчета. Рассмотрим часть кольца длиной в 17° , возмущаемого внутренним спутником с массой $3,5 \cdot 10^{-8} M_p$ (рис. 7, а). Специальная методика позволяет обойтись без моделирования остального участка кольца, не нанося ущерба динамике выделенного участка. После того как спутник вызвал спиральную волну в кольце, начинается смещение возмущенной верхней границы кольца относительно возмущенной нижней. Это означает, что в кольце через некоторое время возникает 42 области пересечений траекторий частиц. С учетом слипания частиц можно ожидать, что кольцо разобьется на 42 скопления частиц. На рис. 7, б показано два сгустка, которые возникли в результате столкновительной эволюции непрерывного кольца в течение 600 оборотов под воздействием резонансного спутника. К сожалению, мы не можем проследить эволюцию кольца вплоть до формирования эпитонов, так как численная модель не учитывает собственный момент вращения частиц, который должен играть в процессе образования эпитонов из непрерывного кольца ключевую роль. Поэтому данный расчет нужно рассматривать только как иллюстрацию к обсуждаемому распаду кольца на эпитоны.

Остался целый ряд невыясненных вопросов. Не ясна возможная роль самогравитации кольца. Могут ли два эпитона сливаться в один более крупный? 42 эпитона образовались из протокольца или существуют факторы, которые могут изменить это число? Отсутствие модели распада кольца не дает возможности ответить, почему из многих узких колец со спутниками-"пастухами" (кольцо F Сатурна, кольцо в щели Энке, кольцо ϵ Урана, кольцо 1989N2R Нептуна) только в кольце 1989N1R возникли эпитоны.

Оставив невыясненные вопросы для дальнейших исследований, можно рассмотреть динамику уже сформировавшихся эпитонов в непрерывном кольце [12]. Существование какого-то необычного взаимодействия между эпитонами в арках Нептуна можно заподозрить просто разглядывая фотографии "Вояджера" [5, 13]. Из этих данных следует, что арки (а их сейчас насчитывается 4 или 5) представляют собой регулярную цепь из полупрозрачных сгустков материи; 9 таких сгустков уже обнаружены в двух арках [13]. Сгустки (очевидно, что они являются эпитонами) размером в 15–20 км разделены расстоянием от 500 до 2000 км. Отсюда видно, что динамика эпитона определяется не только резонансным спутником. Влияние Галатеи не может объяснить, например, следующего факта: почему эпитоны после формирования не остались каждый в своей части орбиты, а собрались в цепи, образующие арки? Почему

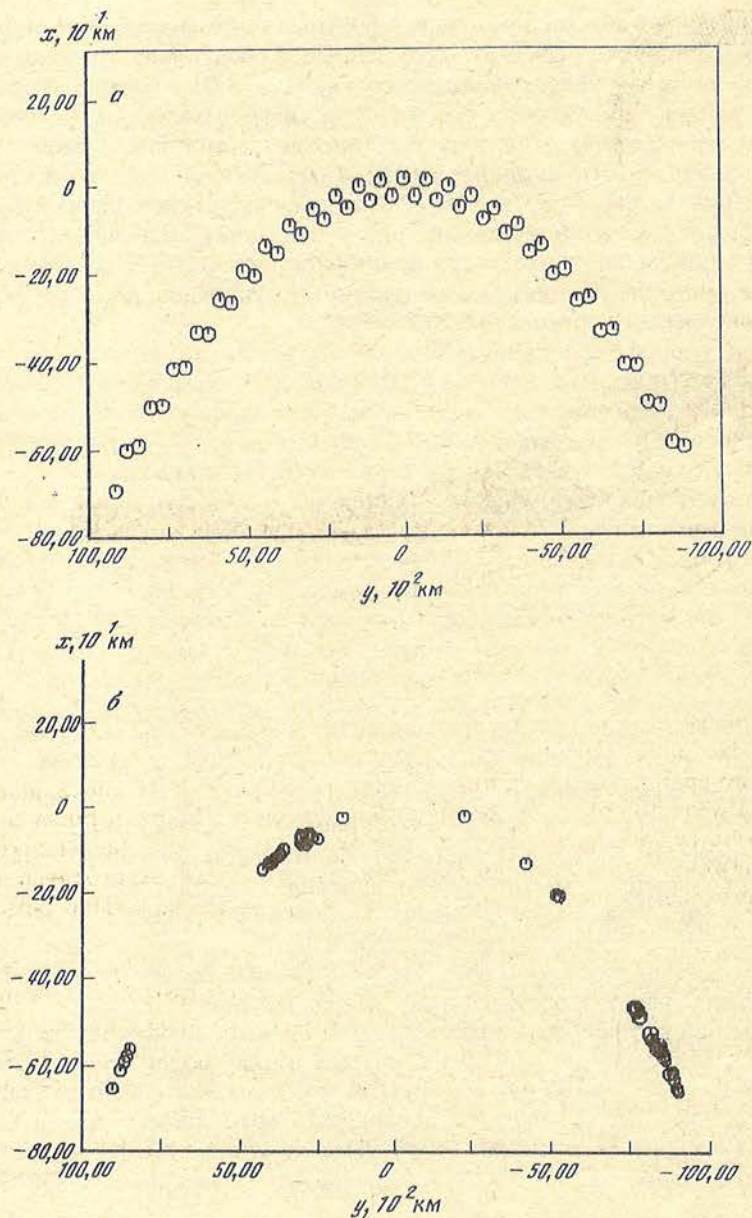


Рис. 7. Участок кольца из частиц с $R = 15$ км и шириной 40 км возмущается спутником с $M = 3,5 \cdot 10^{-8} M_p$ и $e = 10^{-3}$
Ось x растянута; а – начальный момент; б – после 600 об. (появилось 2 сгустка)

эпитоны, приблизившись друг к другу, остановились на расстоянии нескольких сотен километров, а не слились? Очевидно, что существует еще один важный фактор динамики эпитонов, действующий двояко: глобально-собирающий эпитоны на протяжении сотен тысяч километров орбиты и локально-непозволяющий им сблизиться на расстояния меньше нескольких сотен километров.

Рассмотрим существование этого фактора на примере двух самогравитирующих

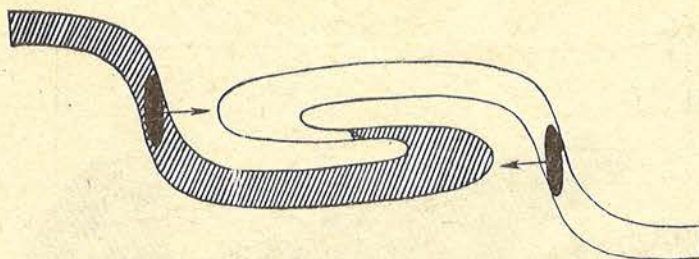


Рис. 8. Искажение зон питания перед касательной встречей двух гравитирующих тел в диске частиц (рисунок сжат по оси y)

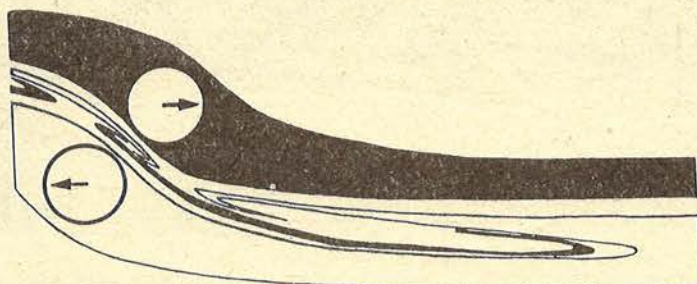


Рис. 9. Зоны питания гравитирующих тел после встречи

спутников в диске мелких частиц, вращающихся вокруг центрального тела. Крупные спутники также могут поглощать частицы диска, собирая их на свою поверхность. Рассмотрим во вращающейся системе отсчета судьбу частичек диска, движущихся в начальный момент по круговым кеплеровским орбитам. Зоной питания спутника мы будем называть ту зону диска, частицы из которой будут поглощены спутником. На рис. 8 изображены зоны питания двух тел, двигающихся навстречу в дифференциально-вращающемся диске. Замысловатое искривление зон питания демонстрирует взаимное возмущение среды гравитационным полем тел.

На рис. 9 изображена картина зон питания в период, когда частицы уже встретились и расходятся одна от другой, продолжая интенсивно трясти "окружение" соседа (на рис. 9 изображена только одна возмущенная зона, другая расположена симметрично). Для расширения поля нашего "зрения" влево, по ходу нижней частицы, на рис. 10 масштаб рисунка по оси y сжат вдоль орбиты. Зона питания искажается из-за того, что нижняя частица, двигаясь влево, вызывает спиральную волну в среде мелких частиц, которая расположена выше, и движется вправо, догоняя вторую частицу. Такое "взбалтывание" зоны питания увеличивает процент захвата частиц диска и размер зоны питания. Это означает повышение скорости аккреционного роста частиц диска. При этом частицы среды приносят спутникам угловой момент вращения и меняют большую полуось орбиты спутника. При возмущении среды соседним спутником поток углового момента, приносимый частицами, изменяется. Фактически это означает, что между спутниками возникает взаимодействие нового типа. Среда, которая протекает в обоих направлениях, служит переносчиком взаимодействия.

Обратим внимание на сложную геометрию зон питания между двумя частицами, расходящимися после встречи (рис. 11), на границе областей незахваченных частиц. На этой границе интенсивно перепутываются зоны питания обеих частиц вместе с зонами незахваченных частиц. На рис. 11 изображена "перемешанная" зона при все более увеличивающемся разрешении, т.е. при более плотных начальных сетках обломков и более длительном времени счета. Для определенности цифрами обозначены начальные координаты обломков, захватываемых одной частицей, а значками —

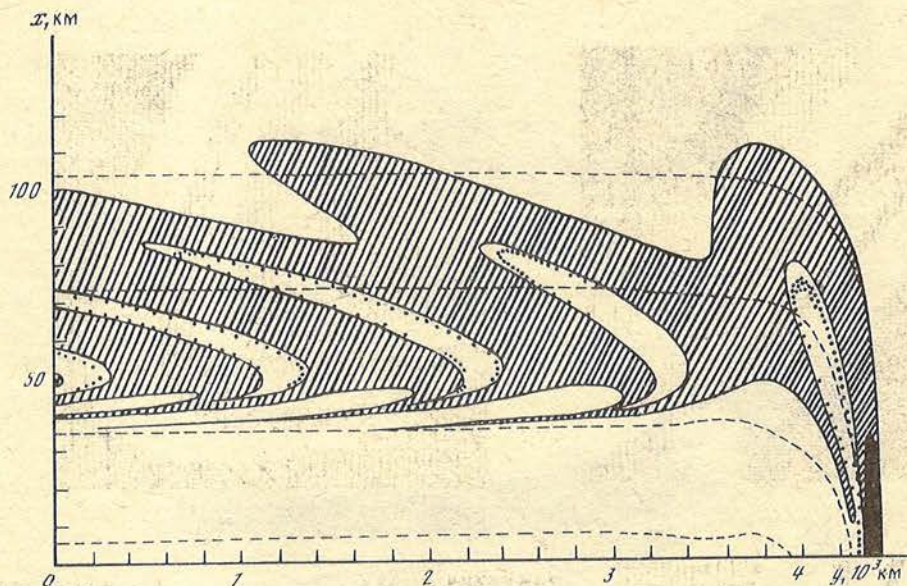


Рис. 10. Зоны питания гравитирующих тел после встречи (рисунок сжат в 20 раз по оси y)

начальные положения обломков, оседающих на другую частицу. На рис. 11 видно, что на краю "цифровой" области расположено несколько слоев области значков, а на крайнем слое значков можно найти совсем микроскопическую область цифр, отмечающих уже гораздо более долгоживущую группу обломков. Такая фрактальная структура границы, видимо, может быть прослежена практически бесконечно. Перепутывание областей питания и зон незахваченных обломков объясняется наличием обломков-странников, которые попеременно ускоряясь и замедляясь в поле крупных расходящихся тел, путешествуют между ними по довольно сложным траекториям. Эти траектории зависят от ничтожных смещений в начальных координатах. Можно сказать, что частицы-странники – это стохастическая компонента данной динамической системы.

Рассмотренное взаимодействие, которое можно назвать обменно-аккреционным, ярко проявляется в арках Нептуна, где самогравитирующие эпитоны возбуждают в непрерывном кольце встречные спиральные волны и вызывают переменный (зависящий от расстояния) потенциал притяжения–отталкивания на расстоянии многих сотен километров, в то время как прямое гравитационное воздействие становится исчезающе малым на гораздо меньших расстояниях [12]. Именно это обменно-аккреционное взаимодействие предотвращает сближение эпитонов на близкие расстояния и обеспечивает существование устойчивой цепи эпитонов, которые расположены в устойчивых точках потенциала. Отметим, что самогравитация эпитона вызывает его дрейф вдоль кольца против орбитального вращения со скоростью, пропорциональной массе [12].

Рассмотрим общий сценарий возникновения арок Нептуна. Начнем с момента формирования спутника Галатеи и узкого кольца рядом с ним. В какой-то момент в кольце возникло N областей пересечения траекторий частиц. Достаточно мелкие частицы распадающегося кольца стали слипаться в более крупные. Так как события происходили в зоне Роша (для Нептуна и частиц с плотностью 1 г/см^3 радиус зоны Роша составляет 70 тыс. км, а радиус кольца с арками – 62,9 тыс. км), кроме того, частицы кольца представляли собой очень рыхлые тела – поэтому рост частиц был

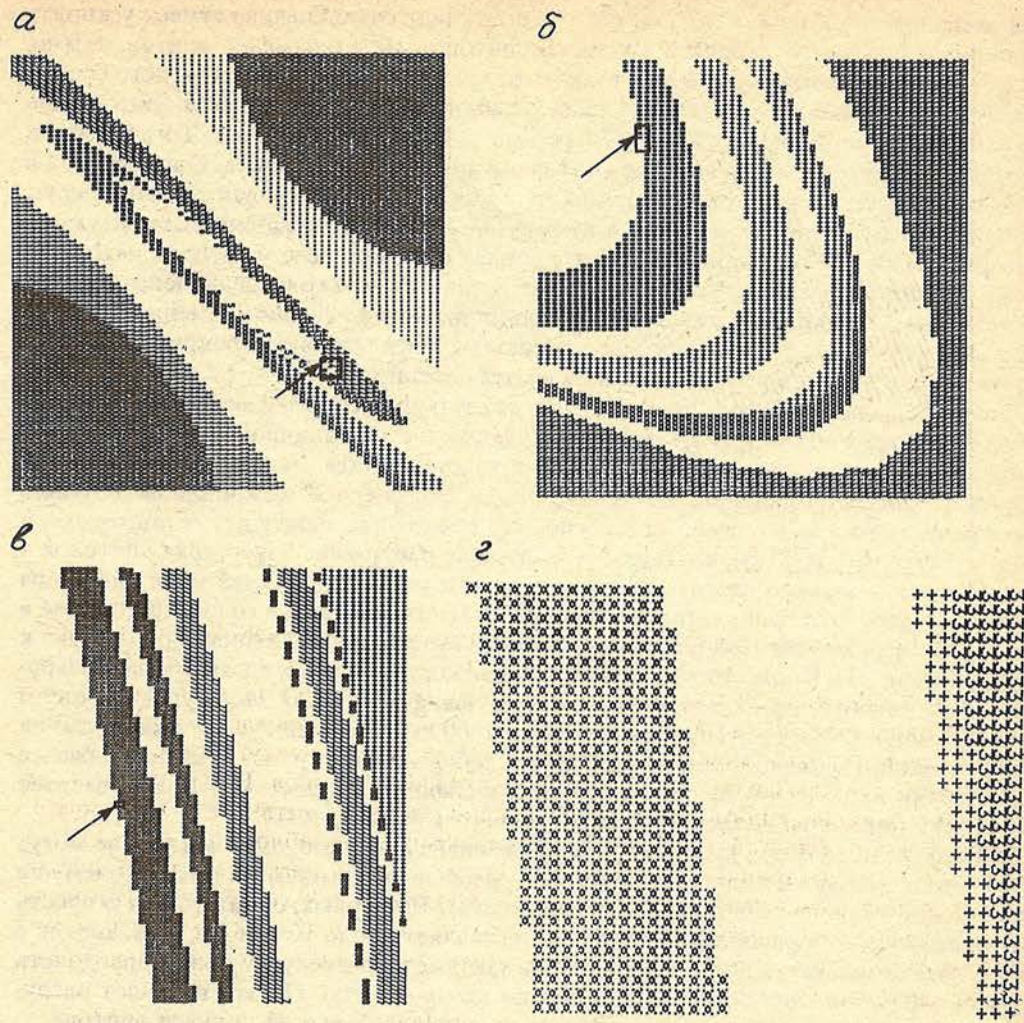


Рис. 11. Фрактальная структура границы зоны питания между расходящимися частицами
Каждая картинка дает увеличенное изображение отмеченного участка границы предыдущего рисунка

остановлен на размере примерно 1 км (что соответствует прочности частиц в $10 \text{ дин}^2/\text{см}^2$ — прочность материала типа лунного реголита). В результате кольцо распалось на N эпитонов, каждый из которых состоит из нескольких десятков довольно крупных частиц диаметром от нескольких сотен метров до километра. Поверхностная плотность эпитонов может быть довольно велика — несколько тысяч граммов на квадратный сантиметр. При этом общая масса кольца с эпитонами может не превышать массы небольшого спутника радиусом в 15–20 км. Эпитоны, сформировавшиеся в разных участках кольца, обладали неодинаковыми массами. Следовательно, скорость азимутального дрейфа, связанного с самогравитацией эпитона [12], тоже была различной. Для массивных эпитонов скорость такого дрейфа могла достигать несколько десятков сантиметров в секунду.

Рассмотрим самый массивный эпитон в кольце. Его скорость максимальная, он быстро движется по кольцу, догоняя более легкие и медленные эпитоны. При сближении с легким эпитоном он захватывает его в одну из равновесных точек своего

эффективного потенциала (в ту точку, где потенциал отталкивания сумеет ускорить медленный эпитон до скорости крупного эпитона). Чем массивнее эпитон, тем на более далеком расстоянии он будет толкать перед собой захваченного легкого соседа. Так будет продолжаться до тех пор, пока "эшелон" захваченных легких эпитонов не уменьшит скорости толкающего их "паровоза" — массивного эпитона. Тогда самыми быстрыми могут оказаться средние эпитоны в других частях кольца. Они, набирая в свою очередь более короткие эшелоны из легких эпитонов, сделают полный круг, обгоняя "суперэшелон", и подойдут к нему сзади. По-видимому, именно эту ситуацию мы сейчас наблюдаем в арках Нептуна: длинная арка, в хвосте у которой находятся несколько арок поменьше. Термин "в хвосте" означает, что во вращающейся системе отсчета при наличии азимутального дрейфа (обратного вращению) именно эта арка должна быть "лидером". Но так как вся система арок вращается вокруг планеты в другую сторону, то именно эта арка называется "отстающей".

Описанный сценарий формирования арок имеет (кроме самого факта существования арок) следующее наблюдательное подтверждение: в самой длинной арке А5 открыто 6 эпитонов в голове эшелона и 2 эпитона в хвосте состава — там, где должен быть "паровоз", самый массивный эпитон. Из данных "Вояджера-2" можно оценить только расстояния между эпитонами. Интересно, что расстояние между двумя эпитонами в хвосте составляет 2000 км, в то время как среднее расстояние в шестерке эпитонов — 550 км. Отсюда можно сделать вывод о том, что масса по крайней мере одного из эпитонов в хвосте дуги значительно превышает массу эпитонов в голове дуги. Даже в самой шестерке можно обнаружить заметное уменьшение межэпитонных расстояний к голове "эшелона". Кроме того, в соседней более короткой арке, в которой не обнаружено эпитонов (очевидно, только из-за отсутствия фотографий этой дуги с хорошим разрешением), в хвосте дуги виден разрыв в 1000 км, который служит указанием на присутствие там массивного эпитона. Процесс собирания эпитонов в арки продолжался около сотни лет — за такое время эпитон с дрейфовой скоростью в 10 см/с сделает полный оборот вокруг планеты (для вращающегося наблюдателя).

Но в настоящее время дуги захвачены в резонанс и, видимо, эпитоны уже не могут путешествовать вдоль кольца, преодолевая резонансные ямы от Галатеи. Почему на протостадии такие путешествия были разрешены? Во-первых, отметим, что скорость либрации эпитона в резонансе с Галатеей составляет около 10 см/с. Значит, эпитон с дрейфовой скоростью в несколько десятков сантиметров в секунду может преодолеть барьер, ограничивающий его передвижение вдоль орбиты. Но это означает разрушение резонансной связи со спутником и увеличение большой полуоси эпитона со скоростью примерно 2 км/год. Поэтому можно предположить следующий примерный ход событий: кольцо находилось в начальный момент в резонансе 44:43 со спутником. В момент распада кольца возникшие дрейфовые скорости эпитонов разрушили резонансную связь со спутником и кольцо стало увеличивать свою большую полуось. Расстояние до следующей резонансной орбиты (43:42) — 220 км. Это расстояние должно быть пройдено примерно за 100 лет. За это время эпитоны, не сдерживаемые резонансным потенциалом Галатеи, успели собраться в одну часть орбиты, где и были захвачены резонансом 43:42, который зафиксировал данное расположение дуг. В настоящее время арки А1 и А2 занимают соседние минимумы потенциала, как и арки А3 + А4 и А5 (по классификации [13]). Между арками А2 и А3+А4 существует незанятый потенциальный минимум.

В целом внешнее кольцо Нептуна, содержащее набор эпитонов, своеобразных вихреподобных квазичастиц, служит уникальным примером тонко сбалансированной по многим параметрам динамической конструкции и существенно расширяет наши представления о возможностях динамики N тел возле центрального тела.

Апрель. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шайн Г.А. // Цирк. Пулковской обсерватории. 1935. № 13. С. 9.
2. Бобров М.А. Кольца Сатурна. М.: Наука, 1970. 118 с.
3. Camichel H. // Ann. Astrophys. 1958. Vol. 21. P. 231–242.
4. Thompson W.T., Lumme K., Irvine W.M. et al. // Icarus. 1981. Vol. 46, N 1. P. 187–200.
5. Franklin F.A., Cook A.F., II, Barroy R.T.F. et al. // Ibid. 1987. Vol. 69. P. 280–296.
6. Горькавый Н.Н., Тайдакова Т.А. // Письма в "Астрон. журн." 1989. Т. 15. С. 547–553.
7. Hubbard W.B., Brahic A., Sicardy B. et al. // Nature. 1986. Vol. 319, N 6055. P. 636–640.
8. Lissauer J.J. // Nature. 1985. Vol. 318, N 6046. P. 544–545.
9. Goldreich P., Tremaine S., Borderies N. // Astron. J. 1986. Vol. 92, N 2. P. 490–494.
10. Горькавый Н.Н. // Астрон. цирк. 1989. № 1538. С. 31–32.
11. Горькавый Н.Н., Тайдакова Т.А., Гафтонюк Н.М. // Письма в "Астрон. журн." 1991. Т. 17. С. 1105–1115.
12. Горькавый Н.Н., Тайдакова Т.А. // Письма в "Астрон. журн." 1991. Т. 17. С. 1116–1123.
13. Porco C.C. // Science. 1991. Vol. 253. P. 995–1001.

УДК 523.44

ИССЛЕДОВАНИЯ ДВОЙСТВЕННОСТИ АСТЕРОИДОВ В КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

В.В. Прокофьева

Крымская астрофизическая обсерватория

INVESTIGATIONS FOR BINARITY OF ASTEROIDS IN CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY

V.V. Prokof'eva

Достижения Г.А. Шайна в исследованиях двойных звезд, а также Симеизской обсерватории в исследованиях малых планет находят свое продолжение в современных работах по исследованию двойственности астероидов, проводимых в Крымской астрофизической обсерватории.

Пути познания окружающего нас космоса хорошо прослеживаются по работам академика Григория Абрамовича Шайна. Начав свою научную деятельность с исследований метеорных потоков и влияния Земли и других планет на их движение, Г.А. Шайн сделал значительный вклад в развитие всех областей астрофизики, выбирая каждый раз наиболее актуальную проблему. В 20-е годы это были исследования двойных звезд, визуально-двойных, спектрально-двойных, определение масс компонент; в 30-е – исследование вращения звезд и подход к проблемам их эволюции. С развитием астроспектроскопии Г.А. Шайн начинает цикл спектрофотометрических исследований. Его определения лучевых скоростей звезд отличаются наивысшей возможной в то время точностью измерений. В 40-е годы – исследования изотопов углерода в атмосферах звезд и, наконец, в 50-е – классические исследования туманностей.

Во всех областях астрофизики Г.А. Шайн умел взять, использовать для анализа и осмыслить всю информацию, которую в то время давала наблюдательная техника. Широта интересов, глубина исследований, легкость перехода из одной области астрофизики в другую – вот отличительные черты научного подхода Г.А. Шайна.

Ему не пришлось лично глубоко заниматься исследованиями астероидов. Симеизская обсерватория заслуженно получила всемирную известность в этой области

астрономии благодаря работам П.Ф. Шайн, В.А. Альбицкого, Г.Р. Нейумина и др. И Г.А. как научный руководитель имеет непосредственное отношение к этому успеху.

И вот теперь, через 70 лет после первых работ Г.А. Шайна, современная методология исследования двойных звезд дает новый подход к исследованиям физической природы астероидов, а именно к проблеме их двойственности. Большая амплитуда изменений блеска астероида (624) Гектор [1], превосходящая одну звездную величину, натолкнула астрофизиков на мысль о возможной двойственности данного объекта. Современные модели трехосных эллипсоидов не смогли обеспечить такую амплитуду. Лишь предположение о двойственности астероида позволило построить модель, дающую наблюдаемую кривую блеска.

В 1980 г. было высказано предположение, что около 10 астероидов являются двойными [2], а в 1983 г. Харрис [3] предположил, что все астероиды главного пояса, имеющие период изменения блеска более двух суток, могут быть двойными. В 1984 г. были опубликованы расчеты равновесных моделей двойных астероидов [4]. В конце 80-х годов в обзоре [5] подробно обсуждена проблема двойственности астероидов. Кроме фотометрических исследований, о двойственности некоторых астероидов свидетельствуют радарные наблюдения, а также покрытия звезд астероидами. Теоретические расчеты указывают на возможность существования двойных астероидов и их устойчивость в шкале времени существования солнечной системы [6].

В Крымской астрофизической обсерватории исследования двойственности астероидов проводятся с помощью телевизионного комплекса полуметрового менискового телескопа [7]. Телевидение обеспечивает оперативный поиск и отождествление астероида в поле звезд. Точность фотометрирования с применением ЭВМ достигает 1,5–2%. Телевизионная фотометрия на малом по размеру телескопе с экспозициями в несколько минут при наблюдениях астероидов 16^м позволяет за ночь получать сотни измерений блеска и детально исследовать форму кривых блеска. Первые результаты фотометрирования астероидов (87) Сильвия, (423) Диотима и (1727) Метте приведены в публикациях [8, 9]. Там же кратко описаны характеристики аппаратуры.

Перемещение астероида в поле звезд исключает возможность закладки в его окрестностях вторичного фотометрического стандарта, как это делается при исследованиях переменных звезд. Для фотометрических наблюдений астероидов в КрАО была разработана специальная методика [10, 11]. Суть ее состоит в использовании одновременно методов фундаментальной и дифференциальной фотометрии звезд.

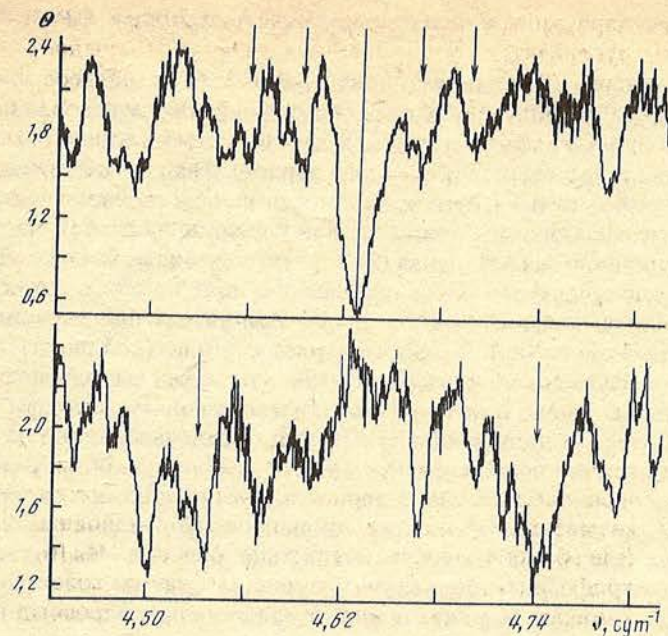
Метод фундаментальной фотометрии, разработанный В.Б. Никоновым, требует работы в инструментальной фотометрической системе, базирующейся на яркости искусственного фотометрического стандарта, а также определения и учета атмосферной экстинкции. Этот метод позволяет получать длинные ряды наблюдений в единой фотометрической системе. Специальными наблюдениями звезд-стандартов инструментальная фотометрическая система связывается с системой, принятой за стандартную.

Дифференциальность наблюдений астероидов обеспечивается одновременной регистрацией блеска астероида и одной или нескольких звезд, находящихся в поле зрения телевизионной аппаратуры. Это позволяет учитывать быстрые изменения экстинкции, происходящие в течение наблюдательной ночи.

Использование метода фундаментальной фотометрии наравне с дифференциальным позволяет получать абсолютные измерения блеска астероидов в одной из общепринятых фотометрических систем, а также использовать данные наблюдений, полученные в ночи с неустойчивой атмосферной прозрачностью. Это дает возможность совместного анализа данных, полученных разными наблюдателями, и экономит телескопное время.

Двойственность астероидов проявляется в форме их кривых блеска. В работе [12] обсужден ряд особенностей кривых и на их основе сделано предположение о наличии спутников у 11 астероидов.

Напомним три фотометрических признака [12] и дополним их еще двумя на



Периодограммы фотометрических наблюдений астероида (87) Сильвия, полученные в 1989 г. на 0,5-м телескопе Крымской астрофизической обсерватории телевизионным методом

Верхний график получен по *B*-наблюдениям, нижний – по наблюдениям в *B*-полосе и в интегральном свете после отбеливания данных за колебания блеска с частотой $4,630 \text{ сут}^{-1}$. Стрелками указаны на верхнем графике комбинационные частоты, на нижнем – частоты, обнаруженные после отбеливания данных за основную частоту колебаний блеска астероида

основании нашего опыта частотного анализа наблюдений астероидов (87) Сильвия и (423) Диотима.

1. Наличие плоского минимума на кривых блеска может свидетельствовать о полном затмении одного компонента другим.

2. Сильная зависимость амплитуды изменения блеска астероида от фазового угла в случае его двойственности может быть вызвана возрастающим влиянием эффекта затмения компонентов друг другом.

3. Наличие сильных изменений наклонов восходящей и нисходящей частей кривых блеска вследствие изменений моментов конца и начала затмений при разных углах аспекта астероида (угол между осью вращения астероида и лучом зрения на наблюдателя).

4. Периодические изменения абсолютного блеска астероида в шкале времени десятков суток могут свидетельствовать о прецессии, возникающей вследствие присутствия второго тела. На основании обнаружения прецессии у астероида (1200) Крокус было сделано предположение о наличии у него спутника [13].

5. Обнаружение колебаний блеска астероида с периодами, отличающимися от известного периода его вращения. Наличие таких периодов может быть объяснено лишь гипотезой о сложном составе астероида.

В качестве примера действенности последних двух признаков приведем некоторые результаты частотного анализа телевизионных фотометрических наблюдений астероида (87) Сильвия [14, 15]. Наблюдения были получены в течение шести ночей весной 1989 г. в полосе *B* и в интегральном свете. Анализировались два ряда, состоящих из 146 измерений каждый. В одном случае это были только *B*-наблюдения, во втором –

В-наблюдения и измерения в интегральном свете, которые имели более высокую точность.

Известный период вращения астероида соответствует частоте $\nu = 4,63$ циклов в сутки. Периодограмма, полученная методом Лафлера–Кинмана вблизи этой частоты, приведена на верхнем графике рисунка. В центре рисунка хорошо проработан минимум, соответствующий частоте известного периода. Небольшие минимумы, расположенные симметрично от него, отмечены стрелками. Они соответствуют комбинационным частотам, получающимся при сложении основной частоты с частотами прецессионных колебаний блеска астероида (27 ± 3 сут) и скважности наблюдательного ряда (15 сут). Изменения среднего блеска за каждую ночь наблюдений не противоречат гипотезе о периоде прецессии около 30 сут. Амплитуда прецессионных изменений блеска составляет около $0^m,4$. Такой же период с амплитудой около $0^m,2$ показывает анализ фотометрических наблюдений этого же астероида, выполненных в 1982 г. [16].

Применение известного в астрофизике и часто используемого при анализе блеска двойных звезд метода "отбеливания" [17] наблюдательных данных за периодические изменения блеска астероида с частотой $4,63 \text{ сут}^{-1}$ позволило обнаружить присутствие частоты других колебаний блеска с периодом, отличающимся от известного ранее периода вращения всего на несколько процентов. Полученная после отбеливания периодограмма приведена на нижнем графике рисунка. Частоты 4,536 и 4,745 являются сопряженными: отбеливание данных за одну из них убирает и вторую. Поэтому сделать вывод о том, какая из них представляет истинный период, пока не представляется возможным. Для этого необходимы дальнейшие наблюдения астероида или привлечение каких-либо априорных данных.

Задача исследования сложного состава астероидов является обратной задачей фотометрии. Успешное решение ее может быть достигнуто с привлечением как модельных расчетов, так и методов решения обратных задач, бурно развивающихся в настоящее время.

Декабрь. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weidenschilling S.J. // *Icarus*. 1980. Vol. 44. P. 807–809.
2. Chapman C.R., Davis D.R., Weidenschilling S.J. // *Bull. Astron. Soc.* 1980. Vol. 12. P. 662–665.
3. Harris A.W. // *Ibid.* 1983. Vol. 15. P. 828.
4. Leone G., Farinella P., Paolicchi P., Zappala V. // *Astron. Astrophys.* 1984. Vol. 140. P. 265–272.
5. Weidenschilling S.J., Paolicchi P., Zappala V. // *Asteroid II* / Ed. R.P. Binzel, T. Gerels, M.Sh. Mathews. Tucson: Univ. Arizona press, 1989. P. 653–658.
6. Chauvineau B., Mignard F. // *Icarus*. 1990. Vol. 87, N 2. P. 377–390.
7. Абраменко А.Н., Прокофьева В.В., Бондарь Н.И. и др. // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории*. 1988. Т. 78. С. 182–193.
8. Батраков Ю.В., Карачкина Л.Г., Прокофьева В.В., Павленко Е.П. // *Тр. Всесоюз. совещ. "Астероидная опасность"*, 10–11 сент. 1991 г. С.-Петербург, 1992. С. 134–138.
9. Прокофьева В.В., Демчик М.И., Голубь А.И. // *Астрон. вестн.* 1992. Т. 26, № 4. С. 68–70.
10. Прокофьева В.В., Демчик М.И., Карачкина Л.Г., Павленко Е.П. // *Астрон. вестн.* 1992. Т. 26, № 5. С. 3–13.
11. Прокофьева В.В., Бочков В.В., Павленко Е.П. // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории*. 1993. Т. 88.
12. Cellino A., Pannunzio R., Zappala V. et al. // *Astron. Astrophys.* 1985. Vol. 144. P. 355–362.
13. Binzel R.P. // *Icarus*. 1985. Vol. 63, N 1. P. 99–108.
14. Прокофьева В.В. // *Кометный циркуляр*. 1992. С. 13.
15. Прокофьева В.В., Демчик М.И. // *Астрон. цирк.* 1992. № 1552. С. 27–28.
16. Weidenschilling S.J., Chapman C.R., Davis D.R. et al. // *Icarus*. 1987. Vol. 70. P. 191–245.
17. Теребиж В.Ю. *Анализ временных рядов в астрофизике*. М.: Наука, 1992.

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП ИМЕНИ АКАДЕМИКА Г.А. ШАЙНА (ЗТШ)

Р.Е. Гершберг

Крымская астрофизическая обсерватория

THE SHAJN TELESCOPE

R.E. Gershberg

ПРЕДЫСТОРИЯ

Как известно, в 1926 г. в Симеизе на горе Кошка под руководством Григория Абрамовича Шайна был установлен метровый рефлектор фирмы "Грэбб и Парсонс", заказанный еще до революции. Это был один из крупнейших телескопов того времени. На нем Г.А. Шайн и В.А. Альбицкий выполнили высокоточные измерения лучевых скоростей нескольких сотен звезд. Некоторые спектрограммы, полученные на этом телескопе, наряду со звездными спектрами коллекции Йеркской обсерватории легли в основу пионерского исследования Г.А. Шайна и О. Струве по вращению звезд. Эти работы были высоко оценены и создали имя Симеизской обсерватории в астрономическом мире. Позднее полученные на симеизском рефлекторе спектрограммы были использованы Г.А. Шайном в его классической работе по аномалиям бальмеровского декремента в спектрах долгопериодических переменных звезд и Г.А. Шайном и В.Ф. Газе в их первоклассном исследовании отношения изотопов $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ в атмосферах углеродных звезд.

Во время войны метровый телескоп был варварски разрушен. Сразу после освобождения Крыма началось восстановление Симеизской обсерватории. Но еще до войны Г.А. Шайн ставил вопрос о необходимости создания крупного телескопа в Крыму, и в связи с утратой метрового рефлектора необходимость в таком телескопе стала еще более острой. Поэтому одновременно с восстановлением обсерватории на Кошке были продолжены начатые еще до войны экспедиции с целью поиска места для крупного телескопа в Крыму. Идея строительства такого инструмента была поддержана в Академии и в правительстве. Поскольку в нашей стране тогда еще не было своей базы крупного телескопостроения, то в 1946 г. для заказа такого инструмента в США была командирована группа астрономов, куда вошли сотрудники Симеизской обсерватории Г.А. и П.Ф. Шайны, А.Б. Северный, В.Б. Никонов и Г.А. Монин. Переговоры с американскими специалистами проходили успешно, но, к сожалению, вскоре началась холодная война, и заказать в Америке крупный телескоп для Советского Союза оказалось невозможно. Поэтому Г.А. Шайн начал настойчиво добиваться создания большого телескопа силами нашей страны и сумел добиться такого решения правительства – поручения Ленинградскому оптико-механическому объединению построить такой телескоп для Крыма.

РАЗРАБОТКА И СООРУЖЕНИЕ ТЕЛЕСКОПА

2,6-м телескоп был разработан, изготовлен и установлен в Крымской астрофизической обсерватории в удивительно сжатые сроки. Из двух обсуждавшихся вариантов – предложения П.В. Добычина делать телескоп с английской монтировкой и предложения Б.К. Иоаннисиани делать вилочную систему – был выбран второй. Для координации работ по строительству телескопа был создан междуведомственный комитет под председательством В.Б. Никонова, его заместителем был П.П. Доб-

ронравин. В создании телескопа и строительстве башни принимали участие 44 организации разных ведомств и в разных городах, так что работа комитета была весьма напряженной. К началу 1960 г. в поселке Научный выросла величественная башня по проекту архитектора Д.Х. Еникеева – самое заметное строение, хорошо видимое с самолета – и к концу этого года в ней был смонтирован 2,6-м телескоп.

К сожалению, Григорий Абрамович не дождался реализации своей мечты: он скончался 4 августа 1956 г. Решением Президиума Академии наук СССР его имя было присвоено 2,6-м рефлектору, и аббревиатура ЗТШ – зеркальный телескоп Шайна – прочно вошла в обиход астрономов.

Когда в 1961 г. на ЗТШ были получены первые снимки небесных объектов, это был третий в мире телескоп по диаметру рабочего зеркала (после 5-м Паломарского и 3-м Ликского американских рефлекторов). Надо отдать должное таланту и смелости Баграта Константиновича Иоаннисиани: он приступил к созданию 2,6-м телескопа, когда крупнейшим построенным у нас и действующим инструментом был 70-см менниковый телескоп Абастуманской обсерватории его конструкции, тогда как в мировой практике телескопостроения обычный "шаг" увеличения диаметра телескопа составляет полтора-два раза.

На ЛОМО из пирекса были изготовлены главное зеркало ЗТШ и дополнительные малые зеркала. В вилочной конструкции ЗТШ был реализован ряд оригинальных идей Б.К. Иоаннисиани. В частности, весьма удачной оказалась предложенная им конструкция полярной платформы телескопа с системой гидравлики, которая практически без изменений была вскоре реализована в английском 2,5-м телескопе имени Исаака Ньютона. Через несколько лет после сооружения ЗТШ Б.К. Иоаннисиани приступил к проектированию 6-м телескопа, и в облике этого, до последнего времени крупнейшего в мире телескопа хорошо видны "генетические" следы ЗТШ. Для шайновского рефлектора впервые в нашей стране телескоп и астрономическая башня были столь насыщены автоматикой и телемеханикой; они были выполнены под руководством Ю.А. Сабинина из Ленинградского института электромеханики и В.М. Журкина из НИИ Госкомитета по радиоэлектронике: в спектрографе куда был установлен фотогид, который удерживает телескоп на исследуемой звезде в течение многих часов экспозиции, а купол башни автоматически отслеживает это движение телескопа. Управление телескопом осуществляется как с центрального пульта, так и с одного из трех выносных пультов непосредственно у светоприемника в том или ином фокусе телескопа.

ОСНАЩЕНИЕ ТЕЛЕСКОПА СВЕТОПРИЕМНОЙ АППАРАТУРОЙ

Первенец отечественного крупного телескопостроения ЗТШ проектировался как универсальный астрофизический инструмент. Это выражалось, во-первых, в широком наборе оптических схем телескопа: в нем реализованы прямой фокус, фокусы Кассегрена и Нэсмита, прямое и обходное куда, и каждый из этих фокусов оптимален для решения определенной астрофизической задачи. Во-вторых, в оснащении ЗТШ большим числом навесной аппаратуры: вместе с самим телескопом фирма ЛОМО построила для него кассету Ричи и револьверную кассету прямого фокуса, которые были предназначены для снимков участков неба диаметром до 12'; в Государственном оптическом институте были спроектированы бесцелевые спектрографы СП-79 и СП-80 для получения в прямом фокусе телескопа спектра звезд в поле диаметром в несколько угловых минут и спектрограф СП-72 для фокуса Кассегрена, на котором можно было получить целевые спектры звезд. Через несколько лет после начала работы ЗТШ фирма ЛОМО установила в башне телескопа первый в нашей стране спектрограф куда – самый мощный прибор для анализа звездных спектров. В 70-е годы ЛОМО изготовило для ЗТШ спектрограф СП-110 со светосильными камерами для получения спектров слабых объектов в прямом фокусе телескопа.

Эти приборы заводского изготовления по-разному вошли в регулярную работу

ЗТШ: в разной степени оказались удачными заложенные в них идеи и конструктивные решения. Но независимо от этого новые астрофизические задачи и новые светоприемники – прежде всего, громоздкие ЭОПы, которые не совмещались с классическими спектрографами, рассчитанными на работу с фотопластинками – стимулировали создание собственных приборов для ЗТШ в обсерватории. Эта "инструментальная самодеятельность" имела в Крымской обсерватории глубокие корни: под непосредственным руководством Г.А. Шайна немецкие трофейные оптические системы Слефогта–Рихтера были превращены в уникальные светосильные астрономические камеры, с помощью которых Григорий Абрамович со своими помощниками открыл несколько сот новых диффузных туманностей в нашей Галактике и крупные эмиссионные структуры в других звездных системах; именно таким "самодеятельным" способом А.Б. Северный создал в первые послевоенные годы инструменты отдела физики Солнца; более десяти лет на 50-дюймовом телескопе проработал самодельный призмный спектрограф конструкции В.А. Альбицкого; обширные фотоэлектрические исследования звезд под руководством В.Б. Никонова проводились на аппаратуре, изготовленной или в значительной мере модернизированной в обсерватории, а начатые в 60-е годы поляриметрические наблюдения велись полностью на "самоделках".

На изготовленной в КраО ЭОПной приставке для прямого фокуса ЗТШ, в которой после диска с набором фильтров были установлены трехкаскадный ЭОП и кассета с лентопротяжным механизмом, в 1961 г. был выполнен первый цикл научных исследований на ЗТШ – получены фотографии многих внегалактических объектов в 7 участках длин волн.

До получения заводского спектрографа куда в этом фокусе телескопа в 1963 г. был установлен изготовленный в обсерватории по проекту И.М. Копылова и Н.В. Степенко звездный эшелльный спектрограф, на котором впервые в нашей стране были получены спектры звезд с разрешением до $0,06 \text{ \AA}$; при этом с экспозицией в несколько часов можно было зарегистрировать спектр звезды до 5^m в диапазоне от 3500 до $6700 \text{ \AA}$.

Успешная работа ЭОПной приставки в прямом фокусе стимулировала попытки построить на базе того же ЭОПа М.М. Бутслова ЭОПный спектрограф для прямого фокуса телескопа, но эти попытки оказались неудачными, после чего в 1964 г. был разработан и изготовлен ЭОПный спектрограф для фокуса Нэсмита (СПЭМ – спектрограф ЭОПный Г.А. Мони́на). Эта "самоделка" оказалась удивительно живучей: благодаря постоянному "присмотру" со стороны К.К. Чуваева, многочисленным модернизациям спектрографа, он успешно проработал с ЭОПом около 28 лет. Правда, в 1978–1981 годы ЭОП время от времени заменялся на электронно-графический преобразователь спектракон, с помощью которого П.П. Петров получил спектры с линейным разрешением до 10 мкм и отношением сигнал/шум более 100, что заметно превосходит соответствующие параметры ЭОПа. К сожалению, этот детектор оказался весьма сложным в эксплуатации и не прижился на ЗТШ. В минувшем году ЭОП на СПЭМе был заменен ПЗС-матрицей, обещающей дать вторую жизнь этому спектрографу.

По проектам В.И. Проника для решения различных задач внегалактических исследований были изготовлены два спектрографа для прямого фокуса ЗТШ и светосильный спектрограф с концентрической камерой Попова–Боуэна для фокуса Кассегрена.

С 1969 г. поляриметрические исследования проводились на ЗТШ с помощью изготовленного по проекту Н.М. Шаховского одноканального поляриметра, который первоначально устанавливался в фокус Нэсмита, а затем под руководством Б.П. Абражевского для него был изготовлен офсетный гид для работы в фокусе Кассегрена. В 1988 г. начались наблюдения на изготовленном Ленинградским физико-техническим институтом и модернизированном в обсерватории двухлучевом поляриметре – магнито-метре с акустооптической модуляцией.

Для исследования звездных магнитных полей в 1969 г. под руководством А.Б. Северного в обсерватории был разработан и создан первый звездный сканер-магнитометр для фокуса куде ЗТШ. В 1973 г. в фокусе Кассегрена был установлен изготовленный под руководством А.Б. Северного поляриметр для измерения круговой поляризации в широких спектральных интервалах. В 1987 г. сканер-магнитометр в фокусе куде был заменен разработанным С.И. Плачиндой более совершенным прибором – стоксметром с регистрацией на ПЗС-матрице, позволяющим измерять звездные магнитные поля одновременно по отдельным спектральным линиям разных химических элементов.

В 1985 г. благодаря сотрудничеству с финскими коллегами в фокусе спектрографа куде была установлена английская ПЗС-камера. Инициаторами и энтузиастами этого нового для отечественной астрономии метода регистрации спектров были А.А. Боярчук, П.П. Петров, А.Г. Щербакова и И.В. Ильин. В результате были начаты спектральные наблюдения с высокой дисперсией и большим отношением сигнал/шум, что позволило поставить на телескопе задачи, ранее не доступные для советских астрономов. Сейчас на смену английским приходят не уступающие им по основным параметрам отечественные ПЗС-матрицы.

В течение длительного времени на ЗТШ успешно работали две различные установки, изготовленные для использования телескопа в космических исследованиях. Для прямого фокуса была сделана приставка с передающей телевизионной трубкой, которая позволяла на телевизионном экране следить за движением среди звезд далеких космических кораблей, направлявшихся к Луне или планетам, и в течение ночи получать до десятка точных координат таких объектов. За выполнение этих ответственных исследований сотрудники обсерватории П.П. Добронравин, В.Б. Никонов и В.К. Прокофьев были удостоены Государственной премии. В начале 70-х годов сотрудники ФИАН изготовили для оригинального сочетания фокусов куде и Нэсмита лазерную пушку для оптической локации Луны и провели много десятков сеансов таких наблюдений с целью уточнения расстояния до Луны и усовершенствования теории движения этого ближайшего к нам небесного тела.

По-видимому, и сегодня ЗТШ – один из наиболее оснащенных телескопов. Будучи оттесненным бумом крупного телескопостроения, начавшимся в мире середине 60-х годов, с третьего места в списке крупнейших астрономических инструментов в начале третьего десятилетия, ЗТШ продолжает давать высококачественные научные результаты.

Три десятилетия интенсивной эксплуатации подтвердили высокий класс механической конструкции телескопа. Если не считать нескольких двух–трехнедельных остановок, связанных с регулярным алюминированием главного зеркала, и нескольких случаев, когда из-за подтаивания снега днем к ночи примерзали створки купола, то за три десятилетия за счет технических неполадок телескоп простаивал не более полутора–двух десятков ночей. За эти годы сменены лишь насосы маслосистемы и регулярно модернизируется электрохозяйство телескопа. Конечно, такая безотказная работа телескопа обусловлена не только его удачной конструкцией и высоким качеством изготовления, но и тем обстоятельством, что в обсерватории он попал в руки в высшей степени добросовестных и преданных делу людей – ведущих инженеров Б.П. Абражевского и К.Я. Лиморенко, которые набирали себе команду помощников.

К сожалению, качество оптики телескопа, изготовленной в конце 50-х годов, не соответствует современным требованиям. Технология изготовления крупной астрономической оптики в мире с тех пор ушла далеко вперед. Но попытки обсерватории получить от нашей промышленности новое 2,6-м параболическое зеркало лучшего качества пока не увенчались успехом.

Как уже упоминалось, первое исследование, выполненное на ЗТШ, состояло в фотографировании с ЭОПной приставкой ряда внегалактических систем и анализе полученных в различных участках спектра прямых снимков (М.М. Бутслов, И.М. Копылов, В.Б. Никонов, А.Б. Северный, К.К. Чуваев). Осуществленное на новой инструментальной базе это исследование идейно продолжило изучение таких систем по прямым снимкам, проводившееся Г.А. Шайном в Симеизе на светосильных камерах 450 и 640 мм. Благодаря большому масштабу, большому числу фильтров, перекрывавших весь оптический диапазон длин волн, и возможности получать снимки с экспозициями порядка минут, в исследовании на ЗТШ удалось с большей детальностью выделить эмиссионные туманности, группировки молодых горячих звезд и области с сильным межзвездным поглощением света в этих звездных системах. Затем В.Б. Никонов, И.П. Проник и К.К. Чуваев разработали методику количественной многоцветной фотометрии внегалактических систем, а И.И. Проник и К.К. Чуваев продолжили такие наблюдения; они детально исследовали несколько спиральных галактик, обнаружив в них десятки гигантских областей ионизованного водорода, оценили их размеры, яркость, массы и распределение энергии в спектрах. Позднее И.П. Проник и Л.П. Метик провели многоцветную фотометрию нескольких галактик Маркаряна, обнаружили и исследовали в них голубые конденсации размером в сотни парсек; в нескольких галактиках Сейферта они нашли звездообразные конденсации, которые, по-видимому, могут возмущать гравитационное поле вблизи ядер и влиять на кинематику газа. В.И. Проник по снимкам известной галактики Дева А обнаружил оптическую переменность так называемого выброса, свечение которого обусловлено синхротронным излучением. В результате всех этих наблюдений в КрАО создана коллекция в несколько тысяч снимков более двухсот далеких звездных систем, которая до сих пор используется в различных исследованиях.

Со штатной кассетой Ричи в прямом фокусе ЗТШ я получил крупномасштабные снимки туманности Ориона — самой яркой туманности на видимом у нас небе, которую ранее также исследовал Г.А. Шайн. По одному из таких снимков была построена подробная фотометрическая карта туманности и по ней вычислена корреляционная функция флуктуаций поверхностной яркости. Сопоставление этой функции с теоретической, вычисленной для колмогоровской турбулентности, поставило под сомнение предполагавшееся ранее существование дозвуковой локально-изотропной турбулентности в газовой туманности.

С введением в строй штатных бесщелевых спектрографов СП-79 и СП-80 и щелевого спектрографа СП-72, впервые в нашей стране появилась возможность получать высококачественные спектры сравнительно слабых звезд до 12^m – 13^m . Благодаря этому А.А. Боярчук выполнил очень интересный цикл исследований симбиотических звезд. Проведя тщательный количественный анализ нескольких сот полученных на ЗТШ спектрограмм этих объектов, на которых сосуществуют собственные холодным звездам молекулярные полосы и типичные для планетарных туманностей эмиссионные линии горячего газа, собрав данные о характере изменений таких объектов как во время мощных вспышек, длящихся месяцы, так и на временных интервалах в десятки лет, А.А. Боярчук показал, что все разнообразие фотометрических, спектральных и кинематических характеристик симбиотических звезд укладывается в рамки модели, содержащей нормальный холодный гигант и разреженный газ высокой степени возбуждения. Оценив с помощью специально развитой методики основные параметры этих видимых компонентов и определив в качестве источника возбуждения газа горячую звезду малого размера, которая в видимой области теряется в лучах красного гиганта, но в лаймановском континууме дает достаточно мощный поток для ионизации протяженной оболочки типа планетарной туманности, А.А. Боярчук построил самосогласованную феноменологическую модель

симбиотических звезд и показал, что такие сложные системы возникают в ходе естественной эволюции двойных систем с компонентами разных масс. В последующие 25 лет эта модель получила дальнейшее развитие благодаря появлению новых спектральных, радиоастрономических, инфракрасных и ультрафиолетовых данных и является в настоящее время общепринятой.

На спектрографе СП-72 А.А. Боярчук и И.И. Проник исследовали несколько Ве-звезд и определили параметры их изменяющихся оболочек; в частности, они нашли, что в течение года масса оболочки звезды ζ Тау уменьшилась почти вдвое.

Существенно расширились возможности изучения слабых объектов и быстропротекающих явлений в ярких объектах после создания в обсерватории в 1964 г. спектрографа для фокуса Нэсмина с трехкаскадным ЭОПом в качестве светоприемника — упомянутого выше "долгожителя" СПЭМа. На этом приборе я провел спектральные наблюдения вспыхивающих звезд типа UV Кита с высоким временным разрешением. В ходе таких патрульных наблюдений на ЗТШ регистрировались спектры звезды и параллельно велись наблюдения ее блеска на светосильной 640-мм камере, где был установлен фотоэлектрической фотометр. В результате таких исследований впервые удалось зарегистрировать спектры звездных вспышек с временным разрешением порядка минуты, которое существенно меньше характерного времени развития вспышек средней и большей интенсивностей. Это обстоятельство позволило выявить основные особенности спектрального развития вспышек — последовательность возгорания и затухания эмиссии различных элементов, появление на начальной фазе вспышки непрерывной эмиссии и кратковременность такого вспыхивающего излучения, характер изменения ширины и интенсивностей эмиссионных линий различных элементов, оценить эффект замыкания фотосферного спектра на разных стадиях развития вспышек. Анализ собранных данных позволил сделать важный вывод о том, что вспышки этого типа являются существенно локальными процессами, охватывающими лишь небольшую долю поверхности звезды, и по своей природе практически идентичны вспышкам на Солнце. Начатые мною исследования вспыхивающих красных карликовых звезд на ЗТШ были продолжены Н.И. Шаховской, которая с помощью спектрографа СП-72 провела исследование эмиссионного спектра таких объектов в спокойном состоянии; количественный анализ полученных спектрограмм позволил заключить, что плотность вещества в хромосферах звезд такого типа примерно на порядок величины выше, чем на Солнце, и это обстоятельство связывается с более мощной энергетикой вспыхивающей активности красных карликов. Во время одной из вспышек такого типа была обнаружена значительная асимметрия профиля водородной эмиссии, характерная и для солнечных вспышек. Цикл спектральных наблюдений вспыхивающих красных карликовых звезд во время их вспышек и в спокойном состоянии, выполненный на ЗТШ, вошел в число тех исходных исследований, из которых к настоящему времени выросло обширное направление звездно-солнечной физики.

В течение ряда лет Н.С. Чуваева, К.К. Чуваев и В.П. Маланушенко вели на СПЭМе регулярные наблюдения звезды HD 215441 с максимальным известным магнитным полем; по этим данным с участием д-ра В. Вайсса был составлен Атлас спектра этой звезды и определен характер переменности ее спектральных линий.

Другое важное направление работы на СПЭМе — это начатые в конце 60-х годов К.К. Чуваевым и В.И. Проником наблюдения спектров ядер активных галактик. С сотрудниками Специальной астрофизической обсерватории И.М. Копыловым и В.А. Липовецким они провели наблюдения ряда галактик Маркаряна и 15 из них отнесли к сейфертовским. В 1972 г. В.И. Проник и К.К. Чуваев обнаружили сложный характер переменности эмиссионной линии H_{β} в спектре галактики Mrk 6. К настоящему времени К.К. Чуваев провел спектрофотометрическую обработку своих многолетних систематических наблюдений 7 таких объектов, в каждом из них обна-

ружена бóльшая или мéньшая спектральная переменность. Вот несколько примеров найденной им нестационарности таких систем.

У галактик NGC 4151 и NGC 7469 была прослежена эволюция спектров от типа Sy1 к типу Sy2, т.е. кардинальная смена характера профилей эмиссионных линий, за 2–3 месяца и последующий обратный переход к типу Sy1; проведенные параллельные фотометрические наблюдения обнаружили при переходе от типа Sy1 к типу Sy2 сильное ослабление блеска и увеличение покраснения ядра. Простые статистические соображения, основанные на этих наблюдениях, показывают, что переходы $Sy1 \Rightarrow Sy2 \Rightarrow Sy1$ многие галактики с активными ядрами должны неоднократно испытывать на протяжении своей жизни. В этих исследованиях принимали участие московские астрономы В.Л. Окнянский, В.Т. Дорошенко и В.М. Лютый.

У галактики Mrk 6 за 16 лет патрульных наблюдений отмечены сильные изменения интенсивности и вида профиля линии H_{β} , состоящего из 3 компонент: центральной, относительно узкой; фиолетовой, смещенной на 3000 км/с, и относительно слабой и широкой (до 10000 км/с) компоненты. В опубликованном Атласе профилей этой линии, выполненном на основе крымских наблюдений, обнаруживаются весьма сходные между собой структуры, разделенные заметными промежутками времени, во время которых профиль линии имел совсем иной характер. По-видимому, это свидетельствует об устойчивой пространственной структуре вещества, различные элементы которой светятся в разные моменты в зависимости от меняющихся условий ионизации и возбуждения этих элементов. Существенные изменения профиля линии H_{β} зарегистрированы также в спектре галактики NGC 5548.

7-летние наблюдения N-галактики 3C120 и 19-летние наблюдения активной галактики Mrk 509 показали, что при изменениях блеска ядер до 2 раз и сопутствующих изменениях потока в линии H_{β} с характерным временем в 4–5 месяцев профиль этой линии оставался практически неизменным.

15-летние наблюдения пекулярной галактики NGC 1275 обнаружили постоянство потоков в линиях [OIII] при изменении блеска ядра до 4 раз, подтвердили двухкомпонентную структуру запрещенных линий с разностью скоростей около 800 км/с.

Приведенные результаты свидетельствуют о большом разнообразии явлений, происходящих в ядрах активных галактик и обнаруживаемых при спектральных исследованиях с высокочувствительной аппаратурой.

Во время упомянутого выше непродолжительного использования спектракона на СПЭМе в качестве светоприемника П.П. Петров и В.П. Гринин провели наблюдения звезд типа Т Тельца и обнаружили периодические изменения профиля эмиссионных линий H_{α} и H_{β} в спектре RW Aur, обусловленные неоднородной структурой звездного ветра.

На построенном В.И. Проником спектрографе прямого фокуса ЗТШ он провел один из первых спектральных наблюдения квазаров. Количественный анализ этих спектров и тогда же полученных на Южной станции ГАИШ послужил основой для предложенной Э.А. Дибам и В.И. Проником двухкомпонентной модели газовой оболочки таких объектов с существенной стратификацией физических условий, которая с различными модификациями остается общепринятой и по сегодняшний день.

Позднее на другом спектрографе прямого фокуса, построенном В.И. Проником, и на переделанном силами обсерватории для прямого фокуса ЗТШ заводском спектрографе СП-110 И.И. Проник с 1971 по 1986 г. вел наблюдения активных галактик и в результате установила общность корреляции показателя цвета и эквивалентной ширины водородной эмиссии для центральных областей нормальных и сейфертовских галактик, обнаружила и исследовала переменность эмиссионных линий в спектрах трех сейфертовских галактик и получила характеристики нестационарных водородных структур в этих объектах. В частности, она обнаружила бальмеровского декремента в спектре галактики NGC 7469 и заподозрила переменность запрещенных

линий в спектре галактики NGC 1275. Последний результат явился весьма неожиданным и, с одной стороны, вызвал попытки дать ему теоретическое объяснение, с другой — "закрыть" его экспериментально; но консенсус в этой дискуссии не был достигнут.

На изготовленном в 1988 г. под руководством В.И. Проника спектрографе для фокуса Кассегрена в качестве светоприемника использовалась ПЗС-матрица, что позволило получать спектры с высоким отношением сигнал/шум. По таким данным В.И. Проник и С.Г. Сергеев рассмотрели характер переменности эмиссионного спектра нескольких активных галактик; в частности, был оценен размер области (около 20 световых суток), в которой в галактике NGC 4151 формируются широкие линии, и показано, что наблюдаемый профиль линии H_{α} в этой галактике лучше всего представляется моделью релятивистского кеплеровского диска размером около 30000 гравитационных радиусов и с изменением поверхностной яркости в линии по закону $r^{-5/2}$. На этом спектрографе В.П. Гринин получил спектры ряда классических звезд типа Т Тельца в области линии H_{α} и инфракрасного триплета кальция и показал, что линии кальция систематически уже водородных линий и не имеют абсорбционных компонент; этот наблюдательный факт подтвердил существование стратификации в звездном ветре таких объектов и явился аргументом в пользу развитой В.П. Грининым и А.С. Мицкевичем модели стохастического звездного ветра.

Аппаратура в фокусе куде ЗТШ впервые позволила отечественным астрономам получать звездные спектры с самым высоким разрешением, необходимым для наиболее детального изучения физических условий и химического состава звездных атмосфер. Как уже упоминалось, сперва здесь был установлен и в течение нескольких лет успешно работал изготовленный в обсерватории эшелльный спектрограф. Выполненные на нем наблюдения позволили И.М. Копылову и С.К. Зейналову обнаружить в атмосфере одного сверхгиганта вариации скоростей микро- и макротурбулентных движений и установить сходство химического состава атмосфер двух сверхгигантов и химического состава солнечной атмосферы, причем в атмосферах этих двух звезд было найдено отклонение условий возбуждения ионов и нейтральных атомов от равновесных. В.Л. Хохлова по эшелльным спектрам исследовала две марганцевые звезды — α And и π Boo A — и обнаружила в их атмосферах дефицит гелия и сильный избыток марганца, галия, иттрия и скандия.

В 1966 г. начал работать заводской спектрограф куде АСП-14 с тремя камерами и большой дифракционной решеткой. На этом приборе был выполнен цикл исследований, связанных с изучением лития в звездных атмосферах, который, как известно, служит индикатором определенных процессов химической эволюции звездного вещества. М.Е. Боярчук нашла заметно пониженное отношение содержаний Li/Ca в атмосферах переменных М-звезд типа SR, позднего субкарлика и вспыхивающей звезды. А.А. и М.Е. Боярчуки обнаружили, что в атмосферах трех сверхгигантов литий в 10 раз менее обилен, чем в межзвездной среде и в атмосферах молодых звезд, содержание углерода в атмосферах этих сверхгигантов в 4 раз меньше, но имеет место избыток натрия по сравнению с солнечной атмосферой. Н.С. Чуваева обнаружила смещение центра тяжести линии лития в спектре магнитопеременной звезды, что может быть связано с аномалией изотопного состава этого элемента по сравнению с соответствующим составом атмосфер нормальных звезд. Она провела также анализ химического состава магнитопеременных звезд β CrV и 73 Dra. В ходе исследований затменно-переменных звезд Т.М. Рачковская обнаружила эмиссию в линии H_{α} в спектре ЕМ Сер и переменность профилей спектральных линий звезды V822 Aql, связанную, по-видимому, с нестационарностью системы.

Исследования звездных атмосфер со спектрографом в фокусе куде ЗТШ стали особенно эффективны после того, как обсерватория приобрела быстродействующую ЭВМ. В 1980 г. Л.С. Любимков разработал программу расчета синтетических звезд-

ных спектров по моделям звездных атмосфер, которая основана на более реалистических физических предположениях, чем те, что лежали в основе применявшегося ранее метода кривых роста. Сперва указанные теоретические расчеты служили для анализа спектрограмм высокой дисперсии, получаемых традиционным фотографированием спектров; последние 6 лет к таким исходным данным прибавились ПЗС-спектры, где удается достичь на порядок-полтора более высокое отношение сигнал/шум, что позволяет ставить и решать более тонкие задачи исследования звездных атмосфер. На основе этой экспериментальной и теоретической базы был выполнен обширный ряд исследований. Л.С. Любимков и Н.С. Чуваева нашли, что химически пекулярные звезды α And и 73 Dra обнаруживают аномалии в содержаниях элементов до 3–4 порядков величины. В наиболее подробно изученной группе "металлических" звезд И.С. Саванов и Л.С. Любимков обнаружили систематический рост содержаний элементов с ростом их атомных номеров, и близкими к этим объектам по своему химическому составу, как показали Л.С. Любимков и Т.М. Рачковская, оказались пульсирующие переменные типа δ Sct.

При исследовании атмосфер звезд-сверхгигантов спектрального класса F А.А. Боярчук и Л.С. Любимков установили избыток натрия и нашли объяснение такой аномалии в синтезе этого элемента в неон-натриевом термоядерном цикле; в этих же атмосферах они обнаружили рост микротурбулентной скорости с высотой и повышение ионизации железа вследствие отклонения от условий ЛТР. М.Е. Боярчук, И.С. Саванов и С.В. Бердюгина с коллегами из Киева, Москвы и Тарту определили содержание легких элементов и отношение изотопов углерода в атмосферах звезд-гигантов спектральных классов G–K. А.А. Боярчук, И.Э. Эглитис и И.С. Саванов исследовали атмосферы двух G-карликов, имеющие высокие содержания лития и обладающие значительной хромосферной активностью. Анализ И.С. Савановым химического состава двух систем типа RS CVn привел к выводу о высоком для их спектральных классов содержании лития в их атмосферах, сохраняющемся даже при допущении о наличии холодных пятен на поверхности этих звезд. В последние годы описанная технология анализа звездных спектров успешно применяется с помощью разработанного Л.С. Любимковым метода для раздельного определения химсостава спектрально-двойных систем по их суммарному спектру.

С помощью ПЗС-камеры спектрографа куда удалось получить ряд интересных результатов по физике нестационарных звезд. Так, в ходе исследования сверхгиганта ρ Cas А.А. Боярчук, М.Е. Боярчук и П.П. Петров зарегистрировали довольно быстрое – за один месяц – формирование у этой F8-звезды молекулярного спектра, соответствующего температуре поздней K-звезды. Р.Е. Гершберг, И.В. Ильин и Н.И. Шаховская обнаружили тесную антикорреляцию водородной эмиссии в спектре вспыхивающей звезды EV Lac и блеска звезды, т.е. прямое свидетельство связи темных фотосферных пятен и ярких активных областей хромосферы звезды. П.П. Петров провел спектральный мониторинг линий натриевого дублета в спектре звезды типа T Тельца RY Tau и по характеру изменения профиля этих линий пришел к выводу о существовании восходящих и нисходящих движений сравнительно холодных масс в звездном ветре этой звезды, которое можно, видимо, рассматривать как звездные аналоги солнечных протуберанцев.

Пользуясь заметной чувствительностью ПЗС-матрицы в ближней инфракрасной области, А.Г. Щербаков выполнил наблюдения ряда нестационарных звезд в линии гелия 10830 Å, анализ которых, проведенный в сотрудничестве с московскими, финскими и испанскими коллегами, позволил установить синхронность вращения и орбитального обращения первичного компонента Капеллы, формирование гелиевой эмиссии в окрестностях внутренней точки Лагранжа и перетекание вещества от M-гиганта к белому карлику в системе HR 1105, вариации профиля этой линии в спектрах активных двойных систем типа RS CVn.

А.Е. Тарасов недавно закончил обширный цикл исследований В- и Ве-звезд по куде ПЗС-спектрам в области линий водорода и гелия. Он обнаружил прямые свидетельства двойственности Ве-звезд 59 Cyg и κ Dra, двойственность и спин-орбитальный резонанс у ϵ Peg и интерпретировал переменность фотосферных линий этой звезды в рамках модели нерадиальных пульсаций, впервые детально проследил медленный сброс оболочки у And и переход ее из состояния В-звезды в состояние Ве, обнаружил высокую активность звезды ζ Oph, проявляющуюся в быстрой переменности гелиевой линии и сопровождающуюся частыми сбросами оболочки.

С помощью установленного в куде сканера-магнитометра А.Б. Северному и В.М. Кувшинову удалось зарегистрировать магнитные поля звезд слабее 200 Гс; такая высокая чувствительность аппаратуры позволила обнаружить у нескольких ярких Am-звезд и звезд-сверхгигантов быстрые изменения их магнитных полей с характерными временами порядка суток.

Весьма разнообразны результаты выполненных на ЗТШ Н.М. Шаховским и Ю.С. Ефимовым поляриметрических измерений, в ходе которых использовались поляриметры, построенные в обсерватории, и 5-канальный фотометр-поляриметр д-ра В. Пииролы из Финляндии. Здесь впервые была измерена линейная поляризация оптического излучения ряда активных галактик – сейфертовских ядер, квазаров и лацертид; для некоторых из них впервые исследована зависимость поляризации от длины волны излучения и показано, что в объектах со значительным вкладом собственно галактического излучения поляризация уменьшается с длиной волны, тогда как в лацертидах и сильно поляризованных квазарах обычно наблюдается плоский спектр поляризации. У квазара 3C 273 обнаружены изменения поляризации на временах около суток, и эти изменения коррелируют с вариациями радиопотока.

В 1973–1975 гг. на поляриметре для круговой поляризации в широких спектральных интервалах А.Б. Северный и В.М. Кувшинов измерили круговую поляризацию квазара 3C 273 и двух галактических рентгеновских источников.

Н.М. Шаховской и Ю.С. Ефимов впервые измерили линейную поляризацию оптического излучения внегалактических сверхновых и обнаружили наличие переменной поляризации их собственного излучения, связанной, по-видимому, с рассеянием света в несферических оболочках. Найдены быстрые нерегулярные изменения поляризации излучения Новой Лебеда 1975, что также можно связать с несимметричностью распределения околозвездного вещества. С другой стороны, у ряда бывших новых, карликовых новых и новоподобных звезд заметная собственная поляризация не обнаружена, что свидетельствует о сравнительной бедности рассеивающего вещества в соответствующих двойных системах.

Н.М. Шаховской и Ю.С. Ефимов открыли переменную собственную поляризацию в оптическом излучении галактических рентгеновских источников Sco X-1, Cyg X-1, Cyg X-2 и Her X-1, у последнего обнаружена корреляция поляризации с орбитальным периодом, в частности резкий всплеск поляризации во время затмения рентгеновского источника. По наблюдениям на ЗТШ они впервые построили средние кривые хода параметров линейной поляризации полярных AM Her и AN UMa и определили ориентации магнитных осей этих систем. Первые одновременные измерения в полосах *UBVRI* линейной и круговой поляризации оптического излучения полярных AM Her привели к выводу о существовании на этом объекте излучающих областей с существенно различными напряженностями магнитного поля. В 1990 г., когда блеск этого объекта довольно долго оставался на низком уровне, Н.М. Шаховской и его одесские коллеги И.Л. Андронов и С.В. Колесников обнаружили исчезновение круговой поляризации, и это обстоятельство потребовало нового подхода к построению модели полярных и формулировке критерия принадлежности к объектам такого типа.

В 1969 г. на ЗТШ Ю.С. Ефимов и Н.М. Шаховской получили первые достоверные поляризационные измерения вспышки красной карликовой звезды AD Leo и не нашли

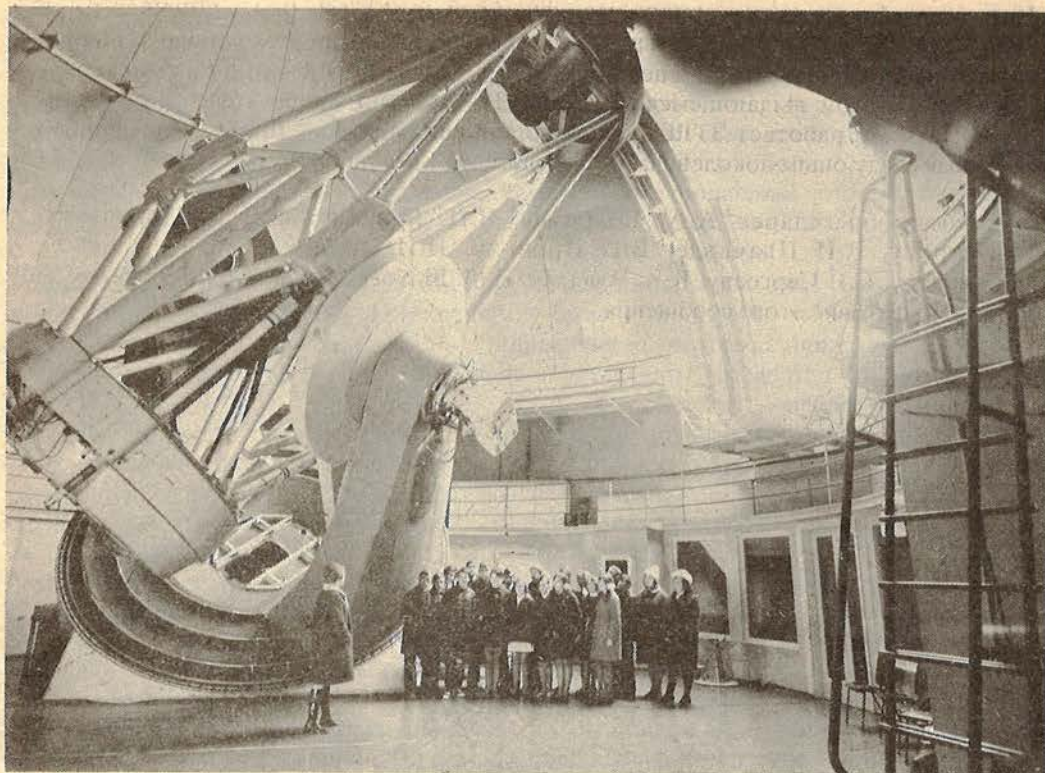
значимой поляризации в излучении вспышки; этот важный для теории звездных вспышек результат был подтвержден недавно при поляризметрических измерениях сильной и продолжительной вспышки на другой звезде того же типа – EV Lac.

На ЗТШ были впервые проведены систематические многоцветные наблюдения линейной поляризации звезд типа Т Тельца, они показали сложный характер изменений поляризации с сильно меняющейся зависимостью ее параметров от длины волны. Сложный характер изменений параметров поляризации со временем и с длиной волны обнаружен при наблюдениях на ЗТШ звезды R CrB во время ее минимумов блеска 1972 и 1977 гг. (Ю.С. Ефимов).

При поляризметрических наблюдениях на ЗТШ нескольких комет Ю.С. Ефимов, Н.М. Шаховской и их душанбинские коллеги Н.Н. Киселев, Н.В. Нарижная и Г.П. Чернова нашли заметную поляризацию в фазах противостояния и наличие так называемой отрицательной ветви фазовой кривой линейной поляризации, свойственной рассеянию на твердых частицах.

Богатство инструментального оснащения ЗТШ позволяет не только решать различные астрофизические задачи при исследовании разных объектов, но и проводить всестороннее излучение интересных небесных тел. Примером такого излучения могут служить проведенные исследования Новой Лебеда 1975 – одного из самых ярких объектов этого типа за последние десятилетия. Эту Новую открыл вечером 29 августа студент Московского университета С.Ю. Шугаров, проходивший практику в Крымской лаборатории ГАИШ, и через полчаса после открытия были начаты ее наблюдения на ЗТШ. Благодаря такой оперативности впервые удалось получить высококачественные спектры новой звезды в предмаксимальной фазе, когда она обнаруживала особенности спектрального класса В2, и анализ ее "горячего" абсорбционного спектра позволил обнаружить значительный избыток гелия, углерода, азота и кислорода при нормальном содержании кремния. Уже назавтра звезда "остыла" до спектрального класса А2 с профилями типа Р Суг, а еще через день ее спектр стал чисто эмиссионным, по которому определение содержания перечисленных элементов, существенных для понимания звездной эволюции вообще и вспышек новых в частности, становится весьма затруднительным. Этой яркой Новой было посвящено много десятков исследований, но высококачественные спектры в первую ночь, полученные в КрАО, остались уникальными. Последующие наблюдения Новой Лебеда 1975, выполненные на ЗТШ и других телескопах обсерватории, позволили построить кривые блеска звезды в различных участках спектра, проследить основные особенности развития спектра в видимой и ближней инфракрасной областях, оценить основные параметры сброшенной газовой оболочки и построить ее пространственно-кинематическую модель, определить параметры поляризации и обнаружить упоминавшиеся выше их изменения на разных стадиях развития Новой, оценить верхний предел потока γ -квантов и амплитуды быстрых пульсаций оптического излучения (А.Н. Абраменко, А.А. Боярчук, В.И. Бурнашев, Б.М. Владимирский, Т.С. Галкина, Р.Е. Гершберг, Ю.С. Ефимов, В.И. Краснобабцев, В.П. Маланушенко, Ю.И. Нешпор, В.В. Прокофьева, Т.М. Рачковская, А.А. Степанян, В.П. Фомин, Н.И. Шаховская, Н.М. Шаховской, А.Г. Щербаков, коллеги из Узбекистана и Таджикистана).

Другим примером широких астрофизических исследований интересных небесных тел под "эгидой" ЗТШ, могут служить проводящиеся уже в течение 14 лет наблюдения пекулярного объекта Кувано–Хонда – предельно медленной новой звезды. В эпоху ее максимального блеска на спектрографе СП-110 были получены спектрограммы, которые позволили провести анализ фотосферы объекта в этой фазе; при этом было найдено, что по всем основным физическим параметрам и химическому составу атмосферы объект Кувано–Хонда соответствовал в то время нормальному F -сверхгиганту. Во время глубокого минимума 1980–1981 гг., обусловленного формированием околосредной пылевой оболочки, были получены спектрограммы этого объекта на



Экскурсия школьников на ЗТШ

СПЭМе; они показали уникальное сочетание излучения фотосферы холодного гиганта и сильного эмиссионного спектра с многочисленными линиями редкоземельных элементов и линиями, характерными для солнечной хромосферы. В последние годы происходит медленный переход этой новой звезды в небулярную стадию, и характерные для нее профили отдельных спектральных линий регистрируются на спектрографе в фокусе куде, а представление об общем характере спектра дали ПЗС-спектрограммы, полученные на кассегреновском спектрографе В.И. Проника. (Как и в случае с Новой Лебеда 1975, спектральные наблюдения объекта Кувано-Хонда на ЗТШ сопровождались фотометрическими, поляризметрическими и спектрофотометрическими измерениями на других телескопах, и на разных стадиях этих исследований в них участвовала заметная часть сотрудников отдела – Т.С. Белякина, Н.И. Бондарь, Р.Е. Гершберг, Ю.С. Ефимов, В.И. Краснобабцев, Е.П. Павленко, П.П. Петров, И.С. Саванов, К.К. Чуваев, Н.И. Шаховская, Н.М. Шаховской, А.Г. Щербаков, а также коллеги из России, Финляндии, Чехии, Словакии и Болгарии.)

Перечисленные результаты не исчерпывают совокупность астрофизических данных, полученных за три десятилетия на ЗТШ. Не упомянуты исследования, не приведшие к каким-либо конкретным результатам, как и ряд неудавшихся инструментальных начинаний – все это естественные издержки астрофизического "производства". Следует также иметь в виду, что более 10 лет – до введения в строй 2-м телескопа в Шемахе, 2,6-м рефлектора в Бюракане и 6-м БТА в САО – ЗТШ был единственным крупным телескопом, на котором работали астрономы из разных астрономических учреждений нашей страны и стран социалистического содружества. И сейчас 10% времени ЗТШ выделяется для приезжих ученых. Учесть научные результаты, полученные визитерами на ЗТШ, не представляется возможным.

В сплошной лихорадке наших научных будней мы все реже обращаемся к удивительно глубоким и оригинальным исследованиям Григория Абрамовича Шайна. Все меньше остается счастливых, которые могут поделиться личными воспоминаниями об этом выдающемся человеке. Но каждую ясную ночь в крымском поселке Научном работает ЗТШ – действующий памятник Г.А. Шайну, несущий это светлое имя следующим поколениям исследователей Вселенной.

Я глубоко благодарен А.А. Боярчуку, В.П. Гринину, П.П. Добронравину, П.П. Петрову, С.И. Плачинде, В.И. Пронику, И.И. Проник, Т.М. Рачковской, И.С. Саванову, С.Г. Сергееву, К.К. Чуваеву, Н.М. Шаховскому и А.Г. Щербакову за помощь в подготовке этого сообщения.

Апрель. 1992 г.

ВОСПОМИНАНИЯ О ГРИГОРИИ АБРАМОВИЧЕ И ПЕЛАГЕЕ ФЕДОРОВНЕ ШАЙНАХ

Э.С. Бродская

В ноябре 1941 г. группа сотрудников Симеизского отделения Пулковской обсерватории во главе с академиком Григорием Абрамовичем Шайном прибыла в Абастуманскую астрофизическую обсерваторию в Грузии. Кроме Григория Абрамовича с женой Пелагеей Федоровной, в группе были Владимир Александрович Альбицкий с семьей и Вера Федоровна Газе, которая незадолго до этих событий вернулась из заключения и приехала из Пулкова в командировку с целью наблюдения звездных спектров на метровом рефлекторе. Они покинули Симеизскую обсерваторию в страшной спешке, поскольку отступление наших войск происходило катастрофически быстро, но успели захватить с собой самое ценное. Это спектрограммы, научная литература и другие материалы, необходимые для продолжения работы. Помню, какими измученными они приехали в Абастумани. До Батуми они эвакуировались морем, а Черное море уже подвергалось бомбардировке, дальше и на железной дороге были большие трудности в связи с мобилизацией армии и общим смятением. Из Крыма в Грузию путь оказался долгим и небезопасным.

Я приехала в Абастуманскую обсерваторию годом раньше из Ленинграда по окончании университета, и в эти трагические дни для нашей страны и для всех нас мне лично выпало большое счастье близко познакомиться и общаться с такими высокообразованными астрономами, людьми высоких моральных качеств и яркими индивидуальностями. Григорий Абрамович произвел на меня впечатление очень гуманного и доброжелательного человека. Он говорил тихим мягким голосом, стремился поздороваться первым при встрече с любым человеком. Мне казалось, что он знает о жизни то, что окружающим не приходит в голову.

Абастуманская обсерватория в то время находилась в стадии становления, не хватало жилья, служебных помещений и многого другого, но директор обсерватории Е.К. Харадзе, как хороший администратор и организатор, поделился с эвакуированными тем, что было в его распоряжении, и все кое-как разместились. Почти все местные сотрудники, за исключением Службы Солнца, и эвакуированные работали в одной, довольно большой комнате-лаборатории. Следует отметить, что появление симеизских сотрудников в Абастуманской обсерватории в это трудное время внесло значительное оживление как в научную жизнь, так и в атмосферу всей жизни.

В этой новой, стесненной обстановке симеизская группа под руководством Г.А. Шайна приступила к активному, упорному изучению спектров звезд по спектрограммам, полученным в Симеизе на 102-сантиметровом рефлекторе – крупнейшем телескопе того времени. За абастуманский период Г.А. Шайн провел большое и ценное исследование по определению изотопического состава холодных углеводородных звезд. В этой работе активное участие приняла В.Ф. Газе. Ей жилось тогда в бараке неуютно и холодно. Она ведь приехала в Симеиз на короткое время, налегке. Она на меня произвела сильное впечатление: высокообразованная, знавшая несколько иностранных языков, блестяще остроумная и вместе с тем какая-то неза-

щищенная. Ходить с ней в дальние прогулки для меня было праздником, она всю дорогу читала по памяти стихи русских и зарубежных поэтов. Память у нее была поразительная.

И еще в русскоязычную группу входили Никонов Владимир Борисович и его жена Елизавета Константиновна. Владимир Борисович принимал активное участие в организации Абастуманской обсерватории еще будучи сотрудником Астрономического института в Ленинграде и в обсерватории был своим человеком. Перед войной под руководством В.Б. Никонова был изготовлен электрофотометр и установлен на 33-см рефлекторе. С современной точки зрения электрофотометр был примитивным, но он был первым в Советском Союзе, и на нем много и с энтузиазмом работали всю войну и даже позже. Владимир Борисович был тогда веселым и жизнерадостным человеком, несмотря на полуголодное существование. Он был большим, добродушным шутником, организатором дальних походов по очень красивым местам в воскресные дни и, вообще, был, что называется, душой общества.

Помню, как жена Б.А. Альбицкого, Лидия Ильинична, рассказала мне, какой личной трагедией послужило для Григория Абрамовича избрание его в 1939 г. действительным членом Академии наук СССР. Он был потрясен, пришел в неистовое состояние, хотел отправить телеграмму в Академию наук с отказом от этого избрания, но жена и сотрудники умолили его не делать этого, так как за этим могло последовать бог знает что. Он очень остро переживал разгром коллектива Пулковской обсерватории в 1936–1937 годах и гибель нескольких талантливых астрономов. Именно это обстоятельство и приводило Григория Абрамовича в отчаяние. Телеграмму с отказом он не послал, но для себя игнорировал это избрание и ни устно, ни письменно слово "академик" не фигурировало в его жизни. Только когда победа наших войск в войне явно обозначилась, Григорий Абрамович начал осуществлять идею по созданию большой астрофизической обсерватории в Крыму и восстановлению Симеизской обсерватории – по этому поводу он писал и звонил по телефону из Абастумани в Академию наук и, помню, произнес: "Говорит академик Шайн, – и, улыбаясь, добавил, – иначе не будут слушать". И позже он возмущался бюрократической обстановкой в Академии и тем, что там чиновники считаются только с академиками.

В 1944 г. Крым был освобожден от немецких войск, Григорий Абрамович и сотрудники приехали в Симеиз, но ни жить, ни работать там было нельзя – обсерватория была разрушена, большой дом сгорел, оборудование и библиотека вывезены в Германию. Встала огромная задача восстановить Симеизскую обсерваторию и начать поиски подходящего места для строительства новой обсерватории. Интенсивно началось восстановление Симеизской обсерватории и жилых помещений. В строительстве принимали активное участие все сотрудники. Началось строительство новой астрофизической обсерватории, как тогда называли, в Мангуше. Счастливым обстоятельством для такого большого строительства в разрушенной войной стране послужило то, что в июле 1945 г. президентом Академии наук был избран Сергей Иванович Вавилов. Выдающийся физик, с широкими научными интересами, он глубоко и искренне интересовался астрофизикой и был дружески расположен к Г.А. Шайну. Они были знакомы еще по Пулкову, и трагедию Пулкова в 1937 г. он глубоко переживал. И, конечно, Сергей Иванович значительно облегчил Г.А. Шайну самый трудный период начала строительства обсерватории. Помню, как болезненно переживал Григорий Абрамович внезапную смерть С.И. Вавилова, 25 января 1951 г., из его квартиры доносился "Реквием" Моцарта.

Сразу после частичного восстановления обсерватории встала задача о новой тематике для обсерватории, так как для спектроскопических исследований не было соответствующих инструментов. Имея в своем распоряжении относительно небольшие телескопы, под руководством Г.А. Шайна его сотрудники начали исследования в новой тогда области астрофизики, связанной со свечением водорода, огромных

скоплений газа, называемых галактическими диффузными туманностями. За короткое время уже в 1950 г. был опубликован первый список эмиссионных туманностей, в 1951 г. – второй список. Было обнаружено около 200 новых туманностей. Самое активное участие в этих наблюдениях принимала В.Ф. Газе. Г.А. Шайн придавал исключительное значение наблюдениям. Он не позволял себе пропускать ни одного часа ясного неба без наблюдений и рекомендовал это молодым сотрудникам. Он считал, что в другую ночь будут другие космические условия и говорил: "В другую ночь будет другое небо". Известно, что всегда программы наблюдений Г.А. Шайна ставили задачу ответить на какой-нибудь вопрос, имеющий принципиальное значение для астрофизики данного времени, и полученные данные служили для теоретических обобщений.

В этот период им была составлена колоссальная программа наблюдений для исследования Млечного Пути с целью выявить связь эмиссионных туманностей с молодыми звездами, связь газа и темной материи, которая проявляет себя только в поглощении. В начале 50-х годов повысился интерес к вопросу об образовании звезд. Поиски молодых звезд по спектрам и фотометрические исследования их окружения могли пролить свет на эту проблему. И начиная с 1950 г. эта программа стала осуществляться молодыми сотрудниками Отдела звезд и туманностей, руководимого Г.А. Шайном. Спектральные снимки получались в новой обсерватории на двойном астрографе с объективной призмой, а фотометрические снимки были получены в Симеизе. За несколько лет значительная часть Млечного Пути была перекрыта, и отдельные участки подробно изучены. Но обобщающего исследования по этой программе сделано не было. После смерти Г.А. Шайна эта тема не получала поддержки со стороны администрации и через некоторое время была исключена из плана работы обсерватории.

С весны 1954 г. в нашем отделе наступило тяжелое время – смертельно заболела В.Ф. Газе. Григорий Абрамович часто летал в Ленинград, где лечили Веру Федоровну, несмотря на плохое собственное самочувствие. 3 октября 1954 г. Веры Федоровны не стало. Григорий Абрамович тяжело переживал потерю большого друга и главного помощника в работе. Но продолжал работать. И в сентябре 1955 г. сделал большой доклад "О магнитных полях в межзвездном пространстве и в диффузных туманностях" на открытии Крымской астрофизической обсерватории. Это был его последний доклад, после которого Шайны сразу уехали в Москву в связи с болезнью Пелагеи Федоровны, и при жизни Григорий Абрамович в Крым уже не вернулся. Шайны жили в санатории "Узкое", потом на своей даче в Абрамцево под Москвой. Частые поездки в Москву, постоянное нервное напряжение привели к инфаркту, и 4 августа 1956 г. Г.А. Шайн скончался, а 27 августа скончалась и Пелагея Федоровна.

Как человек, как личность, Г.А. Шайн оказывал большое влияние на всю жизнь обсерватории и даже на астрофизиков других учреждений. В его характере сочетались мягкость и решительность. Он заслуживал глубокое уважение постоянным стремлением к истине, отсутствием личных амбиций, бескорыстием и гражданским мужеством. Он оказывал материальную помощь семьям арестованных пулковских астрономов, хлопотал об освобождении из лагерей некоторых жен астрономов, принял на работу после освобождения О.М. Герасимович, Н.А. Козырева, В.Ф. Газе. И это во время волны повторных и новых арестов 1947–1949 годов, когда часто не принимали на работу людей, бывших в оккупации даже в подростковом возрасте.

Материальная сторона жизни мало интересовала Григория Абрамовича. Шайны жили очень скромно, все помыслы поглощала работа.

После кончины Григория Абрамовича Отделом физики туманностей несколько лет руководил Соломон Борисович Пикельнер. Он подготовил к печати последнее исследование Григория Абрамовича по магнитному полю Галактики, которое они обсуждали в Абрамцево, куда Соломон Борисович приезжал специально по приглашению Григория Абрамовича. За несколько месяцев Соломон Борисович написал для "Историко-астрономических исследований" очерк о Григории Абрамовиче, который был

опубликован уже в 1957 г. — лучшее, что написано до сих пор о Г.А. Шайне. В 1959 г. С.Б. Пикельнер уехал работать в Москву, и шайновский Отдел физики туманностей был слит с Отделом физики звезд.

Август 1992 г., Симеиз.

В.А. Гаген-Торн

Хочу сказать несколько слов, хотя я и не был в Крыму, когда здесь работал Григорий Абрамович. Но я много слышал о нем от разных людей и этими воспоминаниями хочу поделиться.

Во-первых, мне рассказывала о нем моя тетушка Нина Ивановна Гаген-Торн. Она была дважды репрессирована и, по-видимому, в заключении познакомилась и подружилась с Верой Федоровной Газе. Когда ее, наконец, окончательно выпустили (я тогда учился в 10-м классе), она некоторое время жила у нас в Ленинграде и рассказывала мне о Симеизе, куда ездила к Вере Федоровне. Благодаря этим рассказам я, может быть, и оказался на астрономическом отделении, хотя до этого собирался поступать на химический факультет. Большое впечатление на меня произвел рассказ об отношении Григория Абрамовича к несправедливо пострадавшим людям, о том, как он оберегал их, несмотря на то, что это было просто опасно. В частности, она рассказала, как он взял на работу в Симеиз Н.А. Козырева, только что выпущенного из лагерей.

Во-вторых, случилось так, что я отдыхал много раз в Алушке у людей, которые работали в Симеизе, когда там был директором Григорий Абрамович. Это шофер Иван Ефремович Чернышев и его жена Раиса Прохоровна. Иван Ефремович умер лет 15 назад, а Раиса Прохоровна здравствует. Они рассказывали мне, как проходила жизнь в Симеизе в первые послевоенные годы, о том, что все сотрудники жили, как одна большая семья. Григорий Абрамович очень любил детей, и их маленькая дочка всегда получала какой-нибудь подарок, когда Григорий Абрамович возвращался из командировок.

И третье, о чем я хотел бы сказать, — это о духе, который всегда царил в этой обсерватории со времен Григория Абрамовича. Я в молодости бывал иногда резковат в статьях, и вот одна из сотрудниц обсерватории, прочитав мою статью, заметила мне, что хотя мои критические замечания, может быть, и верны (а это так и было), но очень неудачны по форме. И вот Григорий Абрамович всегда говорил, что критика должна быть доброжелательной. Я это запомнил и стараюсь, по возможности, следовать этому совету.

Апрель. 1992 г.

Т.Б. Герасимович

Мое детство и юность были очень тесно связаны с семьей Г.А. Шайна. В 37-м году, когда пришло несчастье в нашу семью и меня малолетним ребенком привезли из Пулкова в Москву, меня взяли на воспитание родственники. И вот вскоре появился у нас в семье Григорий Абрамович Шайн, который совершенно открыто, никого не боясь и не стесняясь, ругал наше правительство, нашу партию, и мои родственники вначале боялись его. Они боялись, что это провокатор, потому что по тому времени это было очень страшно — так смело, открыто он все говорил. Но потом, конечно, они поняли, что это за человек. И Григорий Абрамович, и Пелагея Федоровна — их просто нельзя разделить, они всегда вместе — как бы взяли опеку надо мной. Пелагея Федоровна называла меня своей полудочкой. Они даже хотели вначале взять меня на воспитание. Но мои родные отказались. Но всю жизнь до конца своих дней они шефствовали надо мной.

В 1947 г. я в первый раз приехала в Крым. Вместе с ними ехала в поезде, потом в

машине. И вот Григорий Абрамович, зная, что я еще ни разу не видела моря — а мы ехали через Байдарские ворота, — все время говорил мне: "Вот сейчас нет-нет моря, и вот сейчас будет чудо. Вот ты проедешь ворота, выйдешь и увидишь море". И он заставил остановить машину, чтобы я вышла, и он следил за тем впечатлением, которое на меня произвело море.

Каждый год, кончив школу, я приглашалась к ним и жила все лето, все школьные каникулы, и потом, поступив уже в институт, я тоже проводила нередко лето в семье Шайнов.

И сколько раз я у них жила, я ни разу не слышала никакого, даже повышенного тона в их разговоре между собой. Пелагея Федоровна называла Григория Абрамовича дома "Гришуня", а вообще, все время называла его Григорием Абрамовичем. А Григорий Абрамович называл Пелагею Федоровну, даже за столом, "Пелагея Федоровна" и на "Вы".

Каждый год они давали мне пакет с деньгами. Я жила в семье моей тети, материальное положение родных было не очень хорошее. И каждый год они давали мне пакет перед школой, чтобы я могла купить себе форму, чтобы мне могли купить, например, зимнее пальто. Постоянно проявлялась эта забота.

Забота была в отношении моей матери, которая в 1947 г. после возвращения из лагеря была приглашена Григорием Абрамовичем на работу в Симеизскую обсерваторию. В 1947 г., когда мы туда приехали, там, в общем-то, жить было негде. У них были две маленькие комнатки. Большой дом, где находились библиотека и рабочие помещения, тогда еще был разрушен. Его пленные немцы как раз восстанавливали. А мы жили в маленьком домике, где, помимо семьи Шайнов, жили также Некрасовы, Монины, Никоновы. Поэтому ночевать мы ходили в разрушенную баню, там стояли четыре кровати — Пелагеи Федоровны, Григория Абрамовича, Инны, которую они взяли на воспитание, и моя.

А еще мне вспоминается история с машиной. Пелагея Федоровна захотела иметь машину. Но тогда купить ее было трудно. Они попросили меня записаться в Москве, и я встала в очередь и ходила отмечаться. Но однажды на переключке меня вместо "Т.Б." (Татьяна Борисовна) отметили, как "Т.Д.", не знаю, как это получилось, умышленно или нет. Потом, когда я пришла в следующий раз, меня из очереди вышвырнули. И вот тогда Григорий Абрамович в очередной приезд в Москву пошел со мной в комиссию. Во главе этой комиссии был какой-то грозный генерал, и он принял Григория Абрамовича. Пришли мы как бедные родственники. Григорий Абрамович просил, говорил, что это недоразумение, но его не стали слушать и из очереди нас так и исключили.

Летом 1955 г. Пелагея Федоровна стала чувствовать боли в пояснице, и к осени они приехали в Москву. В декабре я приехала к ним в Узкое, где они тогда жили, и Григорий Абрамович тогда сказал мне, что, по словам врачей, Пелагее Федоровне осталось жить буквально три-четыре недели. Он очень переживал тогда и, когда говорил, плакал. А летом 1956 г. я вдруг получила телеграмму. Я знала, что с Григорием Абрамовичем было плохо, у него случился инфаркт. И Пелагея Федоровна телеграфировала мне, чтобы я привезла дарственную на дачу. Эта дача была подарена академику Шайну, и дарственная была за подписью Сталина. Она хранилась у нас. И вот срочно нужно было привезти ее, что-то нужно было оформлять, наверно, наследство. И я после этого, видя такое состояние Григория Абрамовича, каждый день ездила к нему. С утра я приезжала, а вечером из Абрамцево ехала обратно. В последний день, в субботу, помню, я вошла в комнату, где он лежал, — он меня не узнал. Он лежал и все время говорил: "Эта чашка большая. Эта чашка большая. Эта чашка большая..." У меня до сих пор эти его слова в ушах. А утром, в воскресенье, когда я приехала, он уже скончался.

Апрель. 1992 г.

О Григории Абрамовиче Шайне как ученом написано достаточно много. Мой взгляд как бы со стороны, хотя я у него проработала с 1950 г. несколько лет секретарем.

Канцелярия вместе с другими административно-хозяйственными службами находилась на первом этаже, а его кабинет на третьем, в маленькой комнатке. Проходить к нему в кабинет надо было через улицу и лабораторию – "палату лордов", как ее называли между собой сотрудники. Кабинет директора с канцелярией связывал телефон-вертушка, похожий на военный полевой телефон, по которому нужно было звонить, покрутив ручку. По этому телефону мы, обсерватория, были связаны с Симеизом.

Григорий Абрамович был первым академиком, с которым мне пришлось работать. Поэтому легко представить, какими глазами и с каким трепетом я смотрела на этого человека. Каждый, кто имел случай быть в более близком соприкосновении с деятельностью Григория Абрамовича, невольно поражался исключительным силе воли и энергии этого человека.

Он был небольшого роста, в больших очках с толстыми стеклами – от этого его зрачки были всегда большими, – седой, бледный. Мне казалось, что он очень брезглив. На самом деле он был очень болен и оберегал себя от всяких вирусных заболеваний, поэтому он всегда брался за ручку двери не просто рукой, а через рукав костюма. По моему мнению, он был не очень открытым, общительным человеком, хотя все говорили, что он доступен был почти каждому. Я никогда не слышала его говорящим громким голосом. Он всегда говорил тихо, часто покашливая. Казалось, что он извинялся, что ему пришлось побеспокоить Вас, обращаясь с просьбой. И если он был недоволен Вами, то в большинстве случаев он ругал себя: "Черт бы побрал меня, зачем я просил Вас это сделать..."

Конечно, у других о Г.А. были свои представления, и те, кто общался с ним более тесно, говорили, что он очень добр и внимателен. Никакие препятствия и неудачи не могли сломить его волю и настойчивость, наоборот, Г.А. становился тем настойчивее и сильнее, чем больше затруднений жизнь ставила на его пути. Это был человек большого мужества и долга. Несмотря на внешнюю, казалось бы, слабость, он много помогал ученым, которые были репрессированы в 30-е годы и прошли через тюрьмы и лагеря, и членам их семей.

В то суровое время он помогал морально и материально О.М. Герасимович, жене директора Пулковской обсерватории, В.Ф. Газе, Н.В. Козыреву, Е.Ф. Шапошниковой и многим другим. Те, кто жили в то время в Симеизе, знают, как трудно было прописаться на ЮБК, надо было отстаивать право на проживание каждого человека, и Г.А. это удавалось. Я даже не могу представить, как он мог прописать В.Ф. Газе, которая работала вместе с ним многие годы. В Симеизе, на Кошке, нельзя было прописать Е.Ф. Шапошникову, О.М. Герасимович. Они жили и работали в Научном. Е.Ф. Шапошникова наблюдала на коронографе, а О.М. Герасимович впоследствии была заведующей библиотекой. А Н.А. Козырев мог приезжать в командировку только в Научный, и хотя был нашим научным сотрудником, но проживал в Ленинграде. В Симеиз он почти всегда из п. Научного приходил пешком, где его встречали тепло и внимательно. А.Б. Нумерова – дочь первого директора ИТА АН СССР – была аспиранткой Г.А. Шайна. У Григория Абрамовича были тесные, теплые отношения с С.И. Вавиловым, брат которого сидел в тюрьме. По-видимому, этот список можно продолжить.

Г.А. Шайн был очень скромен. Он никогда не носил свои награды. Только приходя с просьбами в областные организации, он надевал награды, ордена Ленина, везя их в коробочке до самой проходной. Так было, когда он приезжал в обком ВКП (б) и другие областные организации. Он часто приезжал в Научный, проверял строительство объектов, беседовал со строителями.

Г.А. чрезвычайно бережно относился к природе, животным. Во время строительства в п. Научном домов, башен он оберегал и пытался отстаивать каждое дерево, каждый кустик. Так, он отстоял во дворике гостиницы дикую грушу, которая стояла там до последнего времени. Также он любил цветы, сорванные в букеты, а любовался ими на природе. Он издавал приказы по защите животных. В Симеизе было много диких кошек, и, когда их обижали мальчишки, он наказывал родителей, сотрудников.

Связь Симеиза с Научным осуществлялась только своими машинами. А легковых машин у обсерватории не было. Первая легковая была "эмка", которая часто не работала, и сотрудникам приходилось ездить на полуторке. Этой машиной пользовался и Г.А. Собираясь в дорогу, он всегда предлагал место в кабине женщинам, и иногда приходилось его заставлять занять это место.

У Григория Абрамовича был огромный научный авторитет. Он вел большую научную переписку с зарубежными учеными, которые его часто навещали. В то время это было большим событием.

Было и большое активное общение в Симеизе: академик В.В. Шулейкин (ЧОМГИ), сотрудники ФИАН (на Кошке), Крымский пединститут, врачи и другая местная интеллигенция. Мне кажется, что благодаря таким тесным связям сейчас мы имеем научный поселок Кацивели. На Кошке его часто навещали академики Н.Н. Семенов, В.А. Амбарцумян и другие.

Г.А. Шайн был очень требователен к себе, к напечатанному слову, научному выводу, поэтому мне часто приходилось перепечатывать его статьи по несколько раз. Григорий Абрамович всецело был предан науке, думая о ее будущем. Он знал, как трудно заниматься в России наукой. Поэтому в своем завещании оставил около 100 тыс. рублей в помощь молодым талантливым ученым. Дом, который он строил для себя, он также завещал престарелым ученым.

Скончался Григорий Абрамович неожиданно в Москве в 1956 г., находясь в Абрамцево и ухаживая за тяжело больной Пелагеей Федоровной. Примерно через месяц скончалась и она. Похоронены они оба в Симеизе на Лименском кладбище.

Апрель-май. 1992 г.

И.М. Гордон

Моральные качества выдающейся личности имеют, возможно, большее значение для данного поколения и всего характера истории, чем чисто интеллектуальные достижения. Последние зависят от влияния характера в значительно большей степени, чем это обычно принято считать.

А. Эйнштейн

Эти мысли, высказанные в некрологе, посвященном памяти М. Кюри, принадлежат человеку, могучий интеллект которого не только преобразил представления человечества о природе пространства, времени и строении Вселенной, но и существенно преобразовал другие разделы физики. И вот этот великий мыслитель утверждает, что моральные качества ученого, возможно, важнее его интеллектуальных достижений.

Эти слова всегда вспоминаются мне, когда я думаю об академике Григории Абрамовиче Шайне.

Мое общение с Шайном было непродолжительным – с 1953 г. до его смерти в 1956 г. Вместе с тем оно было очень интенсивным. Так, за это время Г.А. Шайн представил к опубликованию пять моих работ в Докладах АН СССР, в то время одним из наиболее престижных научных изданий. Принимая во внимание щепетильную взыскательность Г.А. Шайна в научных вопросах, это может в какой-

то мере характеризовать его отношение к моим работам. Мы с Г.А. (как мы его обычно между собой называли) регулярно переписывались, и я живо вспоминаю то чувство ожидания и радости, которое мне приносило каждое его письмо.

В день похорон Г.А. Шайна вечером собрались: С.Б. Пикельнер, О.Н. Митропольская, И.С. Шкловский, я и брат Григория Абрамовича Александр Абрамович. Его брат рассказал, что еще мальчиком Г.А. увлекался наблюдениями звездного неба и нередко утром приходилось его будить на крыше, где он вел наблюдения. В первую мировую войну Г.А. Шайн добровольцем пошел на фронт. Через год он был контужен и возвратился домой. Бессмысленность этой кровавой бойни, уносившей жизни и оставлявшей калекami лучшую часть молодежи воюющих сторон, настолько потрясла его, что в течение длительного времени он не произносил ни слова, замкнувшись в себе. Как-то брат его спросил: "Гриша, ты же мухи не обидишь, как ты пошел на эту бойню?" Г.А. ответил: "Я не мог оставаться в стороне, когда люди так страдают". О его поистине религиозном отношении ко всем формам жизни свидетельствует такой случай. В экспедиции по выбору места для наблюдения солнечного затмения в палатку, занимаемую Г.А. Шайном и А.Б. Северным, заполз скорпион. Г.А. острожно взял его и выпустил в степь.

Характер у Григория Абрамовича был сдержанный, доброжелательный; поэтому у него не было врагов. Но между директором Пулковской обсерватории Б.П. Герасимовичем — человеком необычайно общительным и талантливым — и Г.А. возникло некоторое чувство отчужденности. В годы террора в Ленинграде в числе прочих был репрессирован и Б.П. Герасимович. Никто из его многочисленных друзей не предпринял никаких попыток выволить его из лап НКВД. Причину этого легко понять — шансов на успех не было, а заступников могла постигнуть та же участь. И только Г.А. Шайн неоднократно ходил в это страшное место, добиваясь его освобождения. Чуда не произошло, Б.П. Герасимовича не освободили, и он вскоре в заключении умер от туберкулеза. А Г.А. регулярно приглашал в Симеиз его вдову и дочь отдыхать у него летом. Как только это оказалось возможным, он принял на работу его вдову О.М. Герасимович в качестве библиотекаря, и этот необыкновенно милый и образованный человек снова попала в знакомую для нее среду культурного общения и научных интересов.

В те же страшные годы в Ленинграде был репрессирован молодой, талантливый ученый-астроном Н.А. Козырев. Когда, после длительного заключения, он был освобожден в 1947 г., Г.А. Шайн взял его на работу и приложил большие усилия для того, чтобы Н.А. Козыреву присудили премию имени Бредихина.

О необычайной скромности Г.А. свидетельствует такой факт. Когда М.В. Келдыш, который высоко ценил и глубоко уважал Г.А. Шайна, пожелал торжественно отметить его шестидесятилетие, Г.А. отказался, сказав, что не может позволить себе такой пустой траты времени. Полученную им Сталинскую премию I степени (200 тыс. руб.) он не тратил, говоря, что это слишком много для человека. Значительную сумму денег он истратил на строительство за свой счет дома в обсерватории, чтобы после его смерти выходящие на пенсию ученые могли жить в нем, не завися от произвола администрации. Такой дом был построен в п. Научном, но пожить в нем он не успел.

Ранней весной 1955 г. Г.А. Шайн пригласил меня поработать месяц у него в обсерватории. Приехав в Симеиз, я его не застал — он был на съезде ВАГО в Ленинграде. Через три дня он возвратился в обсерваторию и сразу же провел семинар, на котором рассказал о представленных на съезде докладах. Наибольшее внимание привлекли доклады академика В.Г. Фесенкова и чл.-корр. АН СССР Г.А. Тихова, проходившие под рубрикой "Борьба против идеализма в астрономии". Г.А. Тихов утверждал, что сезонные изменения на Марсе неопровержимо доказывают наличие на нем жизни. По этому поводу он даже создал новую науку — "астроботанику". Отрицавших наличие жизни на Марсе он считал идеалистами. Академик В.Г. Фесенков отрицал наличие жизни на Марсе, а придерживающихся противоположных

взглядов также считал идеалистами. Рассказывая об этом, Г.А. Шайн сказал, что он "не видит существенной разницы между взглядами Фесенкова и Тихова, так как они считают, что на Солнце жизни нет. Оба также согласны в том, что на Земле она есть. Они, правда, расходятся в вопросе о том, есть ли жизнь на Марсе. Но какое это имеет отношение к идеализму и материализму, я никак не могу понять". Сейчас это кажется просто остроумной шуткой, но тогда, менее чем через 2 года после смерти Сталина, когда "философия" была сокрушительной дубинкой в руках невежественных "марксистских философов", это откровенное издевательство над такого рода "дискуссиями" требовало немало гражданского мужества.

Во время работы в обсерватории почти каждый день я имел возможность беседовать с Г.А., обсуждая различные вопросы, как связанные с моей работой, так и другие, интересовавшие Г.А. Иногда он приглашал меня обедать. А вообще, вся братия, жившая в Симеизе на холостяцком положении – командированные, студенты, практиканты и прочие, – во время перерыва дружной толпой отправлялись к хозяйке, дававшей нам обеды. У Шайнов все поражало аскетической простотой. Минимум необходимой мебели, обеды, мало чем отличавшиеся от тех, которые нам давала хозяйка. Зато необычайно интересными были его рассказы о себе, о прошлом. Однако я ни разу не слышал от него столь обычных разговоров о состоянии здоровья, лекарствах, врачах. Один из таких рассказов запомнился мне особенно ярко.

По окончании войны или незадолго до ее окончания Г.А. приехал в Симеиз. Обсерватория представляла собой зрелище поистине ужасающее. Обожженная коробка, в которой остались только стены. Г.А. был наблюдателем, а никаких инструментов там не оставалось. Изготовленный в Англии метровый рефлектор был вывезен немцами и выброшен по дороге в Германию в совершенно непригодном состоянии. В Ленинграде у Г.А. был хороший приятель – адмирал. Узнав о положении, в котором оказался Г.А., он предложил ему посмотреть трофейную оптику – не найдется ли там чего-либо подходящего для использования в астрономии. Г.А. обратил внимание на большую трубу для аэрофотосъемки и подумал: "Что-нибудь мы из нее сделаем". Именно эта трофейная труба была использована для сооружения светосильной камеры, с помощью которой были проведены его последние выдающиеся исследования. Поражает, что в США, несмотря на наличие значительно более совершенных инструментов и лучшие в мире фотоматериалы фирмы "Кодак", великолепная волоконистая система S 147 в Возничем ускользнула от внимания американских астрономов, тогда как Г.А. на импровизированной камере с помощью значительно худших фотоматериалов английской фирмы "Ильфорт" сумел обнаружить ее. Кстати, рассказывая эту историю, Г.А. пошутил, сказав, что астрономы всего мира пользуются фотоматериалами фирмы "Кодак", мы – фирмы "Ильфорт", а китайцы пользуются нашими фотоматериалами. Своеобразная табель о рангах! В то же время он передал мне полученные им превосходные спектрограммы Новой Геркулеса 1934. К сожалению, использовать мне их не удалось, и позднее я передал их Э.Р. Мустелю.

Месяц работы в обсерватории подошел к концу, и перед отъездом Г.А. пригласил меня к себе. Здоровье у него было плохое, и он знал, что отмеренный ему срок невелик, поэтому часто размышлял о смерти. Когда вечером я пришел к нему, в кабинете играла музыка – "Реквием" Верди. Угадывая настроение Г.А., я сказал, что корректное разрешение проблемы смерти для человеческого сознания, по-видимому, возможно только в рамках религии, и по его реакции я понял, что именно так думал он. Был ли Г.А. религиозен? В обычном смысле слова – нет. Персонифицированный бог, религиозная обрядовость – все это было чуждо ему. Но мне кажется, что он был религиозным в том смысле, который в это слово вкладывали Спиноза и Эйнштейн. Он считал, что природа столь разумно устроена, что это не может быть "самоорганизацией хаоса". Возможно, именно этим объяснялось его скептическое отношение к дарвинизму как универсальной теории эволюции жизни.

В течение ряда лет ближайшим сотрудником Г.А. была Вера Федоровна Газе.

Будучи первоклассным астрономом, активным участником всех важнейших работ Шайна, она была также высокоинтеллигентным человеком. Специально, для того чтобы прочитать "Божественную комедию" Данте в оригинале, она изучила итальянский язык. Ее безвременная кончина от той же неизлечимой болезни, от которой позднее погибла П.Ф. Шайн, была для Г.А. невозможной потерей.

Ближайшим сотрудником Г.А. Шайна был также Соломон Борисович Пикельнер. Человек необычайного таланта и человеческих качеств, С.Б. Пикельнер начал свою работу в астрономии с теоретических исследований физики Солнца, где им был получен ряд основополагающих результатов. Нет необходимости останавливаться на замечательных теоретических результатах, полученных им в исследованиях межзвездной среды. Монография "Межзвездная среда", а затем вышедшая под его редакцией и по его инициативе монография "Происхождение и эволюция галактик и звезд" включают в себе большое число его оригинальных результатов. Вторая монография является единственной в своем роде во всей мировой астрономической литературе. С.Б. Пикельнеру удалось собрать высококвалифицированный коллектив из 11 авторов, что уже само по себе заслуживает высокого признания.

В связи с "моральным климатом" в отделе Г.А. Шайна вспоминается такая история. Недалеко от обсерватории в бывшем татарском селе Лимены (ныне Голубой залив) жила пожилая и очень одинокая женщина Прасковья Георгиевна Пархоменко. Она была квалифицированным астрономом; ее статья, посвященная исследованиям атмосферы Солнца, в 1940 г. была опубликована в журнале "Astronomische Nachrichten". Во время оккупации она не эвакуировалась, так как не имела ни родственников, ни близких, и в ее возрасте это было совершенно невозможно. После войны ее на работу не брали, и она поселилась в одном из татарских домиков без воды, канализации и отопления. Жила она только на пенсию, которая в то время была чрезвычайно маленькой. Но ежедневно, как на работу, ровно в 9 ч утра она приходила в читальный зал обсерватории, где у нее было свое постоянное место. В это время ее интересовали ядерные процессы в недрах звезд. При ее слабой подготовке в этой области трудно было ожидать от этой работы каких-либо результатов. С.Б. Пикельнер в то время очень много работал: он писал две книги и проводил интенсивные исследования физических процессов на Солнце и в межзвездной среде. Вместе с тем он выделял время для длительных консультаций П.Г. Пархоменко. Как-то я его спросил, почему он тратит столько времени на совершенно бесперспективные занятия с ней. Он ответил: "А Вы представляете ее радость, если ей удастся напечатать статью? Ведь это будет оправданием всей ее жизни".

Уезжая из Симеиза, я не подозревал, что в обсерватории я видел Г.А. Шайна в последний раз. После этого я видел его в Москве весной 1956 г. Он жил в гостинице "Москва", где мы посетили его с С.Б. Пикельнером. Он был очень переутомлен и раздражен делами в Астросовете АН СССР. Его очень угнетало состояние П.Ф. Шайн, но ни об этом, ни о своем состоянии здоровья он никогда не говорил. Вообще, переезд в Москву сыграл в его жизни трагическую роль. Лечение П.Ф. Шайн было практически невозможно – ее болезнь была неизлечима, но он все же решил привезти ее в Москву. Жизнь в гостинице, нерегулярное питание, большое количество различных дел по линии Астросовета – все это полностью сломало стереотип его жизни в Крыму, где Г.А. Шайн вел необычайно размеренный образ жизни. Я вспоминаю, как, пригласив меня и обнаружив, что обед запаздывает на 10 минут, он бегал по комнате и повторял: "Вот, черт возьми, вот черт возьми". В устах Григория Абрамовича эти слова звучали необычайно комично. Этот стереотип – любимая размеренная работа, неукоснительно соблюдавшийся режим – и поддерживал его, хотя он был очень больным человеком.

Летом 1956 г. я с семьей отдыхал в Крыму, в Рыбачьем. Наш друг, математик В.А. Марченко, приехав из Алушты, сказал, что он привез грустную новость – в руках одного из пассажиров он увидел газету с некрологом, посвященным памяти

Г.А. Шайна. Мне не было известно, где состоятся похороны, но в эти дни хотелось быть в Симеизе. В те времена добраться из Рыбачьего до Алушты было не просто — шоссе Алушта—Феодосия только строилось, катера ходили нерегулярно — поэтому до Алушты пришлось идти по самому берегу, преодолевая непроходимые места вплавь. Когда я приехал в Симеиз, гроб с телом Г.А. Шайна стоял на столе в читальном зале. Звучала музыка "Реквием" Верди. Похороны состоялись, если не ошибаюсь, на следующий день. Для его могилы было выбрано место поразительной красоты на кладбище бывшего татарского села Лимены. С этого места открывался вид на пустынное море залива, слева — гора Кошка, справа — Качивели. Над могилой стоял высокий кипарис.

Выступая на гражданской панихиде, которая состоялась перед входом в Симеизскую обсерваторию, я отметил одно его замечательное качество. Г.А. Шайн как ученый сформировался до революции в астрономии, связанной с развитием исследований в радио и рентгеновском диапазонах. Вместе с тем он был необычайно отзывчив к новым идеям и чувствовал актуальную необходимость специальных исследований, связанных с развитием этих новых областей астрономии. Здесь, конечно, нельзя переоценить огромную роль плодотворного сотрудничества с С.Б. Пикельнером. Однако основная причина заключалась в том, что, непрерывно размышляя о нерешенных проблемах астрономии, остро чувствуя их, он не останавливался перед радикальными методами их решения.

В качестве примера хотелось бы рассказать об участии Г.А. Шайна в исследованиях поляризации Крабовидной туманности. После того как была высказана гипотеза о том, что непрерывное оптическое излучение Крабовидной туманности обусловлено синхротронным излучением релятивистских электронов, нами было указано, что это излучение должно быть поляризовано. Для обнаружения поляризации требовался достаточно регулярный характер магнитного поля. Возражая мне, И.С. Шкловский заметил: "Учитывая, что магнитное поле в области остатков сверхновых крайне неоднородно, а отдельные облака однородности имеют размер порядка 10^{16} см, вообще трудно ожидать появления такого эффекта, так как будет происходить статистическое усреднение поляризации" (Труды 3-го совещания по вопросам космогонии. М.: Наука, 1954. С. 254). Это утверждение основывалось на весьма распространенной в то время гипотезе Бэчелора о происхождении магнитных полей в космосе за счет усиления слабого затравочного поля излучением горячих звезд, которое, турбулизуя космическую плазму, закручивает в нее магнитные силовые линии и увеличивает напряженность поля. Но перед моими глазами стояло изображение туманности. Сложная волокнистая структура являлась основной ее особенностью. Эта структура, несомненно, была бы размыта, если бы турбулентное движение плазмы увлекало силовые линии магнитного поля. Сохранение такой структуры давало основание для обратного предположения — магнитное поле контролирует движения плазмы и имеет достаточно регулярный характер. Г.А. сразу же согласился с тем, что волокнистая структура свидетельствует о достаточно регулярном характере магнитного поля.

Этот вопрос он хотел решить, используя фотографическую методику, которая могла дать детальное распределение поляризации в Крабовидной туманности. Первая работа такого рода была выполнена Г.А. Шайном, С.Б. Пикельнером и Р.Н. Ихсановым. Поляроид необычайно высокого качества Г.А. Шайн специально для этой цели привез из Бельгии, где незадолго до того был в командировке. Наблюдения велись на двойном 40-сантиметровом рефракторе с фокусным расстоянием 1600 мм. Вспоминаю, как Г.А., рассказывая о своей поездке в Бельгию, сказал: "Вы, небось, думаете, что поездка в Европу — большое счастье. Но, когда мы летели в самолете Люфтвагзы в воздушном коридоре над ГДР, нас непрерывно на опасно близком расстоянии облетали советские истребители. В это время наше состояние было весьма далеко от комфортного."

В то время разрешающая сила радиотелескопов была очень низкой, и поэтому, казалось бы, исследовать поляризацию радиоизлучения Крабовидной туманности было делом безнадежным. Однако наличие преимущественного направления поляризации в оптическом спектре позволяло надеяться на обнаружение поляризации в интегральном радиоизлучении туманности. Этот вопрос мы подробно обсуждали с Г.А. Шайном, и он очень помог организации экспериментов В.В. Виткевича в Кадивели.

Фундаментальное значение имели исследования Г.А. Шайна диффузных туманностей и их связи с магнитным полем Галактики. Они привели к открытию регулярного характера магнитного поля в галактических рукавах, что позволило отбросить добрую половину теорий генерирования космических магнитных полей. Когда развернулась дискуссия В.А. Амбарцумяна со всеми остальными астрономами мира, в которой В.А. утверждал, что горячие звезды образуются из весьма плотных Д-тел, С.Б. Пикельнер заметил, что звездообразование локализовано в рукавах Галактики, а единственные силы, которые там действуют, — это гравитация и магнитное поле; ни одна из этих сил не может длительное время локализовать Д-тела в рукавах Галактики; магнитное поле может удерживать только разреженную плазму, следовательно, звезды образуются за счет конденсации разреженного газа.

Большим ударом для Григория Абрамовича было то, что его не пустили на очередной съезд МАС в Англию. Он, очевидно, сознавал, что это для него, вероятно, последняя возможность встретиться с крупными зарубежными учеными, поделиться своими результатами, ознакомиться из первых рук с новыми идеями и планами крупнейших астрономов мира, к числу которых он принадлежал. По совершенно необъяснимым причинам в этом ему было отказано. Надо полагать, что знакомство с его делом могло бы пролить свет на столь необъяснимый произвол "компетентных органов".

Смерть Г.А. Шайна для всех, имевших счастье работать или общаться с ним, была невосполнимой утратой. Его уход оставил такую брешь, что все стало как бы ниже — исчез эталон и непоправимо снизились моральные стандарты в нашей науке, и его место осталось незаполненным.

Апрель—июнь. 1992 г.

Н.П. Грушинский

Мне пришлось встретиться с Григорием Абрамовичем совершенно случайно в несколько необычной обстановке.

1934 год. Лето. Студентов 1-го курса МГУ уже перевели на 2-й и распределили по специальностям. Я выбрал астрономию. А так как у меня еще с давних времен была страсть к путешествиям, то я решил в этом году отправиться путешествовать в Крым — пешком, один.

И вот с рюкзаком я пошел по Крыму. В Севастополе я сел на автобус и проехал примерно до перевала, а оттуда пошел уже пешком. И вот по дороге — Симеизская обсерватория. Ну, естественно, я как студент-астроном в Симеизскую обсерваторию должен был зайти.

Я зашел туда, представился. Григорий Абрамович меня встретил и пригласил к себе домой, накормил обедом. Вечером он сказал: "Вы как будущий астроном не хотите ли понаблюдать?" — "Конечно хочу!" Представляете себе, мальчишке предложить такое дело, да еще такому, который хочет стать астрономом! И вот он меня взял с собой к телескопу, и мы с ним вместе наблюдали. Что мы наблюдали, я уже не помню. Но, во всяком случае, он подводил меня к окуляру, показывал и объяснял, а сам вел наблюдения.

Во всяком случае, ночь была совершенно очаровательная. Крымская ночь, звездное небо, телескоп... мечта! И Григорий Абрамович в качестве руководителя такой маленькой "практики".

Ближе к рассвету он опять пригласил меня к себе. Я у него переночевал. Утром он накормил меня очень хорошо, и мы с ним распрощались. И я пошел дальше путешествовать по Крыму.

Вот такая любопытная встреча была у меня с Григорием Абрамовичем, которая оставила на всю жизнь очень приятное впечатление о нем как о человеке.

Апрель. 1992 г.

П.П. Добронравин

Моя первая встреча с Григорием Абрамовичем была 62 года тому назад, в 1930 г. Потом были мимолетные встречи в 1931 и в 1933 гг. во время моих посещений Симеизской обсерватории на короткое время. Более тесные отношения у нас установились начиная с 1936 г., когда, вплоть до 1940 г., я ежегодно приезжал на 2–4 месяца в Симеиз: частично работал с Григорием Абрамовичем, по возможности помогал ему и учился у него отношению к работе.

В те годы в Симеизской обсерватории был очень дружный коллектив. Каждый вечер после рабочего дня собирались Григорий Абрамович, Пелагея Федоровна, Григорий Николаевич Неуймин и кое-кто из приезжих. Обстановка была такой, что вскоре я стал говорить, что чувствую себя симеизцем в Пулкове, а не пулковцем в Симеизе, что соответствовало моему формальному служебному положению.

Григорий Абрамович очень тяжело переживал нелегкий во всех отношениях период после 1936 г.: аресты людей, которые были близки ему, и затем надвигающаяся война. Я хорошо помню один вечер осенью 1939 г. Обстановка была очень напряженной, дни полны тревоги. И вот вечером мы сидели у радиоприемника и пытались уловить побольше сообщений. Наша информация была очень урезанной, и мы слушали болгарские передачи, где события освещались полнее. В эти дни в мире очень много говорилось о возможной войне между СССР и Эстонией. Эти страшные новости Григорий Абрамович переживал очень болезненно, он знал войну по своему пребыванию на фронте в 1914 г.

Наступил 1941 г., война пришла и к нам. Сотрудники обсерватории были вынуждены спешно эвакуироваться, и моя связь с Григорием Абрамовичем на некоторое время прервалась. Для меня последовало пребывание в Ташкенте и Алма-Ате, призыв в армию, Ленинградский фронт, ранение, военный госпиталь в Ленинграде. Связь с Григорием Абрамовичем удалось восстановить, и я помню те теплые письма, которые получал от него, находясь в госпитале.

В апреле 1944 г. Симеиз был освобожден. Я получил от Григория Абрамовича сообщение о том, что обсерватория полностью разрушена, телескопы вывезены. Вскоре по выходе из госпиталя я был уволен из армии после ходатайства об этом Григория Абрамовича в Наркомат Обороны.

Григорий Абрамович в то время находился в Москве, где работал над подготовкой преобразования Симеизского отделения Пулковской обсерватории в самостоятельное научное учреждение, вопрос о чем давно уже назрел. Он предложил мне приехать в Москву для того, чтобы помогать ему в оформлении превращения Пулковского отделения в Крымскую астрофизическую обсерваторию АН СССР, фактически – в создании новой обсерватории с новым, современным оборудованием. Так, в течение 4 месяцев я был вместе с ним в Москве, стараясь, насколько хватало моих сил и умения, помочь ему в этом трудном деле. Хотя формального решения правительства о преобразовании обсерватории еще не было, Григорию Абрамовичу для пользы дела приходилось порой в разных инстанциях выступать как директору Крымской обсерватории.

Вскоре после моего возвращения в Ленинград Григорий Абрамович предложил мне приехать в Симеиз для помощи там. Я своими глазами увидел, во что превратилась обсерватория и сколько труда придется положить для ее возрождения и для создания новой обсерватории. Но пробыть в Симеизе мне пришлось недолго: последовало

распоряжение президиума АН СССР выехать в Германию для поисков вывезенного оккупантами оборудования. Выехали Андрей Борисович Северный и я в мае 1945 г. Симеизское оборудование было найдено достаточно быстро, но наше сообщение принесло Григорию Абрамовичу вместо ожидаемого облегчения новое горе: все было превращено в металлический лом. Это вызвало правительственное распоряжение о репарационном изъятии телескопов немецких обсерваторий в качестве компенсации за разрушенное оккупантами в Пулкове и Симеизе.

Особо остро стал вопрос о заказе за рубежом крупных телескопов и необходимого оборудования, поскольку у отечественной промышленности не было необходимого опыта. По инициативе Григория Абрамовича президиум АН СССР возбудил ходатайство об этом перед правительством. Соответствующее решение было принято в июне 1945 г. с одновременным решением об оформлении Крымской астрофизической обсерватории АН СССР.

Осенью 1946 г. Григорий Абрамович вместе с Пелагеей Федоровной, Андреем Борисовичем Северным, Владимиром Борисовичем Никоновым и Георгием Александровичем Мониным вылетели в США. В течение нескольких месяцев пребывания там им удалось заказать некоторое лабораторное оборудование и выяснить возможность заключения договора на изготовление большого телескопа. С этой же целью Г.А. и П.Ф. Шайны вылетели потом из США в Англию, откуда вернулись летом 1947 г. Дело, вроде, начинало налаживаться. Но последовала памятная речь Черчила в Фултон, началась холодная война, сделанные в США заказы были аннулированы, о договоре на заказ телескопа нечего было и мечтать...

У Григория Абрамовича не опустились руки. Через президиум АН СССР он поднял перед правительством вопрос об изготовлении большого телескопа силами отечественной оптико-механической промышленности, несмотря на отсутствие у нее опыта строительства крупных телескопов. Вскоре было принято соответствующее решение, и работа поручена Ленинградскому оптико-механическому объединению (ЛОМО). За это дело взялся ныне покойный инженер-конструктор Баграт Константинович Иоаннисиани. Надо отметить, что большую помощь в осуществлении строительства 2,6-метрового телескопа оказывал также ныне покойный Д.Ф. Устинов.

Телескоп был построен за короткий для этого срок и принят государственной комиссией в последние дни 1961 г.

Но мало создать телескоп, необходимо было построить и новую обсерваторию. Предвидя трудности этого дела, Григорий Абрамович добился создания специальной строительной организации – Крымакадемстроя, построившей поселок Научный. Тут надо отметить заслуги покойного Антона Григорьевича Перегуды, вложившего в дело много сил и умения.

Формальное открытие Крымской астрофизической обсерватории состоялось в 1955 г. В поселке Научном уже были установлены некоторые телескопы, а главный – 2,6-метровый рефлектор – был готов в 1960 г. и официально принят, как уже сказано, в 1961 г. Но Григорий Абрамович не дождал до осуществления своей мечты о большом телескопе. Его болезнь, начавшаяся еще в 30-е годы, постепенно усиливалась; заболела и Пелагея Федоровна. Пришлось переехать на лечение в Москву, где он скончался 4 августа 1956 г. Пелагея Федоровна пережила его только на 3 недели.

Сейчас 2,6-метровый телескоп носит имя Г.А. Шайна – идейного инициатора его создания.

Теперь после "хронологических воспоминаний" я позволю себе перейти к описанию отдельных эпизодов, характеризующих Григория Абрамовича как человека и как ученого, и стиля его работы.

Скромный и непритязательный в жизни, Григорий Абрамович обладал твердым и независимым характером, который сформировался еще в юности. В связи с этим хочу рассказать об одном эпизоде его жизни, который почти никому из астрономов не известен.

Когда после кончины Григория Абрамовича и Пелагеи Федоровны я просматривал их документы перед отправкой в архив Академии наук СССР, то в старом паспорте Григория Абрамовича, к своему большому удивлению, увидел, что его женой названа не Пелагея Федоровна, а другая женщина, имя которой я, к сожалению, не записал. Из разговоров с родственниками Григория Абрамовича мне стало известно, что Пелагея Федоровна, действительно, была его второй женой. Еще совсем молодым человеком, в возрасте около 20 лет, Григорий Абрамович полюбил православную девушку, больную туберкулезом. Против их брака решительно возражала его семья. Но Григорий Абрамович был тверд: он принял христианство и женился. Брак этот был непродолжительным, молодая женщина вскоре умерла от болезни. Лишь после длительного вдовства Григорий Абрамович встретил Пелагею Федоровну, они поженились, и она была спутницей его жизни и ближайшей помощницей в течение 35 лет, до самой кончины.

Григорий Абрамович был активным наблюдателем и нередко говорил: "Я не могу себе представить будущего астронома, который не будет сам у телескопа, получая важные результаты наблюдений". Григорий Абрамович хорошо понимал и недостаточность нашего наблюдательного "арсенала", необходимость его коренного обновления, модернизации. В этой связи произошел эпизод, о котором мне не хочется вспоминать, но он характеризует обстановку того времени.

В Пулкове было совещание по какому-то астрофизическому вопросу. На нем Григорий Абрамович выступил с заявлением о том, что оборудование у нас плохое. Он сказал, в частности: "Во времена Белопольского у всех астрономов в мире было примерно одинаковое оборудование и результаты определялись искусством, талантом ученого. Теперь положение иное: результаты во многом определяются совершенством инструментария, а недостаточность нашей научной аппаратуры не дает нам возможности полностью использовать таланты наших кадров".

Эти слова были своеобразно восприняты "идеологами" среди астрономов. Последовали выступления в таком роде: "Григорий Абрамович, как Вы смеее утверждать, что при царе лучше было работать, чем теперь, в советское время? Скажите, где Вы видели безработных астрономов?" К сожалению и стыду, никто из присутствующих, в том числе и я, не выступили с разъяснением "идеологам" глупости их высказываний.

В скором времени при обсуждении в Пулковке кандидатур для избрания в академию партийные деятели добились отклонения кандидатуры Г.А. Шайна.

Но его заслуги были достаточно известны, и его кандидатура была предложена академиком Сергеем Ивановичем Вавиловым и Астрономическим институтом им. П.К. Штернберга. С.И. Вавилов, с которым мне часто приходилось встречаться в Государственном оптическом институте (ГОИ), говорил мне об исключительной скромности Григория Абрамовича: "Меня, как академика-секретаря отделения физико-математических наук, Григорий Абрамович засыпает письмами с просьбой снять его кандидатуру, говоря о более достойных людях, а я его письма, конечно, кладу под «сукно». В 1939 г. Г.А. Шайн был избран академиком.

После избрания Григорий Абрамович остался таким же скромным. Вспоминаю один характерный эпизод. Летом 1939 г. в главное здание Симеизской обсерватории ударила молния и вывела из строя некоторые приборы. Григорий Абрамович попросил меня, бывшего тогда в Симеизе, поехать в Москву и Ленинград и добиться заменяющих приборов. Перед отъездом он отвел меня в сторону и тихо сказал: "Петр Павлович, если будет нужно, скажите там, что об этих приборах просит академик."

Григорий Абрамович был подлинным ученым-естествоиспытателем. Он умел увидеть, что наиболее важно в данный момент для науки, был не просто "коллекционером", собирателем данных наблюдений, а умел всегда провести их подробный анализ и сделать выводы, но никогда не объявлял их окончательными. Из-за этого порой его статьи нелегко читать, так как много в них оговорок, осторожных выводов.

Эта черта проявилась у него в самые ранние годы. Еще в 10 лет он увлекся

наблюдениями метеоров, но затем в 19–20 лет опубликовал серьезные статьи о природе и эволюции метеорных потоков.

Позднее он уделил огромное внимание вопросу эволюции звезд, считая, что ключом к решению этой задачи могут быть соотношения, наблюдаемые в звездных парах. Опубликованный в литературе материал для его целей не был достаточно полон, и он некоторое время наблюдал двойные звезды по разработанной им программе на 30-дюймовым пулковском рефракторе. Собрав все данные, сделал заключения, которые во многом не устарели и теперь.

Когда Шайны переехали в Симеиз и был введен в строй метровый телескоп, Григорий Абрамович сосредоточил свое внимание на спектральных исследованиях. И тут все было тщательно продумано. Через несколько лет был опубликован каталог лучевых скоростей по его и Владимира Александровича Альбицкого наблюдениям. По тщательности подбора звезд, глубине анализа возможных ошибок каталог был признан одним из лучших в мире. Были даже отдельные высказывания в литературе, что в области изучения лучевых скоростей звезд Симеизской обсерваторией сделано за это время больше, чем всеми другими обсерваториями в мире.

Но каталог – не самоцель. Григорий Абрамович вновь ставит перед собой задачу, связанную с проблемой эволюции. Он тщательно анализирует скорости звезд в скоплении Волосы Вероники и показывает, что полная энергия скопления отрицательна, т.е. скопление динамически устойчиво и звезды в нем могут совершать только колебания по отношению к центру скопления, но не могут уйти из него.

А вот другая серьезная проблема. Еще в 20-е годы он поставил перед собой вопрос: каков спектр нашего Млечного Пути при наблюдении его из других галактик? Теоретические расчеты показывали, что он должен быть близок к спектру Солнца. Но возможность проверить эти соображения появилась только в 1937 г., когда ГОИ предоставил ему "сверхсветосильный" спектрограф. С ним был получен ряд спектров звездных облаков в Млечном Пути. При этом ставились две задачи: определить интегральный спектр облаков и попытаться изучить их движение. Вторая из задач оказалась неосуществимой: при очень малой дисперсии точность была мала, но при учете межзвездного поглощения спектр оказался очень близким к рассчитанному.

В тяжелое время эвакуации в Абастумани Григорий Абрамович продолжал активно работать, используя вывезенный из Симеиза "спектральный архив" – полученные на метровом рефлекторе спектрограммы. Уже было известно, что в спектрах холодных углеродных звезд наблюдаются полосы молекул, содержащих углерод, которые имеют необычные длины волн. Высказывались догадки, что в эти молекулы вместо обычного углерода ^{12}C может входить "тяжелый углерод" ^{13}C , но дальше догадок дело не шло. И вот Григорий Абрамович вместе с Верой Федоровной Газе взялся за эту задачу. Тщательно анализируя свои спектрограммы и имеющиеся в литературе данные, они смогли показать, что это действительно так. Более того, они показали, что тяжелого углерода в звездах относительно больше, чем на Земле и на Солнце. Смысл этой важной изотопической аномалии стал ясен лишь через много лет.

Кончилась война, Симеиз освобожден от оккупантов, Шайны и ряд сотрудников вернулись туда. Но в распоряжении Григория Абрамовича нет больших астрономических инструментов, и он со свойственным ему пониманием задач и возможностей решает заняться изучением межзвездной среды и газовых туманностей в ней. В то время в Симеизе временно находились две зеркально-линзовые камеры с диаметром зеркала 450 мм, светосилой 1:1,4 и с очень широким полем зрения, что подходило для решения этой задачи. Но контраст газовых туманностей исключительно мал. Применяв оригинальную методику, Григорий Абрамович и В.Ф. Газе сумели получить очень хорошие фотографии туманностей. На основе полученных снимков был издан специальный атлас, опубликованный в 50-е годы небольшим тиражом.

Григорий Абрамович и тут не ограничивается простой регистрацией фактов: на

основе анализа этих данных он приходит к ряду важных выводов о природе туманностей.

Была намечена еще одна большая и сложная задача по изучению нашей Галактики, для чего предполагалось в выбранных участках Млечного Пути определить блеск, спектры и цвета сотен тысяч звезд. Кончина Григория Абрамовича помешала ее осуществлению в полной мере.

Изучением тел Солнечной системы он специально не занимался, но и тут сказал свое слово. В начале нашего века академик Аристарх Аполлонович Белопольский доказал, что кольца Сатурна не могут быть одним твердым телом, а должны состоять из массы отдельных мелких "камешков", которые вращаются вокруг планеты, каждый независимо от соседних. Но велики ли эти камешки? Фотографируя спектр колец Сатурна, Григорий Абрамович нашел, что они достаточно малы, но не молекулярных размеров.

В результате наблюдения полного затмения Солнца в 1936 г. он высказал догадку, что верхние слои солнечной атмосферы – корона – должны иметь очень высокую температуру. Так, им одним из первых было сделано предположение о горячей короне Солнца, что является сейчас общепринятым.

Заслуги Григория Абрамовича были высоко оценены не только в нашей стране, но и за рубежом. Он был членом ряда зарубежных научных организаций и университетов. Получая соответствующие дипломы, он, конечно, был доволен, но, по своей скромности, никогда не подчеркивал это.

Он был добрым, отзывчивым человеком. В тяжелый период сталинского террора глубоко переживал аресты, преследования астрономов и других ученых, пытался помочь им, хотя его возможности были очень невелики. Но он помогал тем, кому удавалось перенести тяжелые испытания и вернуться на волю. Так, после выхода на волю в обсерватории работали В.Ф. Газе, Е.Ф. Шапошникова, вдова Б.П. Герасимовича Ольга Михайловна Герасимович, Н.А. Козырев.

Григорий Абрамович был высококультурным человеком, любил классическую музыку, литературу. Убежденный вегетарианец, он всегда старался не причинить вреда живым существам, даже тем, которые считаются вредными, например, сколопендрам, которые могли спокойно бегать по полу в башне 40-дюймового рефлектора.

Те, кто имел возможность учиться у него, помогать ему, как это выпало на мою долю, всегда будут вспоминать о нем с глубоким уважением и благодарностью.

И последнее. Вспоминая Григория Абрамовича, особенно сейчас, в дни столетия со дня его рождения, хочется спросить – в какой мере наша обсерватория после его ухода из жизни сумела сохранить тот дух глубоких исследований, понимания их цели, который был характерен для Григория Абрамовича? Мне хочется ответить на этот вопрос положительно. Можно сказать, что программа работы обсерватории достаточно широка, для нее характерно большое внимание, уделяемое нестационарным объектам и процессам, что, конечно, тесно связано с эволюцией космических объектов. Для таких целей теперь возможности много шире, чем при жизни Григория Абрамовича, и обсерватория старается их применять настолько широко, как только позволяют внешние и другие обстоятельства.

1992 г.

Е.И. Иосько

Когда вспоминаешь Григория Абрамовича и Пелагею Федоровну Шайнов, всегда жалеешь, что очень редко встречаются такие простые, внимательные и отзывчивые люди.

В 20-е годы коллектив обсерватории жил очень дружно, но по молодости лет я тогда не вдавалась в подробности биографий и деятельности сотрудников. В 30-е годы

я уже не жила в обсерватории: училась, зимой жила в Ялте, потом – в Ленинграде. Но по приезде летом всегда чувствовала, как Шайны по-хорошему и внимательно относятся к людям. Пелагея Федоровна взяла к себе из деревни племянницу, которая в 12 лет была почти неграмотная. Пелагея Федоровна заботилась о ней; Шайны дали ей образование. Племянница жила с ними, пока не вышла замуж за В.А. Амбарцумяна, с которым она познакомилась в обсерватории, когда он приезжал студентом на практику.

Шайны были очень общительные, и люди это постоянно чувствовали. Такое событие, как чей-то отъезд, отмечался всеми. Иногда фотографировались на память. Правда, Григорий Абрамович не любил сниматься, и на фотографиях обычно прятался сзади.

У меня трудновато складывалась жизнь. Григорий Абрамович вошел в мое положение и дал возможность работать в обсерватории утром и вечером, а день я могла посвящать своим домашним делам. И всегда чувствовалось это внимание к людям.

Работе он отдавал все. Рядом с ним нельзя было плохо относиться к своей работе, к своим обязанностям. Ночью Григорий Абрамович наблюдал, работал так же, как остальные сотрудники. Утром я проявляла эти снимки, с некоторых делала отпечатки, готовила их для статей. Я была хорошо знакома с этими снимками, и Григорий Абрамович направил меня в Москву, когда в ЛАФОКИ делался Атлас диффузных и газовых туманностей. Эта часть работы мне запомнилась потому, что начальник лаборатории был очень недоволен, что я так много браковала сделанные отпечатки: то появляются лишние звезды, то засветка, то слабый отпечаток, – словом, я придиралась. Поэтому стали печатать лучше, и к тому же я сказала, что Григорий Абрамович заберет и бракованные.

Пелагея Федоровна была всегда приветлива, и к ней всегда можно было обратиться с любым вопросом. Ко всем окружающим у них было одинаковое отношение, не было любимчиков.

Воспоминание о них осталось светлое и благодарное.

1992 г.

И.Г. Иосько

Приехали Шайны в обсерваторию в начале 20-х годов, чтобы ознакомиться с местом, с работой. Были они тогда еще совсем молодыми. Приехали и пошли на море купаться и загорать. Да не знали, видно, что после купанья нельзя много быть на солнце. Пелагея Федоровна перекупалась и "сгорела" так, что пришлось лечить ее целую неделю. Так состоялось знакомство с Южным берегом Крыма.

Через год они приехали снова и остались здесь работать. Случилось так, что в скором времени после их приезда началась доставка из Англии и монтровка 40-дюймового телескопа. Григорий Абрамович сам лично следил за строительством башни, за доставкой частей телескопа и их монтажом. Частенько помогал выгружать тяжелые ящики с оборудованием. По предложению Г.А. Шайна мне доверили монтировать электрическую часть телескопа. Дружеское, товарищеское отношение ко мне со стороны Григория Абрамовича и других сотрудников помогло мне справиться с этим трудным делом. Отказавшись вызвать инженера из Пулково, обсерватория своими силами справилась с монтажом электрической части телескопа.

После того как телескоп вступил в строй, мне пришлось его постоянно обслуживать, устранять неполадки. Очень хорошо помню, что в те ночи, когда наблюдал Григорий Абрамович, почти никогда не было аварий. Работал он аккуратно, бережно относился к оборудованию, поэтому и полнее использовал свои ночи.

Работать с Шайном было исключительно приятно. Он подкупал преданностью делу

и внимательным отношением к сотрудникам. Ему трудно было в чем-либо отказать, непременно хотелось выполнить его просьбы. Я долго работал с Шайном, и за все время нашего знакомства мне ни разу не удалось поздороваться с ним первым, как я к этому не стремился.

Для науки Г.А. Шайн не щадил своего здоровья. Он много работал. Те, кто его знал, помнят, что Григорий Абрамович работал почти круглосуточно, без праздников и отпусков. Случалось, что он работал, пока мог стоять на ногах. Однажды – дело было до войны – он повредил глаза при работе с Вольтовой дугой. После этого он практически ослеп, потребовалась срочная врачебная помощь. Врача поблизости не было, сообщение с Ялтой было плохое, рейсового транспорта тогда не было. С большим трудом доставили больного в Ялту на дрогах.

Шайны были очень общительные и гостеприимные люди. Они приглашали в гости на чашку чая каждого приезжего командировочного, студента, аспиранта, интересовались его делами. Мы с женой тоже часто бывали у них в гостях. И они приходили в гости к нам. В компании Григорий Абрамович был очень веселым, рассказывал много интересного, шутил, смеялся и пел. В обсерватории была традиция собираться всем сотрудникам по праздникам на пикники, устраивать чаепития. Шайны принимали в них непременно участие. А в 20-е годы мы все даже катались на санках.

Воспоминания о Г.А. Шайне остались самые хорошие и светлые. Он был хорошим товарищем для всех сотрудников.

1962 г.

Н.Д. Калининков

С Григорием Абрамовичем мне посчастливилось познакомиться летом 1951 г., когда после окончания 4-го курса астрономического отделения Казанского университета я приехал на так называемую производственную практику в Крымскую обсерваторию. Через год я еще раз приезжал наблюдать в КрАО.

Как и полагалось, с направлением на практику в руках, явился я на прием к директору. Григорий Абрамович после некоторой беседы со мной тут же представил меня Владимиру Александровичу Альбицкому, Вере Федоровне Газе и кому-то еще с просьбой оказать мне внимание. Кроме того, он напутствовал меня словами примерно так: "Да Вы и сами не теряйтесь, бывайте у телескопов, смотрите, спрашивайте, пользуйтесь этой возможностью больше узнать". Ну я, конечно, и старался следовать этому совету. Много работал в библиотеке, где обнаружил литературу, ранее мне не встречавшуюся. Видимо, Григорий Абрамович обратил внимание на завсегда библиотека и как-то подошел ко мне и... пригласил к себе на обед. Можно представить, как поразило меня то, что ученый с мировым именем оказался человеком, приглашающим к себе простого студента, даже не аспиранта или уже знакомого сложившегося научного работника.

Дома у Григория Абрамовича была его супруга Пелагея Федоровна и девочка лет 10–12, кажется, племянница. Они были вегетарианцы. Во время обеда и после него состоялась непринужденная беседа о многом. О чем только не говорили... Григорий Абрамович, в частности, интересовался положением астрономии в Казани. Когда я, говоря об уважаемых мною учителях, назвал Александра Дмитриевича Дубяго, поражавшего нас, студентов, своей разносторонней эрудицией, знанием восьми языков, Григорий Абрамович спросил: "Позвольте, ведь он, кажется, арестовывался?" Я ответил, что да, он был арестован в свое время, его там сильно били и даже с тех пор у Александра Дмитриевича был сбит несколько набок нос.

Что касается личности Григория Абрамовича, то он запомнился мне навсегда. Сказать, что он был простой – это не то слово. Он помнится своей обходительностью, доверительным отношением. О его эрудиции я уж не говорю. Вот характерный

эпизод доверия. В последние дни моей практики Григорий Абрамович неожиданно попросил меня вычислить орбиту малой планеты, только что обнаруженной Пеллагей Федоровной. Это было, прямо скажу, не мое амплуа. Мне пришлось немало потрудиться, но все же перед самым отъездом я выдал элементы орбиты. Потом, уже в Казани, я получил улучшенные элементы и выслал их почтой. В своем письме я упомянул, в частности, что после перехода из Казани в Москву Дмитрия Яковлевича Мартынова в Казанском университете закрыта ранее возглавлявшаяся им кафедра астрофизики. В ответе мне помню слова Григория Абрамовича: "В нашей стране, где и без того так мало уделяется астрономии, еще что-то закрывается. Это вызывает просто негодование."

В моей жизни на мою творческую судьбу влияние Григория Абрамовича оказалось очень сильным. Я даже в какой-то степени старался подражать ему в своих взаимоотношениях со студентами, в отношении к работе.

Апрель. 1992 г.

Е.Б. Костякова

Первое знакомство с Г.А. Шайном произошло у меня в 1949 г. Я тогда только что поступила в аспирантуру ГАИШ, мой научный руководитель Б.А. Воронцов-Вельяминов послал меня в Крым, чтобы я приняла участие в установке телескопов в строящейся обсерватории. Я тогда даже не знала, где находится эта новая обсерватория, знала только, что она где-то в Бахчисарайском районе. Добиралась я туда на перекладных: сначала ехала до Бахчисарая на автобусе, который ходил от Симферополя только один раз в сутки, к тому же по дороге он сломался. В Бахчисарае меня обступили разные люди, дававшие мне самые разнообразные советы, как добраться до так называемого Академстроя. В результате, бросив вещи в гостинице, я стала "голосовать" и на самосвале и бензовозе к вечеру добралась до обсерватории. Там на окраине строящейся обсерватории в финском домике жили так называемые научники – опальные Е.Ф. Шапошникова и О.М. Герсимович, которым не разрешалось жить в Симеизе.

Оказалось, что в будущей обсерватории еще никаких инструментов нет: там еще только строятся башни для них. Строительство ведут немцы, мобилизованные с предприятия Цейсса, под руководством монтажников ленинградского ГОМЗа.

Переночевав на письменном столе у Е.Ф. и О.М., я на следующее утро отправилась пешком в Бахчисарай, а потом на перекладных поехала в Симеиз. В Симеизе я тоже не знала точно, как попасть в обсерваторию, поэтому стала подниматься туда по самой длинной дороге. В конце пути, из-за поворота, наконец открылся величественный вид Симеизской обсерватории.

На территории обсерватории я увидела, что по дорожке прогуливается пожилой человек в золотых очках. Я спросила его, где можно найти академика Г.А. Шайна. Смущенно покашливая, он ответил: "А академик Шайн – это я и есть!"

На другой день Григорий Абрамович выделил мне комнату для занятий – бывшую аккумуляторную, размером приблизительно 1,5×1,5 м, зато с отдельным входом и видом на море! Работавший там летом И.С. Шкловский познакомил меня с К.К. Чуваевым, и я стала наблюдать на его светосильном спектрографе Млечный Путь.

Жили мы тогда – все приехавшие студенты и аспиранты – в соседней деревне Лимены, снимали комнаты за 50 рублей в месяц. В то лето там, кроме меня, жили О.Д. Докучаева, И.И. Проник (тогда еще Назарова), Р.А. Боцула, И.С. Щербина-Самойлова и ленинградские студенты – И.М. Копылов и Н.В. Новочадова (ныне Быстрова). Удобств в Лименах никаких не было, готовить было не на чем и не из чего. Поэтому днем питались лишь черным хлебом, а вечером нас – всех приезжих – кормила обедом Наталья Дмитриевна Козлова, устроившая столовую на террасе своего домика.

Нас, всех приехавших, поразила обстановка, царившая в Симеизской обсерватории. В отличие от нашего ГАИШ, еще размещавшегося в старом здании на Красной Пресне, где всегда стоял гомон, беготня, раздавались телефонные звонки, шум "накручиваемых" арифмометров и т.п., в Симеизе обстановка была спокойной, серьезной, научной. Там тогда работало всего 25 сотрудников. В 9 часов утра все уже были на своих рабочих местах: Григорий Абрамович, Пелагея Федоровна, Вера Федоровна Газе; в библиотеке сидел В.А. Альбицкий. Поэтому опаздывать было просто неудобно.

К морю мы обычно бегали (бегом – вниз и вверх) в обеденный перерыв или в лунные ночи шли вниз большой молодежной компанией. По воскресеньям все шло к морю на целый день, но нужно было обязательно вернуться вечером вовремя, к наблюдениям. Старожилы обсерватории – Григорий Абрамович, Пелагея Федоровна, Вера Федоровна, Владимир Александрович Альбицкий к морю не ходили, купались очень редко. Лишь однажды в 1952 г. я видела, как Г.А. и П.Ф. собрались ехать на море; при этом Г.А. радовался, как ребенок, восклицая: "Мы едем на море, мы едем на море!" Однако эта поездка не доставила им удовольствия, так как машина – грузовик с лавками-досками – на обратном пути не то сломалась, не то "забыла" за ними заехать, поэтому Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна должны были несколько часов жариться на солнце и ждать, когда же за ними приедут.

В.А. Альбицкий тогда заведовал библиотекой. На вид он был довольно суровым, часто ворчал: "Приехали гастролеры, пляжники, московская шпана!" К приехавшей "шпане", очевидно, относились и Э.Р. Мустель, и А.Б. Северный, и И.С. Шкловский, и С.Б. Пикельнер!

Но на самом деле В.А. Альбицкий был добрейшим человеком. Если кто-нибудь из студентов спрашивал какую-нибудь книгу, он сам лез по стремянке на верхотуру и доставал нужную книгу, так как наизусть знал, где какая книга находится. В.А. хорошо знал горы, а потому часто ходил не вниз к морю, а вверх и водил туда приезжих. Уже после его кончины летом 1952 г. Н.А. Козырев провел нас кратчайшим путем из Научного в Симеиз, руководствуясь лишь словесным описанием маршрута, который он запомнил со слов В.А. Альбицкого.

Наше отношение к Г.А. Шайну можно выразить словами "священный, благоговейный трепет". Общались мы с ним поэтому редко, лишь в случаях крайней необходимости (чтобы не мешать!). Даже И.С. Шкловский, который никого не боялся, когда ему предстояло беседовать с Г.А., волновался, как школьник. Накануне вечером он отказывался от всяких мероприятий и развлечений, говоря: "Нет, мне завтра утром надо идти беседовать с Г.А."

К нам же в 1949 г. Григорий Абрамович часто подходил с одним и тем же вопросом: "Вы когда уезжаете?" Мы недоумевали: неужели мы тут так надоели, что ждут – не дождутся, когда же мы уедем? Но, оказывается, Григорий Абрамович имел обыкновение перед отъездом студентов и аспирантов собирать их у себя дома, устраивать чай и прослушивание хорошей классической музыки. Так было и перед нашим отъездом: нас, пятерых девушек, он и Пелагея Федоровна пригласили к себе на чай и хорошую музыку. Обстановка у Шайнов была очень радушная, поэтому мы чувствовали там себя очень хорошо. Проблема возникла у нас только перед этим приемом: в чем же идти к Шайнам? Идти к ним в сарафанах было неудобно, а никаких выходных платьев у нас просто не было! Был лишь самый "прожиточный минимум"! Но, обменявшись платьями друг с другом, мы все же нашли выход и все обошлось благополучно.

Мне рассказывали, что даже в эвакуации в Абастумани Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна тоже устраивали такие приемы. Однажды в Абастуманской обсерватории оказалась группа девушек-военных (или на экскурсии, или их поместили туда на постой). Г.А. и П.Ф. пригласили их к себе на чай и музыку. Девушки, замученные муштрой и вообще тяготами военного времени, сначала дичились и

стеснялись, но Шайны приняли их так тепло и по-домашнему, что девушки перестали стесняться и почувствовали себя легко и свободно.

О научных работах Г.А. Шайна можно говорить очень много. Но мне хочется остановиться лишь на одном направлении его работ, на которое мало обращалось внимания. Это его работы по изучению интегрального спектра звездных облаков Млечного Пути.

Еще в 1933 г. (см. Циркуляр Пулковской обсерватории № 7) Г.А. Шайн указал на важность исследования интегрального спектра Млечного Пути для изучения галактического вращения и других движений в Галактике, в частности, движения отдельных звездных облаков Млечного Пути.

Он рассмотрел возможность определения лучевой скорости звездных облаков по их интегральному спектру, оценил эффекты, которые могут влиять на наблюдения: влияние ярких звезд фона — как близких, так и далеких — возможное влияние межзвездного поглощения света и т.п. Рассмотрел также подробно и методику наблюдения интегрального спектра облаков: тип спектрографа, его коллиматор, щель, целостат, преимущества и недостатки различных методов наблюдения, оценил возможную точность результатов, указал возможные упрощения методики.

Здесь проявились характерные черты работ Григория Абрамовича — широкий охват проблемы, теоретическое рассмотрение ее с разных точек зрения, анализ влияния самых различных эффектов и в то же время глубокое знание экспериментальных возможностей, подробное рассмотрение методики наблюдений. Г.А. Шайн и здесь проявил себя и как глубоко мыслящий теоретик, и как прекрасный экспериментатор, астроном-наблюдатель.

Указанная работа Г.А. Шайна явилась по существу теоретической подготовкой последующей экспериментальной работы по наблюдению интегрального спектра Млечного Пути, начатой перед войной П.П. Добронравиным под его руководством. В этой совместной с П.П. Добронравиным работе Г.А. Шайн связал проблему интегрального спектра Млечного Пути с проблемой межзвездного поглощения света, с влиянием линий поглощения в спектре звезд. Тогда впервые была поставлена задача — отделить излучение собственно Млечного Пути от влияния других источников излучения сначала качественно, а затем и количественно.

Одновременно было построено теоретическое распределение энергии в интегральном спектре Млечного Пути в случае отсутствия межзвездного поглощения. Был рассмотрен вклад в интегральный спектр со стороны звезд различных звездных величин и различных спектральных классов в предположении их планковского излучения, качественно проведен учет влияния межзвездного поглощения. Наблюдаемое распределение энергии нескольких облаков Млечного Пути сравнивалось с теоретическим, и была определена спектрофотометрическая температура этих облаков. В последней работе П.П. Добронравина этого цикла — работе 1940 г. — выявилась тенденция увеличения спектрофотометрической температуры звездных облаков Млечного Пути с увеличением их углового расстояния от центра Галактики.

После войны эти работы Г.А. Шайном и П.П. Добронравиным уже не проводились. Автору этих строк удалось продолжить эту работу в Симеизе в 1949–1950 гг. с тем же светосильным спектрографом, затем в 1955–1956 гг. в Алма-Ате со спектрографом конструкции Н.Н. Парийского, затем в 1960–1961 гг. в Индийском океане и в 1965–1966 гг. совместно с А.С. Шаровым в Тихом океане. Таким образом, удалось охватить наблюдениями всю полосу Млечного Пути, определить интегральный спектр всех его областей, найти их спектрофотометрическую температуру, выявить ее ход с галактической долготой и получить определенные выводы о звездном составе Галактики в разных направлениях. Смею надеяться, что в какой-то степени в этой работе нам удалось осуществить первоначальные замыслы Григория Абрамовича Шайна.

Апрель, 1992 г.

Я близко встретила с Григорием Абрамовичем Шайном в 1950 г., когда готовилось 1-е совещание по космогонии, посвященное обсуждению шмидтовской теории происхождения Земли. Я была тогда в составе оргкомитета.

Мало кто, наверное, сейчас помнит, как все это готовилось. Обстановка была нервная, в науке тогда творился самый настоящий беспредел, особенно в отношении биологии и языкознания. И вот подоспела идеологическая проблема в астрономии, вернее в космогонии. Отто Юльевич Шмидт очень активно пробивал свою теорию, надеялся в результате этого космогонического совещания сделать ее директивной теорией происхождения Солнечной системы во всесоюзном, а может быть и в более широком масштабе. Стенограмма этого совещания опубликована. Вероятно, мало кто сейчас ее читает. Но иногда все-таки интересно посмотреть, какие там были споры и противоречия! В конце этого совещания по настоянию Шмидта собралась редакционная комиссия для подготовки резолюции. В нее входил и Григорий Абрамович Шайн. Тогда модно было принимать на научных совещаниях такие резолюции-директивы. И вот это заседание редакционной комиссии, хотя уже много лет прошло, я до сих пор вспоминаю с ужасом. Заседали мы в президиуме Академии наук в кабинете ученого секретаря. Присутствовал ученый секретарь Академии наук и еще какие-то непонятные личности, которые не числились в составе оргкомитета. Осуществлялся довольно серьезный нажим в отношении формулировок, которые были довольно категоричны: "Это единственно правильная теория на фундаменте марксизма-ленинизма, и она единственно правильная по сравнению со всеми остальными". Были очень сильные споры против этих формулировок.

Мне запомнилось, что при тех противоречиях, когда многие выступали несдержанно, Григорий Абрамович очень интеллигентно, очень миролюбиво, спокойно, но очень решительно проводил свою линию, так что в результате удалось принять нейтральную резолюцию без особой категоричности. Я считаю, что это главным образом его заслуга.

И его выступление на этом совещании было тоже очень интеллигентным, очень глубоким и в общем без лишних слов, без лишнего ажиотажа, без резкостей, но очень фундаментальное.

Такая же история была на втором космогоническом совещании, посвященном звездным ассоциациям. Там было еще больше шума, были очень резкие выступления "за" и "против". И тоже там выделялось на общем фоне выступление Григория Абрамовича Шайна, где он высказывал свои идеи генетической связи туманностей со звездами. Он очень старался ввести споры из идеологического в научное русло, чтобы все оставалось в области науки.

Вообще, Г.А. Шайн был очень скромный человек. Была у нас выездная сессия Астросовета в Таллине для поддержки создания Эстонской национальной обсерватории в Тыравере и заказа 1,5-метрового телескопа. Собственно Астрономический совет и российская научная общественность сделали очень много, чтобы эта обсерватория была создана и чтобы этот телескоп был оплачен государством. Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна тоже приехали на эту выездную сессию. Тогдашний президент Академии наук Эстонии И.Г. Эйхфельд, который был в то же время председателем Верховного Совета Эстонии, пригласил их жить у него в доме, а мы, все остальные, жили в гостинице. Григорий Абрамович был очень смущен этим. Он всем говорил: "Я не знаю, почему меня так выделили." Он все время как будто извинялся перед другими за то, что ему оказали такое внимание, хотя, казалось бы, действительно, никто, кроме него, так не заслуживал этого внимания.

Я помню эту историю с его попыткой внести деньги на создание 2,6-метрового телескопа. Это было в начале 50-х годов. Сейчас мы привыкли к тому, что нас по телевизору и по радио только и призывают вкладывать свои деньги во все, что

угодно, и "спонсорство" сейчас – это у нас главное слово. Тогда это было совершенно непонятно. Я тогда еще не очень хорошо представляла себе структуру Академии наук, только начинала работать в Астросовете, но помню, что были такие разговоры и в Академии, и в Отделении: "Что это за демонстрация? Как будто государство не может финансировать этот телескоп! Что это за замашки такие, купеческие?" Правда, это помогло тому, что государство очень быстро ускорило финансирование этого 2,6-м телескопа. Так что заслуга Г.А. Шайна в этом определенно есть. Но свои деньги ему так и не удалось вложить.

В 1952 г., когда Григорий Абрамович уже перестал быть директором обсерватории, профессор Бернард Ловелл, директор радиоастрономической обсерватории Великобритании "Джодрелл Бэнк", посетил Крымскую обсерваторию, и Шайн пригласил его приехать к нему в Симеиз. Это был очень интересный и трогательный прием, потому что они долго не виделись, рады были встрече, и было очень приятно слушать, как они обсуждают важнейшие научные вопросы, перемежая их воспоминаниями.

Конечно, это был великий человек, настоящий ученый, и дай Бог каждому хоть как-то приобщиться к такому бескорыстному служению той науке, в которой мы все с вами работаем.

Апрель. 1992 г.

О.Н. Митропольская

Мы приехали в Крымскую обсерваторию работать в сентябре 1948 г.: Соломон Борисович Пикельнер, наша 2,5-летняя дочка Вера и я. Нам была предоставлена квартира в финском домике. Когда мы вошли туда, на столе лежали крупные сочные помидоры. Их нам любезно заранее принесла Пелагея Федоровна Шайн. Они украсили наш ужин, привезенный с собой.

Работать в обсерватории было интересно и приятно. Сотрудников было немного, и все работали по совести. Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна создали атмосферу доброжелательности и взаимного доверия, во многом показывая пример, как надо работать. Постепенно мы узнавали характеры Г.А. и П.Ф. Шайнов. Особенно добрым был Григорий Абрамович. Он не ел мяса из соображений гуманности. Он вообще не мог убить ни одно живое существо, даже насекомых. Рассказывали, как однажды, принимая гостей обсерватории, он показывал им инструменты, рассказывал о работах, ведущихся с их помощью. Рассказывая, он почувствовал, что под рубашку попала сколопендра (она ядовитая). Убить ее, как делали обычно другие, он не мог. Григорий Абрамович незаметно зажал сколопендру рубашкой, чтоб она его не смогла укусить, и продолжил свой рассказ. Когда гости ушли, Григорий Абрамович выпустил сколопендру живой на волю.

Активно помогали Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна тем, кто попал в беду во время репрессий 30-х годов. Арестовали большинство астрономов Пулковской обсерватории (Пулковское дело), в том числе ее директора Герасимовича. Его жена и маленькая дочь очутились в тяжелом положении. Женам репрессированных было трудно устроиться на работу, и Григорий Абрамович взял жену Герасимовича работать в библиотеку Крымской обсерватории. В Крыму она и осталась жить. Дочери Герасимовича Григорий Абрамович помог получить образование.

Сотрудников обсерватории Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна считали своей семьей. Когда поступал новый сотрудник, они приглашали его с семьей в гости и так начинали знакомство с ними. Часто они приглашали к себе их и потом.

В 1954 г. Пелагея Федоровна тяжело заболела. В 1956 г. она уже почти не вставала с постели, осознавая, что скоро умрет. Она распределила вместе с приехавшей племянницей подарки сотрудникам обсерватории. У нас до сих пор висят подаренные Шайнами художественные тарелки из Дельфты (Голландия).

Впервые я встретила с Г.А. Шайном в Москве в гостинице "Якорь" 7 марта 1948 г., когда он, А.Б. Северный и Э.Р. Мустель принимали у меня экзамены в аспирантуру.

Привожу записи из своих дневников о нашей жизни в Крыму, когда там жили и работали Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна Шайны.

3 октября 1948 г. Мы были в гостях у Шайна. Я пришла оттуда очарованная. У них прекрасная обстановка, много красивых вещей, большинство которых Шайн привез из Америки. Стол хорошо сервирован, на столе замечательный розовый мускат. Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна очень любезны. Но их любезность какая-то особенная. ... Вера держала себя смелее, чем обычно ведет себя со времени нашего приезда. ... Да и я сама чувствовала себя сравнительно свободно. Это, по-моему, от того, что Григорий Абрамович так мягок. Кажется, он сам чувствует себя неловко, не знает, как занять нас. ... Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна Шайны очень интеллигентны. Но что доставило мне самое большое удовольствие, так это музыка Чайковского, сюита из "Щелкунчика", которая исполнялась на американском патефоне.

3 октября 1952 г. А.Б. Северный приехал из Рима. Сегодня на Ученом совете он делал первый доклад об этой поездке. ... Большой интерес и успех на съезде МАС вызвал Атлас водородных туманностей Г.А. Шайна и В.Ф. Газе.

10 октября 1952 г. После доклада Н.А. Козырева Г.А. Шайн сказал, что теория Козырева так нова и необычна, что вызывает сдержанные и даже враждебные отзывы, однако она подкупает своей внутренней логичностью.

5 ноября 1952 г. Сегодня Григорий Абрамович делал сообщение о своей поездке в Москву на сессию Академии наук. Он сказал, что в выборах в академики и члены-корреспонденты в этом году были элементы случайности. Бывали случаи, когда выбирали не самых заслуживающих звания членов-корреспондентов и академиков ученых, а менее достойных. Такая необдуманность объясняется, по мнению Григория Абрамовича, между прочим, тем, что семь лет не было выборов и за такой срок трудно сделать правильный выбор. Были и ограничения на выборах; например, рекомендовали выбирать по представлению из (ученых) разных специальностей.

23 апреля 1953 г. В воскресенье мы втроем были приглашены к Григорию Абрамовичу Шайну. Отмечался день его рождения. Кроме нас была Вера Федоровна Газе. В квартире Шайнов было уютно, Григорий Абрамович – культурный и интересный человек. Он много рассказывал о своих путешествиях, о своей жизни. Я давно знала, что Григорий Абрамович не ест мяса. А в воскресенье он рассказывал, что целые племена индусов не едят мяса из соображений гуманизма и что, кроме того, это полезно. Пелагея Федоровна рассказывала некоторые эпизоды из их молодости. ... Верочке показали детские английские книжки.

2 января 1954 г. Новый год мы встречали у Шайнов. Были приглашены все оставшиеся в обсерватории научные сотрудники – их немного. Пришли мы к Шайнам в пол-одиннадцатого и до без четверти двенадцать смотрели кино; аппарат и ленты Г.А. привез из Америки. Показывали кадры из спортивной жизни (для всех)... и забавный фильм о медведях, как говорили, для Веры и Инны (детей). Без четверти двенадцать сели за стол. В двенадцать часов Григорий Абрамович сказал тост о том, что каждый год является как бы ячейкой времени, общей для всех людей. Перед наступлением Нового года каждый подводит итоги старому году и строит планы на будущий. Потом разговаривали, говорили тосты, шутили. Между ужином и чаем прослушали отрывки из "Лебединого озера", очень хорошо записанные на пластинки, которые автоматически шли одна за другой. (...) После чая разговор стал еще непринужденнее. (...) Григорий Абрамович говорил, между прочим, о том, что если кто-нибудь будет встречать 2000-й год, то пусть вспомнит эту нашу встречу. А Вере, как самой молодой, дано такое поручение."

5 января 1954 г. Вчера Григорий Абрамович пригласил нас посмотреть кино о протуберанцах – американский фильм. Фильм очень интересный. (...) После солнечного фильма показывали фильм об обезьянке.

22 октября 1954 г. Недавно Григорий Абрамович пригласил нас слушать "Реквием" Моцарта. (...) Слушали и вспоминали Веру Федоровну Газе, недавно скончавшуюся. Говорят, что накануне смерти Вера Федоровна декламировала стихи Гете по-русски и по-немецки и говорила: "Осталась одна глубина. Осталась одна красота".

26 ноября 1954 г. Григорий Абрамович заметил: "Мы как тарзаны здесь живем."

25 июля 1992 г.

В.Б. Никонов

Если вспоминать историю создания и развития Крымской обсерватории, то нельзя обойти молчанием и Симеизскую обсерваторию, бывшую отделением Пулковской обсерватории. Поэтому очень кратко вспомню, какой была Симеизская обсерватория в далеком 1927 г., когда я приехал туда на практику летом того года вместе с Шароновым. Мы оба были аспирантами Ленинградского астрономического института. В обсерватории было всего два наблюдательных инструмента. На метровом рефлекторе, полученном из Англии в 1925 г., где он был заказан еще до 1-й мировой войны, вели очень важные работы Григорий Абрамович Шайн – по звездной спектроскопии – и В.А. Альбицкий – по определению лучевых скоростей звезд. Был еще небольшой рефрактор с камерой, на которой выполнялись наблюдения малых планет. Штат обсерватории: С.И. Беляевский, В.А. Альбицкий, Г.Н. Нейумин – в то время был директором, Г.А. Шайн – старший астроном, их жены – лаборанты, И.Г. Иосько – механик и электрик, еще делопроизводитель, он же бухгалтер, и секретарь. Был еще кучер, он же дворник, а также уборщица. Вот и все. А работу обсерватория вела первоклассную.

Жили мы, практиканты, как и все командировочные и гости, на даче Македонской, расположенной чуть ниже обсерватории в Лименской долине. После ночных наблюдений, иногда ленивась возвращаться домой, отсыпались в роще, на востоке от обсерватории. Отоспавшись, бежали в Симеиз купаться под Дивой на пляже около стоявшей еще тогда скалы Монах. Так все шло мирно и спокойно, пока в одну прекрасную ночь, а было это в августе 1927 г., не трахнуло землетрясение. К счастью, постройки обсерватории не пострадали, а телескопы не сдвинулись с места. Но толчки продолжались около месяца, и все сотрудники спали на улице. Днем работали на своих местах, ночью наблюдали, но при малейшем толчке высыпали на улицу. Надо сказать, что лето 1927 г. было удивительным – с августа по ноябрь не было ни одного дождя. На другой же день после землетрясения Крым опустел, все приезжие разъехались, а пляжи, и так в то время просторные, опустели совершенно. Таково было мое первое знакомство с Симеизской обсерваторией. Был я в ней еще раз проездом в 1930 г., но мало что там изменилось с 1927 г., только штат несколько увеличился.

Но вот грянула 2-я мировая война, гитлеровские полчища ворвались в Крым. Весь штат обсерватории, кроме И.Г. Иосько и механика А.А. Котова, эвакуировался, закопав зеркало телескопа и захватив с собой научные материалы, а также некоторое оборудование и часть библиотеки. После тяжелого морского перехода из Ялты в Батуми сотрудники обсерватории разделились. Одна часть во главе с Г.Н. Нейуминым уехала в эвакуацию в Китаб, а другая, возглавляемая Г.А. Шайном, поехала в Абастуманскую обсерваторию, куда еще раньше приехал и я после участия в работе экспедиции по наблюдению полного солнечного затмения 21 сентября 1941 г. Тогда Ленинград был уже в окружении. В составе группы Григория Абрамовича Шайна были: его супруга Пелагея Федоровна, Владимир Алексеевич Альбицкий с супругой Лидией Ильиничной и Вера Федоровна Газе. Работали все мы и сотрудники обсер-

ватории в одной большой комнате в здании обсерватории на горе Канобили. Симеизцы обрабатывали захваченные с собой материалы, а я вел текущую работу по электроколометрии звезд В8-В9. Помогали мне Елизавета Константиновна, Эмма Семеновна Бродская и Тамара Макалашвили. Так продолжалось до 1944 г., когда Крым был освобожден от захватчиков. Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна Шайны и Вера Федоровна Газе выехали в Москву. Позже Григорий Абрамович посетил Крым и Симеизскую обсерваторию, вернее, те развалины, которые от нее остались.

В 1945 г. встал вопрос о возвращении в Симеиз эвакуированных в Абастумани материалов и оставшихся там В.А. Альбицкого с супругой. В это время Григорий Абрамович в Москве ставил вопрос о восстановлении Симеизской обсерватории. И вот в первых числах мая В.А. Альбицкий и я со своим эвакуированным оборудованием и материалами погрузились в товарный вагон и медленно-медленно с длинными промежуточными остановками двинулись в Батуми. Там я еще заранее договорился с военным комендантом города, что нас посадят на тот или иной корабль, который идет в один из портов Крыма. Никакого пассажирского сообщения по Черному морю еще не было. Ранним утром в великий день 9 мая 1945 г. наш вагон был поставлен в порт, и тут же выяснилось, что через несколько часов один из траулеров военноморского флота выйдет в Севастополь с заходом в Ялту. В срочнейшем порядке с помощью военных моряков мы погрузились на траулер и сразу же вышли в море. Не успели даже отоварить свои рейсовые карточки на продтовары. И двинулись прямо на Ялту. Скорость нашего траулера была "грандиозной" – пять-шесть узлов, и мы шли до Ялты более шести дней. Продуктов у нас не было, есть было нечего, но матросы подкармливали нас из своего котла. Спасибо им.

Ранним утром на горизонте показался Крым, и в конце дня мы уже были в Ялте. Я сошел там, чтобы заехать в Симеиз в обсерваторию, а Владимир Александрович и Лидия Ильинична поплыли в Севастополь, где должны были выгрузиться и уже с оборудованием двинуться в обсерваторию. Переночевав в Ялте у знакомых Альбицких, с рюкзаком за спиной, в котором было кое-какое имущество, я двинулся пешком по Севастопольскому шоссе. В конце пути меня подхватили военные моряки, и вот, наконец, я на месте. Зрелище было страшное. Главное здание – одни пустые каменные стены, башни пусты, более-менее целые, но совершенно загаженные оккупантами. Целы и домик Шайна, расположенный между главным зданием и башнями, и маленький домик внизу на западной стороне обсерватории.

Никаких автобусов еще не было. Подошла военная машина, и почему-то из всей толпы позвали меня – бывают же чудеса! И вот я еду в Симферополь к Шайну, но где я его найду? Симферополь совершенно не знаю. Водитель говорит мне, что знает, где педагогический институт, и подвозит меня туда. Все-таки наука! И вот, войдя во двор, вдруг вижу грузовую машину, собирающуюся выезжать, а на ней – Григория Абрамовича и Петра Павловича.

1985 г.

С.Б. Пикельнер

Григорий Абрамович Шайн родился 19 апреля 1892 г. в Одессе в семье столяра. Семья была бедная, и Григорий Абрамович смог окончить только начальную школу. О поступлении в гимназию ему не приходилось и мечтать. Будущий ученый начиная с 1905 г. прошел экстерном гимназический курс.

В 1911 г. он отлично сдал экзамены на аттестат зрелости. В десятилетнем возрасте Г.А. Шайн прочел первую книгу, имеющую отношение к астрономии – роман Камилля Фламмарiona "Стелла". Эта книга произвела на него сильное впечатление. С этого времени он увлекается астрономией, читает другие книги Фламмарiona, а затем и более серьезную популярную литературу по астрономии.

К 14–15 годам юный любитель астрономии стал особенно интересоваться падающими звездами – метеорами. По ночам он усаживался с биноклем, бумагой, линейкой, карандашами на балконе или на крыше старого дома на Спиридоновской улице и до рассвета вел наблюдения, записывая их результаты при свете спичек.

Характерен следующий эпизод. В одно раннее утро во дворе дома, где жил Г.А. Шайн, была найдена его фуражка. После долгих тревожных поисков его обнаружили спящим на крыше пятиэтажного дома; рядом с ним лежали бинокль и тетрадь с записями и схемами. Еще до окончания гимназического курса юноша посещает Одесскую астрономическую обсерваторию. Там он впервые получает возможность вести наблюдения на настоящих инструментах.

В 1910 г. в "Известиях Русского астрономического общества" была напечатана первая работа Григория Абрамовича – "Определение радианта Персеид".

В эти годы Григорий Абрамович знакомится с работами Коперника, Галилея, Гершеля. Он изучает итальянский язык, чтобы читать в подлиннике итальянских математиков и астрономов, переводит с французского книгу Фламариона.

Уже в юности сложились основные черты характера Григория Абрамовича, сложился тот нравственный облик, который в дальнейшем производил большое впечатление на близко знавших его людей: творческая целеустремленность, правдолюбие, бескомпромиссное требование справедливости, готовность к жертве во имя истины, отказ от излишеств и удобств жизни.

Для формирующегося характера Г.А. Шайна не прошли бесследно веяния 1905 г., когда все живое, лучшее и смелое рвалось к просвещению, к свободе, к борьбе с политическим рабством и экономической кабалой.

Он с увлечением читал произведения А.М. Горького, изучал греческих и современных философов; большое влияние имел на него Л.Н. Толстой.

После окончания гимназического курса в 1912 г. Григорий Абрамович поступает в Юрьевский университет на физико-математический факультет. Счастлирое время учебы прерывается войной 1914 г. Глубокий патриотизм Григория Абрамовича, ненависть к насилию над жизнью, наивно чистая вера, что война против германского милитаризма есть последняя война между народами, побудили его вступить добровольцем в действующую армию. В армии он находился до 1917 г. Прерванное образование Г.А. Шайн закончил в Пермском университете. С 1917 г. он уже начал педагогическую работу. В 1920 г. Григорий Абрамович сдает экзамены на степень магистра астрономии. В этом же году он становится ассистентом при кафедре астрономии Томского университета. В университете Шайн вел и научную, и преподавательскую работы. Крайне требовательный к себе, он вскоре усомнился в своих преподавательских данных, в своем праве на занятие места преподавателя и, отказавшись от обеспеченного служебного положения, переходит на лабораторную работу в качестве вычислителя. В эти годы Григорий Абрамович познакомился с Пелагеей Федоровной Санниковой, которая стала его другом и спутником жизни.

В 1921 г. Г.А. Шайн переходит в Пулковскую обсерваторию на должность вычислителя. Здесь он в течение двух лет выполняет несколько работ по небесной механике, посвященных изучению движения метеоров и характеристикам орбит спектрально-двойных звезд. Здесь же он начал цикл работ о массах и других параметрах двойных звезд.

Бедность астрофизического оборудования сильно ограничивала возможности работы в Пулкове. Поэтому, когда в 1924 г. для Симеизского отделения Пулковской обсерватории был получен из Англии 40-дюймовый рефлектор, заказанный еще до войны, Г.А. и П.Ф. Шайны переехали в Симеиз. В Симеизе они прожили до конца своей жизни.

Г.А. Шайн руководил установкой и юстировкой рефлектора. На этом рефлекторе он и В.А. Альбицкий наблюдали с января 1926 г. каждую ясную ночь в течение 15 лет.

Для оформления передачи рефлектора Симеизской обсерватории Г.А. Шайн в 1925 г. совершает поездку в Англию, знакомится с английскими научными учреждениями, участвует в торжественных приемах в Оксфорде и Кембридже, делает несколько научных докладов. Это посещение имело в то время большое значение для установления культурных связей между Англией и молодой Советской республикой.

Через 17 лет, в 1942 г., известный английский астрофизик Стреттон, проинформировав Г.А. Шайна о том, что на заседании Королевского астрономического общества была зачитана его работа об изотопах углерода в атмосферах звезд, пишет: "Мы в Королевском астрономическом обществе с удовольствием вспоминали Ваш визит в 1925 году и интересные дискуссии".

Г.А. Шайн никогда не занимался абстрактными или неактуальными, далекими от задач сегодняшнего дня вопросами. Строение и эволюция звезд, кинематика Галактики, место нашей Галактики среди других галактик, солнечная корона, удивительная природа долгопериодических звезд, источники звездной энергии, происхождение звезд и туманностей, магнитное поле Галактики — этот неполный список разрабатывавшихся им проблем говорит сам за себя. Но в то же самое время Г.А. Шайн никогда не пытался решать широкую проблему сразу, основываясь на одном-двух фактах или на общих соображениях. Григорий Абрамович ясно чувствовал многогранность природы, сложную взаимосвязь явлений. Поэтому он старался подходить к проблеме со всех сторон, выясняя и используя по возможности большее количество фактов, но никогда не превращаясь в простого собирателя их. Каждая из работ Г.А. Шайна выясняла как будто бы отдельный, иногда небольшой вопрос, но все вместе они методически сходились к решению узловых проблем.

Г.А. Шайн придавал исключительно большое значение фактам, наблюдениям. Он ясно понимал, что астрофизика не может развиваться в отрыве от фактов, что каждый вывод, каждое обобщение, сделанное из наблюдений, должны ставить новые задачи перед наблюдателями, служащие одновременно и контролем теории. С этим связана высокая требовательность к качеству наблюдательного материала. Г.А. Шайн всегда работал с чрезвычайной тщательностью, стараясь получить из инструмента все, что он может дать. В течение почти всей жизни он сам получал наблюдательный материал. Даже в последние годы жизни, когда здоровье уже не позволяло проводить ночи у телескопа, Г.А. Шайн наблюдал хотя бы по 2–3 часа. Говоря о стиле работы Григория Абрамовича, нельзя не упомянуть его исключительной осторожности в выводах. Он избегал категорических суждений и всегда старался рассмотреть все возможности, привлечь как можно больше фактов, так или иначе освещающих вопрос. Хотя такая тщательность делает заключения Г.А. Шайна очень обоснованными, однако иногда затрудняет чтение его работ. За большим числом доказательств, обосновывающих фактов и доводов читателю иногда трудно бывает почувствовать основные результаты, особенно если он незнаком с другими работами Г.А. Шайна по тому же вопросу.

Г.А. Шайн всегда возражал против разделения астрофизиков на теоретиков и наблюдателей. Он стремился к единству фактов и их интерпретации и сам был примером ученого-естествоиспытателя, познающего природу во всех ее проявлениях, в ее многообразии. Г.А. Шайн не призывал абстрактных, условных схем, всегда старался рассмотреть явление всесторонне. Он видел условность и неполноту большинства теоретических объяснений, чувствовал сложность явления, видел и искал новые возможности объяснения. Этим в значительной степени объясняется острое чувство нового, не оставлявшее Григория Абрамовича до последних дней его жизни. Он живо интересовался последними достижениями физики и искал пути применения их в астрофизике.

Вклад Григория Абрамовича Шайна в развитие нашей науки не исчерпывается его работами. Он оказывал большое влияние на молодых астрофизиков, часто приезжавших в Симеиз. Для каждого у него находилось время и внимание. В последние годы у Г.А. Шайна было много аспирантов. По предложению Григория Абрамовича в

его отделе была начата большая работа по спектральной классификации и фотометрии слабых звезд в площадках вдоль пояса Млечного Пути. Его пример, его беззаветная преданность науке, метод работы, осторожность в выводах и тщательность в эксперименте оказали большое влияние на весь стиль работы Крымской обсерватории, в значительной мере способствовали тому, что эта обсерватория стала крупнейшей обсерваторией страны.

Григорий Абрамович был далеко не заурядным человеком. Высококультурный, хорошо знающий литературу и музыку, философию, историю и географию, он был интересным собеседником. В области морали основным его принципом была справедливость, нарушения которой он переживал очень болезненно. При решении организационных вопросов он придавал большое значение моральной стороне дела, стараясь избежать несправедливостей по отношению к тому или другому сотруднику или организации. Григорий Абрамович целеустремленно и активно боролся за свои убеждения, за справедливость. Он выступал против неправильного понимания борьбы за приоритет нашей науки, за действенный контакт с зарубежной наукой, доказывая, что это принесет нашей науке только пользу и поднимет ее авторитет.

Шайн никогда не избегал упоминания работ авторов, с которыми у него были какие-либо конфликты. Григорий Абрамович никогда не отказывался от выступления в защиту того или иного ученого, работы которого встретили возражение большинства астрономов, если сам он был уверен в правоте его точки зрения.

Такая строгая принципиальность создавала Г.А. Шайну большой авторитет и уважение. В то же время она оказала влияние на моральный облик сотрудников, работающих с ним. Рядом с Григорием Абрамовичем казалось невозможным поступиться истиной. Ироническая усмешка Г.А. Шайна действовала в таких случаях сильнее, чем длинные разговоры. В то же время Григорий Абрамович никогда не одобрял нападок на работу только из-за того, что имеются расхождения с ее автором вообще. Он всегда старался отделять научные отношения от личных.

В отношениях со своими сотрудниками Г.А. Шайн всегда стремился к той же справедливости. Он был крайне щепетил в вопросах авторства, боясь приписать себе малейшую долю творчества подчиненных. Он старался предоставлять каждому сотруднику, у которого видел задатки к самостоятельной работе, максимум возможностей для проявления инициативы. Внимательно следя за их работой, Г.А. Шайн старался не напоминать о своем надзоре, не помогал раньше времени. В то же время он не был "добрым" начальником, у которого можно ничего не делать. Будучи крайне требовательным к себе, отдав всю свою жизнь науке, Григорий Абрамович и от других требовал самоотверженности. Он мог месяцами работать со своими помощниками и лаборантами по вечерам, забыв о том, что уже скоро полночь, а на другой день, придя к 9 часам, выражать недовольство, если проработавший весь вечер сотрудник опаздывал на 15–20 минут. Отказавшись почти целиком от отдыха и развлечений, Григорий Абрамович мог забыть, что молодым сотрудникам хочется после работы сходить к морю, почитать, просто отдохнуть. Однако на это не обижались, так как видели, что он не делает исключения для себя. Характерно, что когда в последние годы здоровье Григория Абрамовича ухудшилось и он понял, что отдых необходим, то и к сотрудникам он стал менее требовательным, конечно в отношении внеурочной, а не основной работы. Если Григорию Абрамовичу казалось, что сотрудник недостаточно добросовестно или старательно относится к работе, то он терял к нему доверие. В дальнейшем Григорий Абрамович требовал от такого сотрудника соблюдения жесткой дисциплины, следил, чтобы он делал именно то, что поручено, делал замечания за незначительные провинности и опоздания. Особенно предосудительной с его точки зрения была нелюбовь к наблюдениям, в которых Г.А. Шайн видел основу работы астронома. Если же, напротив, Григорий Абрамович видел, что сотрудник действительно любит науку, он готов был всегда помочь ему, не считаясь с временем и силами. В этом отношении Г.А. Шайн не ограничивал свою помощь кругом только

своих сотрудников и аспирантов. Он охотно помогал и сотрудникам других отделов, обращавшихся к нему, и многочисленным корреспондентам из других городов. Характерно его отношение к письмам неспециалистов. Каждое астрономическое учреждение получает ежегодно десятки писем и рукописей, содержащих изложения новых космогонических теорий и других подобных "открытий". Как правило, в этих теориях нет ничего ценного, а авторы в большинстве случаев не имеют элементарных знаний. Однако Г.А. Шайн никогда не относился к ним пренебрежительно. Он старался по возможности ясно и подробно объяснить автору письма, в чем его ошибка. Г.А. Шайн говорил, что нужно ценить стремление людей к творчеству независимо от того, какими возможностями они обладают.

В исторических событиях, пережитых нашим отечеством, Григорий Абрамович всегда оставался патриотом, любящим свою родину, народ, русскую культуру. Свою любовь к отечеству он воплощал в повседневном самоотверженном труде.

Г.А. Шайн принимал участие в общественной жизни. В течение ряда лет он был депутатом Ялтинского городского совета и выполнял связанные с этим поручения. Много внимания Г.А. и П.Ф. Шайны уделяли детскому дому в Алушке: купили инструменты для струнного оркестра, устраивали утренники и другие мероприятия.

Говоря о Григории Абрамовиче как о человеке, нельзя не вспомнить следующий характерный эпизод. Г.А. Шайн всегда возражал против слишком высоких зарплат. Когда он получил Сталинскую премию, то сказал, что человеку не нужно столько денег, и попросил разрешения заказать на них инструмент и башню к нему. По различным формальным соображениям такое разрешение не было дано. Тогда Григорий Абрамович решил построить дом, предназначенный в будущем для престарелых астрономов, которые пожелают жить в обсерватории. Дом не был закончен при жизни Г.А. и П.Ф. Шайнов, однако на окончание строительства были оставлены по завещанию деньги.

Жизнь Григория Абрамовича Шайна была подвигом во имя науки. Хочется привести его слова из одного из последних писем к брату: "В творчестве человека, в его пути по милой земле приходит волнующий час – завершение поисков человека, его Лебединая Песнь! Собраться всем разумением и спокойствием, всеми силами, чтобы отдать Родной земле свои Труд и Любовь!"

1957 г.

М.Б. Попова*

Незабвенный Григорий Абрамович Шайн был родным братом моей матери. Я хотела бы отметить аспект личности и судьбы Г.А. Шайна, который, как мне представляется, недостаточно освещался в воспоминаниях других лиц. Этот тихий, очень непротивительный в быту, физически слабый человек обладал истинным бесстрашием. Когда он узнал о Пулковской трагедии, он заподозрил, что тут власть просто ошиблась, и стал писать Вышинскому, Ежову, потом Берии, Сталину. Его стали вызывать в НКВД, подолгу допрашивали, пугали, но он продолжал свое. Однако все, что он предпринимал, не приносило плодов: не открывалась дверь, не показывались улыбающиеся Перепелкин, Герасимович и другие. Здесь следует сказать, что от Пелагеи Федоровны не было слышно этого мещанского нытья, дескать, про тебя забыли, вот и сиди тихо, как умные-то люди делают. У нее к этому было, я бы сказала, народное отношение: "Как судьба! А если придется пострадать за правду – что ж, не мы первые, не мы и последние." Г.А. Шайн обратился к президенту АН СССР С.И. Вавилову, и они вместе написали письмо Сталину, но опять безрезультатно. Все эти сведения у меня от самого Григория Абрамовича и Пелагеи Федоровны. Одновре-

*Текст приводится в сокращенном варианте.

менно он стал разыскивать детей репрессированных, которые избежали отправки в детский дом, и систематически помогать им материально – это мне рассказала Ольга Михайловна Герасимович, которая отбыла свои десять лет за то, что она была женой репрессированного. Абсолютно чуждый любой политике человек, она работала в библиотеке Крымской обсерватории. Г.А. Шайн систематически присылал деньги ее дочке Танечке Герасимович, на нее и на тетю, у которой она воспитывалась. О.М. Герасимович называла и другие фамилии людей, которым присылалась помощь, но я забыла – 30 лет прошло!

Бесстрашие помогало Г.А. Шайну быть истинно принципиальным, а то ведь есть много умных и хороших людей, но они, решив, что "один в поле не воин", сидели смиренно.

Время шло, стали возвращаться те, которые отбыли свои 10 лет, те, которые выжили. Бывшие "лагерники" испытывали трудности с трудоустройством. Так вот, Г.А. Шайн, невзирая на яростное сопротивление своего заместителя, принял на работу в обсерваторию талантливейшего астронома Н.А. Козырева, специалистов высокого класса В.Ф. Газе и Е.Ф. Шапошникову, вдову Герасимовича Ольгу Михайловну. В.Ф. Газе – тут я цитирую слова Г.А. Шайна – "человек высочайших моральных качеств и силы духа"; зная ее рыцарский характер, Г.А. Шайн стал с ней непосредственно работать, чтобы быть "щитом" между ней и внешним миром. В.Ф. в профиль напоминала Данте, и точно, он был ее любимым поэт. Чтобы читать в подлиннике его и Петрарку, она изучила итальянский язык и наизусть читала нам строки, рождавшие ассоциации с морскими валами. Когда В.Ф. тяжело заболела, Г.А. и П.Ф. Шайны повезли ее в Москву, возили по врачам, поместили в лучшую больницу. В связи с бывшими репрессированными Г.А. Шайна снова беспокоили из НКВД.

У Шайнов часто устраивались вечера прослушивания классической музыки; обязательно приглашалась молодежь. Чаще всего все мы набивались в кабинет. В центре Григорий Абрамович "колдовал" у проигрывателя; в уголке в кресле уютно устраивалась с какой-либо починкой белья Пелагея Федоровна; я суежилась: подбирала себе "союзников", желающих прослушать то же, что и я; моя задача облегчалась, когда присутствовала Вера Федоровна Газе – я пристраивала свою "ладью" в "кильватер крейсера". Изредка меня тревожила совесть, и я спрашивала у Г.А., что он хотел бы послушать? "То же, что и ты!" Григорий Абрамович более всего любил слушать музыку И.С. Баха, например адажио из Сонаты №1 соль минор, Концерт для двух скрипок ре минор, Прелюдию № 10 си минор Баха-Зилоти и другие; В.А. Моцарта: Симфонический концерт для двух скрипок с оркестром ми-бемоль мажор, Концерт для фортепиано с оркестром ре минор и другие; нечетные симфонии Л. Бетховена, "Лунную", 15 вариаций, другие вещи. Юным студентом ему посчастливилось побывать в знаменитом Одесском оперном театре на опере А. Рубинштейна "Демон", мелодии которого глубоко запечатлелись в его душе. Арии из этой оперы, ее хоры мы часто прослушивали. В "Реквиеме" Дж. Верди есть место, напоминающее несколько тактов хора из "Демона", вот Г.А. и сказал как-то П.Ф. (в моем присутствии): «Кх-кх-мм, Пелагея Федоровна (они почти всегда называли друг друга по имени-отчеству), когда меня не будет, Вы будете сидеть в своем кресле с починкой и слушать "Реквием" Верди». П.Ф. пережила его на 23 дня.

Некоторые из наших знакомых интересовались религиозностью Григория Абрамовича. За исключением матери Марии Григорьевны, все в семье Шайнов не были религиозными, и Г.А. не был исключением. Помнится, как-то я с ним говорила об этом; всего не помню, но одно его суждение запало в памяти: "Все древние религии не знали жалости, сострадания, вообще гуманности, впервые она стала краеугольным камнем в учении Иисуса."

На конференции были прочитаны отрывки из мемуаров моего двоюродного брата Арнольда Шайна, проживающего в США. Меня стали спрашивать, как это часть

нашей семьи оказалась в Америке. Мария Григорьевна, моя бабушка, всю жизнь билась в нужде, была малограмотна, но жила в возвышенном нравственном мире, всегда *sursum corda* – "сердце горе", в неустанном душевном напряжении, цель которого – нравственное добро детей. В 1904 г., когда моей ныне покойной матери было 4 года, бабушка благословила старшую замужнюю дочь с мужем и своего четырнадцатилетнего сына Якова на эмиграцию. У Якова и его жены Анны родилось четверо сыновей: Бернард – математик, Арнольд – профессор-биохимик, Альвин – доктор медицины и Марти – профессор биологии. И в США сейчас живут многочисленные внуки и правнуки Якова.

В России у Марии Григорьевны оставалось пятеро детей: два врача – Давид и Александр, астроном Григорий, филолог Анна и моя мать Ревекка, окончившая консерваторию. Мой старший дядя Давид не верил "ни в сон, ни в чох, ни в птичий грай" и много добра делал людям, что ему, арестованному ЧК, спасло жизнь. С 1911 г. он жил в Тобольске, оплачивал людям учение, лечение, как там говорят – "зажигал свечу перед Господом". В 1-ю мировую войну он дослужился до подполковника медицинской службы. Когда в советское время его пригласили на должность главврача Омского биокOMBината, он с семьей переехал в Омск. Там глянули в его анкету, ужаснулись и ... арестовали. Когда об этом узнали в Тобольске, его "свечи" отрядили в Омск ходячих с заявлением, которое они все подписали. А в ЧК оказались не все злодеи, были и честные люди, они разобрались и выпустили Давида Абрамовича. Все это известно мне от его жены Екатерины Андреевны. Александр Абрамович, выпысывая рецепты, сам и деньги давал на лекарства, на это жаловалась его супруга Цецилия Абрамовна.

У российских Шайнов родилось два мальчика и две девочки. Аркадий Давидович Шайн, студент-отличник ленинградского института, пошел добровольцем на войну и погиб в 1942 г. под Ленинградом. Леонид Александрович Шайн вернулся с войны, стал выдающимся хирургом – со всей Украины съезжались к нему неоперабельные больные, – умер в 38 лет, достала-таки его война. Анна Давыдовна – врач, заведующая отделением капельных инфекций Омского мединститута. Я – астрофизик, оптик-теоретик, у меня 17 научных работ.

Апрель. 1992 г.

В.К. Прокофьев

Григорий Абрамович Шайн посещал проходившие у нас в Москве ежегодные совещания по спектроскопии АН СССР. Я часто присутствовал на таких совещаниях и видел там Григория Абрамовича. Он несколько опаздывал к началу совещания и скромно садился в конце комнаты. На таких совещаниях он искал ответы на возникавшие у него спектроскопические вопросы.

Исследуя спектры некоторых звезд и измеряя с высокой точностью длины волн, Григорий Абрамович часто сталкивался с существенным расхождением между лабораторными и астрофизическими длинами волн. Примером тому может служить его и П.Ф. Шайн статья "Дифференциальные систематические смещения линий в спектрах белых сверхгигантов", напечатанная в "Известиях Крымской астрофизической обсерватории" в 1949 г.

По-видимому, тогда у него родилась идея организовать в 1950 г. летом на Южном берегу Крыма, где в то время находилась Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР, совещание по астроспектроскопии.

На это совещание был приглашен ряд физиков – спектроскопистов, в том числе и я – в то время руководитель Лаборатории спектрального анализа в Государственном оптическом институте. Мне было интересно побывать на таком совещании. Мы выехали в Крым вместе с женой Ларисой Васильевной и поселились на несколько дней, насколько я помню, в самой обсерватории.

На этом совещании оживленно дискутировались причины расхождений между лабораторными и астрофизическими длинами волн, достигавших нескольких сотых долей ангстрема. При дисперсии оптических спектрографов, имевшихся тогда у астрономов, такие расхождения были весьма ощутимы,

Это совещание особо запомнилось мне беседой с Григорием Абрамовичем Шайном. Как-то он пригласил меня к себе в кабинет, и там во время разговора по астрономии, по задачам, стоящим перед обсерваторией и астрономами, по расхождению длин волн, он высказал предложение о моем переходе на работу в обсерваторию: я как физик-спектроскопист был бы весьма там полезным. Это предложение Григория Абрамовича меня несколько озадачило. Я не дал окончательного ответа, хотя к астрономии у меня давно был определенный интерес. Еще будучи в 8 классе классической гимназии, весной 1916 г., я занимался наблюдением Солнца в небольшой трехдюймовый телескоп, бывший в физическом кабинете, старательно зарисовывал солнечные пятна. Осенью того же года, поступив в университет, стал проводить наблюдения переменных звезд, изготовив из подручных оптических линз небольшой телескоп. Таким образом, еще в 1916 г. я готовился стать астрономом.

И вот, предложение Григория Абрамовича Шайна зародило у меня мысль о переходе в Крымскую астрофизическую обсерваторию.

Эта мысль была осуществлена летом 1957 г., когда мы окончательно переехали в уже новую обсерваторию, построенную в Крыму за селом Прохладное (бывшим Мангушем), куда уже была направлена после окончания Ленинградского университета моя дочь — астрофизик Валентина Владимировна.

Так я осуществил предложение Григория Абрамовича Шайна. Однако идеи, высказанные на астроспектроскопическом совещании в 1950 г., крепко засели в моей голове, и мы начали работать над сдвигами термов Fe I, Ti I и Ni I вместе с сотрудницей Г.А. Терез. Результаты этой довольно большой работы были опубликованы в 39-м томе "Известий Крымской астрофизической обсерватории", где было показано, что сдвиги термов этих атомов возрастают пропорционально квадрату энергии терма.

1992 г.

И.И. Проник

50-е годы в Симеизской обсерватории были отмечены особенно напряженной и плодотворной работой. Только что закончилась война, и энтузиазм был всеобщим. Этот энтузиазм сопровождался определенной музыкальностью. В солнечной башне Андрей Борисович Северный и Володара Васильевна Сидоренко пели арии из опер, около своего электрофотометра насвистывал классическую музыку Владимир Борисович Никонов. Проходя мимо крохотной механической мастерской, где ученый механик Павел Тимофеевич Козлов творил чудеса техники, можно было слышать, как он поет "Очи черные" или "Соколовский хор у яра". Молодежь на прогулках пела бодрые походные песни. Любимой была "Идут, идут три курицы". У нас были даже свои поэты и композиторы. Ставшую широко известной песню "Астроному астроном" написала сотрудница ГАИШ Елена Борисовна Костякова, которая в то время часто приезжала в Симеиз для наблюдений.

Но самой значительной была музыка в доме Шайнов. Григорий Абрамович привез из командировки в США много пластинок с записями классической музыки, и она часто звучала в его доме. И.С. Шкловский написал, что Григорий Абрамович особенно любил "Реквием" Дж. Верди; родственники рассказывают, что он любил оперу Рубинштейна "Демон". А нам, молодым специалистам, было известно, что он любил музыку Бетховена, особенно его Пятую симфонию. Эту же симфонию очень любила и Вера Федоровна Газе. Шайны часто приглашали Веру Федоровну слушать музыку. Иногда на музыкальные вечера приглашались и другие сотрудники, в том числе и

молодежь. Звучала музыка Чайковского, Моцарта, Бетховена. Для нас эти вечера были замечательны по многим причинам. Во-первых, потому что сами мы вели спартанский образ жизни, а в доме Шайнов мы встречали тепло, уют, вкусный ужин, пирог, чай. Во-вторых, потому что в советских консерваториях мы слышали оркестры под управлением Кирилла Кондрашина, Константина Иванова, Натана Рахлина. Симфонии Чайковского ими интерпретировались в духе Бетховена. У Шайнов на пластинках были записи тех же симфоний, но в исполнении оркестра под управлением Стоковского, у которого они звучали более лирично.

Были и вечера, когда музыку слушали в связи с определенными событиями. Помнится, что нас пригласили по случаю кончины президента Академии наук Сергея Ивановича Вавилова. Григорий Абрамович рассказал нам о нем, а потом мы слушали "Реквием" Моцарта.

Однажды нас пригласили слушать музыку по случаю лунного затмения. По-видимому, это было полное лунное затмение 19 января 1954 г. Слушали "Лунную сонату" Бетховена. В этом прослушивании было что-то необычное, сказывалось особое чувство природы, присущее Григорию Абрамовичу, которое передавалось и нам. В некрологе Вере Федоровне Газе он писал: "У В.Ф. Газе было очень острое чувство природы, усиленное впечатлениями астронома-наблюдателя, который остается один на один перед ночным небом в течение многих часов наблюдений". Эти слова полностью относятся и к самому Григорию Абрамовичу. Он действительно по-особому относился ко всем астрономическим явлениям. Вот интересный пример.

Григорий Абрамович с сотрудниками тщательно готовились к наблюдениям полного солнечного затмения 30 июня 1954 г. Экспедиция располагалась вблизи города Новомосковска. Стояла жуткая жара, все ходили по-пляжному. Всегда тщательно одетый, Григорий Абрамович позволил себе работать в пижаме. Но когда приблизился момент затмения, он вышел из своей палатки в брюках, белой рубашке и в галстук. К сожалению, наблюдению спектра большой короны Солнца помешала густая дымка. Но все же фотографию спектра внутренней короны Г.А. Шайн и С.Б. Пикельнер получили. (Об этом можно прочесть в заметке С.Б. Пикельнера в 13-м томе "Известий Крымской астрофизической обсерватории") Сразу же после выхода Солнца из-за Луны Григорий Абрамович позвал к своей палатке участников эксперимента и поздравил с важным событием в жизни – наблюдением полного солнечного затмения. Он открыл бутылку шампанского, которую мы и выпили по этому случаю.

Необычное восприятие Григорием Абрамовичем природы, музыки, науки передавалось тем, кто имел счастье видеть его в работе и в жизни. Оно, безусловно, сказывалось и на его увлеченном, самоотверженном служении любимому делу.

Апрель. 1992 г.

А.Б. Северный

В области экспериментальной астрофизики успех зависит от способности ученого к самоотверженной работе, его умения получать высококачественный, надежный материал, от его любовного, заботливого отношения к технике наблюдений.

Григорий Абрамович для многих, знавших его и работавших с ним, был примером ученого, у которого все эти качества счастливо сочетались. На меня всегда производила большое впечатление его преданность наблюдательной работе: нередко, возвращаясь в Симеиз после крайне утомительной поездки на место будущей новой обсерватории, где мы сейчас живем и работаем, Григорий Абрамович всю ночь проводил у телескопа – в то время, в 1949–1951 годы, он был увлечен поисками новых водородных туманностей. Другая ценная черта, которую нам не следует упускать из вида: Григорий Абрамович, будучи академиком и директором обсерватории, не считал для себя зазорным резать пластинки, заряжать кассеты и гидировать телескоп –

делать то, что некоторые считают лаборантскими обязанностями. До самых последних лет своей жизни Григорий Абрамович не забывал труда астронома-наблюдателя со всеми его подчас тяжелыми особенностями, когда в стужу и ветер приходится не один час проводить у телескопа.

Григорий Абрамович умел получать материал отличного качества сравнительно скромными средствами. Он знал, что для этого нужно очень много заботы и труда вложить в технику наблюдений. Он как-то сказал горькую истину о своей работе и работе всякого экспериментатора: "У меня 80 процентов жизни ушло на юстировку". Такова судьба всякого экспериментатора, и нужно иметь большое мужество, чтобы примириться с этим и идти сознательно на такое расходование своих сил. Зато результаты окупают все затраты энергии: фотографии водородных туманностей, многие спектрограммы, полученные на 40" рефлексоре, остаются непревзойденными по качеству для инструментов такого класса.

Наконец, нельзя не вспомнить замечательную способность Григория Абрамовича видеть и чувствовать новое в науке: без этого ему не удалось бы сделать тех многих важных и глубоких выводов, которыми характеризуется все творчество Г.А. Шайна как ученого.

Начатое по инициативе Григория Абрамовича строительство большого 2,6-метрового телескопа завершается его последователями, и лучшей памятью Г.А. Шайна является то, что новый телескоп носит его имя. Не случайно первое исследование, правда пока еще разведывательного характера, выполненное в 1961 г. на этом телескопе, теснейшим образом связано с циклом тех работ, которые интересовали Григория Абрамовича в последние годы его жизни, — это распределение светящегося водорода в галактиках. Новый телескоп позволил распространить на многие другие галактики то, что было доступно Григорию Абрамовичу только для нашей Галактики. Обнаружение многих новых водородных внегалактических туманностей за ЗТШ является продолжением и развитием исследования Григория Абрамовича.

Нет сомнений в том, что работы на зеркальном телескопе имени академика Г.А. Шайна дадут много достойного его памяти.

1962 г.

В.В. Соболев

Мы познакомились с Григорием Абрамовичем Шайном осенью 1937 г. в Симеизской обсерватории. Тогда я был студентом пятого курса Ленинградского университета, желающим стать астрофизиком. Заведующий кафедрой астрофизики Виктор Амазаспович Амбарцумян, проявляя прекрасное ко мне отношение, решил направить меня на двухмесячную стажировку в Симеизскую обсерваторию. Я приехал в обсерваторию с рекомендательным письмом от него к Г.А. Шайну, который встретил меня весьма любезно и сразу пригласил на ужин. В то время Пелагея Федоровна находилась в отъезде и хозяйкой ужина была Вера Федоровна — ее премияница и жена Виктора Амазасповича. Так я познакомился и с Верой Федоровной, вполне дружеские отношения с которой сохраняются до сих пор.

Во время ужина Григорий Абрамович подробно расспрашивал меня о положении в Ленинграде и в Пулковской обсерватории. Следует иметь в виду, что тогда шел 37-й год и многие пулковские астрономы были арестованы. Не избежал этой участи и директор обсерватории профессор Б.П. Герасимович, о котором Григорий Абрамович говорил с особым сочувствием, называя его неизменно Борисом Петровичем. Потом через несколько месяцев я был на собрании в Пулкове и слышал, как Григорий Абрамович говорил с трибуны в том же духе, чем вызывал гневную отповедь некоторых из присутствовавших, считавших недопустимым называть по имени и отчеству "врага народа". Впоследствии выяснилось, что Григорий Абрамович не

только сочувственно говорил об арестованных пулковских астрономах, но и направлял письма в высокие инстанции с ходатайством об их освобождении. По тем временам такое поведение было актом большого гражданского мужества. Оно заставляет удивляться и восхищаться особенно потому, что Григорий Абрамович был человеком на редкость тихим и скромным.

Вспоминая мое пребывание в Симеизской обсерватории, должен сказать, что она произвела на меня неизгладимое впечатление. Весь коллектив обсерватории был совсем небольшим, а астрономов можно перечислить по пальцам. В обсерватории тогда работали Григорий Абрамович Шайн и его жена Пелагея Федоровна, Григорий Николаевич Неуймин и его жена Мария Николаевна, Владимир Александрович Альбицкий (если не ошибаюсь, с сестрой), Серей Иванович Белявский. Все сотрудники жили в одном небольшом доме (с общей кухней). В том же доме находились рабочие помещения обсерватории, состоящие всего из двух комнат, одна из которых была лабораторией, а другая библиотекой. Гордостью обсерватории был метровый рефлектор – самый крупный телескоп в нашей стране в то время. На этом телескопе и двух-трех инструментах меньшего размера велись регулярные наблюдения с очень большой нагрузкой, приходившейся на каждого астронома. Высокая квалификация сотрудников и идеальная организация работы обеспечили трудам обсерватории мировое признание. Особенную известность получил "Каталог лучевых скоростей звезд", составленный Григорием Абрамовичем Шайном и Владимиром Александровичем Альбицким, а также открытия большого числа астероидов и комет, сделанные Н.Г. Неуйминым и С.И. Белявским. На мой взгляд, по эффективности работы Симеизская обсерватория может служить великолепным примером для наших современных крупных обсерваторий.

Моя стажировка, проходившая под руководством Григория Абрамовича, была для меня чрезвычайно ценной. Я научился работать на телескопах, получать спектрограммы звезд и обрабатывать их. Много времени уделялось изучению Новой Геркулеса 1934 года и, в частности, определению лучевых скоростей ее оболочки. Мое рабочее место находилось в библиотеке, а рядом работал приехавший из Москвы Э.Р. Мустель, с которым у меня завязались приятельские отношения. Впоследствии, через много лет, Эвальд Рудольфович посмеиваясь говорил, что я не столько измерял лучевые скорости, сколько читал "Историю математики" Феликса Клейна. Вероятно, было и то, и другое, ибо практической астрофизикой я с тех пор уже не занимался, а некоторые знания в этой области у меня все-таки сохранились.

Сразу после войны я защитил докторскую диссертацию, основное содержание которой было изложено в монографии "Движущиеся оболочки звезд", опубликованной в 1947 г. издательством Ленинградского университета. А в следующем году в журнале "Советская наука" появилась рецензия на нее, написанная академиком Г.А. Шайном. Мне было очень приятно узнать, что Григорий Абрамович меня помнит и благожелательно относится к моим работам. Недавно я еще раз прочитал эту рецензию (через 40 с лишним лет!) и убедился, что сделанные в ней прогнозы относительно развития физики нестационарных звезд в значительной мере оправдались.

В послевоенное время мы встречались с Григорием Абрамовичем преимущественно на различных конференциях. Одной из них была Конференция по звездным ассоциациям, состоявшаяся в 1949 г. в Бюраконе. Как известно, против открытых В.А. Амбарцумяном ассоциаций выступил Б.А. Воронцов-Вильяминов, считавший их эффектом коридоров прозрачности в Галактике. В ходе обсуждения этой проблемы было принято любопытное предложение: просить бюраканцев представить две наилучшие ассоциации, а Б.А. Воронцова-Вильяминова – попытаться их опровергнуть. Мы с Григорием Абрамовичем участвовали в работе комиссии по выработке решения конференции. В результате было признано реальное существование ассоциаций как нового типа звездных систем и вместе с тем была отмечена справедливость некоторых критических замечаний в адрес бюраканских астрофизиков.

В последние годы жизни Г.А. Шайн выполнил важные исследования диффузных туманностей в Галактике. По моей просьбе он сделал доклад на семинаре кафедры астрофизики Ленинградского университета, в котором подробно рассказал об открытых им туманностях разных типов и о характере связи между туманностями и звездами. Доклад, вызвавший исключительный интерес, стимулировал большое число работ в этой области (в частности, по определению поляризации света туманностей).

Григорий Абрамович скончался в 1956 году, оставив после себя замечательный памятник – Крымскую астрофизическую обсерваторию, основателем и первым директором которой он был. Впоследствии под руководством Андрея Борисовича Северного Крымская обсерватория достигла огромных успехов. Мне особенно близка эта обсерватория, так как в ней работали и работают многие мои ученики. Я часто приезжал туда и всегда с самыми теплыми чувствами вспоминал Григория Абрамовича Шайна – крупного ученого и в высшей степени интеллигентного человека.

Апрель. 1992 г.

Е.К. Харадзе

Теперь уже лишь немногие из работников Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузии, переживших в Абастумани вместе с группой симеизских астрономов, возглавляемой академиком Шайном, первые суровые годы Великой Отечественной войны, полны воспоминаний о двух выдающихся личностях – Григории Абрамовиче и Пелагее Федоровне Шайнах.

Невеселые были причины, которые неожиданно свели наши коллективы в то время тяжких переживаний и тревожных дум о судьбах родных народов, родной науки, родных людей, когда стали уже доноситься до нас горькие вести о разрушениях храмов науки, о гибели людей, о мрачных видах на будущее; когда неопределенность перспективы возрождения наших научных занятий, неясность всего грядущего довлела над нами гневом и кажущейся безысходностью.

Но именно эта обстановка и проблески в ней надежды и веры в победу добра, исходящие из присутствия среди нас двух мудрых личностей, мудрых умом и сердцем, сплачивали нас, поднимая дух взаимной привязанности и доверия, вселяли бодрость, крепя патристическую тягу к неустанной работе, к повышению профессионализма во имя служения народу, оказавшемуся в беде, что так важно было для нашего абастуманского, тогда еще совсем молодого коллектива, находящегося на начальном пути становления новой, первой в стране горной астрофизической обсерватории.

Работа под наблюдением выдающегося ученого Григория Абрамовича, рядом с Пелагеей Федоровной, беззаветно преданной интересам науки и людям науки, безусловно, оказывала благотворное влияние на коллектив, для которого откровением были их высокие душевные качества, повышенное чувство гражданственности, безусловно доброжелательное отношение к младшим коллегам. Это влияние способствовало формированию среди нашей молодежи не только профессионализма, но и ее высоких гражданских свойств.

Все это мы вспоминаем с чувством благодарности к светлой памяти Шайнов, ассоциируя ее при этом с добрым научным сотрудничеством в течение следовавших за теми годами многих десятилетий с астрономическими сообществами Симеиза, Крыма и всех республик бывшего Союза.

Весьма сожалеем, что, переживая в настоящее время годину невзгод, мы лишены возможности прибыть на Шайновскую конференцию. Но смотрим на будущее с оптимизмом. И на то есть основания. Мы полны стремлений не ослаблять бывшие научно-творческие связи, а крепить их и развивать энергичнее и дружнее на пользу всем.

Март. 1992 г.

В 1938 г. я приехал на заработки в Ялту, работал пильщиком дров. Наша группа занималась пилить дрова в санатории и другие учреждения. Однажды нас пригласили поработать в Симеизскую обсерваторию. Директором обсерватории был Григорий Николаевич Неуймин, но мы имели дело с завхозом Михаилом Матвеевичем Беликовым. Он предложил нам попилить бревна на доски. В это время я и познакомился с Серафимой Валерьевной Некрасовой, Петром Павловичем Добронравиным. Шайны тоже там были, но мы с ними не встречались.

На работу в Симеизскую обсерваторию шофером я поступил летом 1946 г. после демобилизации из армии. Директор обсерватории Григорий Абрамович Шайн был в это время в Америке. Его замещал Петр Павлович Добронравин. Главный корпус обсерватории во время войны был почти полностью разрушен и сожжен, и шло его восстановление. В качестве рабочей силы использовали пленных немецких солдат. Я возил их на грузовике ежедневно из лагеря, который размещался в Ореанде. На работу меня приняли как бы условно, так как у меня был только водительский класс 3, а для перевозки людей по сложным крымским дорогам требовался водительский класс 2. Обсерватория пошла мне навстречу и заплатила за меня деньги на шоферские курсы в Ялте, которые я посещал каждый вечер после того, как отвозил пленных рабочих в Ореанду. В то время в обсерватории было два шофера: я и Чернышев Иван Ефремович. Государственного транспорта не было. Мы возили сотрудников обсерватории по делам в Ялту и Симферополь. Время было голодное, в магазинах ничего не было, и администрация организовывала также поездки сотрудников на грузовике в Ялту на базар. Чаще других приходилось возить в Симферополь Григория Абрамовича, когда он вернулся из США, на железнодорожный вокзал, в аэропорт и обратно. Он часто уезжал по делам обсерватории в Москву или Ленинград. У меня была зарплата низкая – 75 рублей в месяц, а жена моя тогда еще не работала. По карточкам давали только хлеб – на двоих 0,5 кг в день. Других продуктов практически не было. Буханка хлеба на рынке строила 100 рублей. Григорий Абрамович как мог облегчал нашу жизнь. Обсерватория оплачивала нашу квартиру, которую мы снимали в соседней деревне за 100 рублей в месяц. Когда Григорий Абрамович ездил в Симферополь, он платил мне за каждую поездку 10 рублей. Он говорил: "Нам бесплатно нельзя ездить". Когда обсерватория получила "запасной продовольственный фонд", который состоял из нескольких килограммов пшена, Григорий Абрамович просил разделить его между тремя самыми малооплачиваемыми семьями – нашей, Анны Ивановны Беликовой и Евгении Артемьевны Боровик. Иногда нам давали и премию. А когда Григорий Абрамович получил государственную премию, он дал нам с женой 300 рублей. Для нас это был большой капитал. Через некоторое время Григорий Абрамович нашел возможность принять на работу в обсерваторию и мою жену Марию Каллистратовну. За работу дворником она получала зарплату 41 рубль в месяц.

Все в обсерватории знали необыкновенную доброту Григория Абрамовича. Он был добрым ко всем людям и животным. Жена Мария вспоминает, как она однажды поливала клумбу около главного здания обсерватории и увидела, что Григорий Абрамович вышел на улицу, зажав в кулаке часть рукава рубашки. Это он поймал муху и нес ее, чтобы выпустить на улицу. Домработница Шайнов Надежда Артемьевна рассказывала, что однажды ей из соседней деревни Лимены женщина принесла живую курицу для шайновского обеда. Об этом узнал Григорий Абрамович и просил обратно отнести этой женщине живую курицу, заплатив ее строимость. У крестьянина Балацкого, который жил в Лименах, была смертельно больна жена. Крестьянин был бедным и не мог покупать лекарства. Он пришел к Григорию Абрамовичу взять денег взаймы. Когда жена умерла, он пришел вернуть долг, но Григорий Абрамович деньги не взял. Об этом узнали другие жители деревни и стали приходить к Григорию Абрамовичу за деньгами, но он объяснил им, что так просто давать каждый раз деньги он не может.

Были поездки и на строительство новой обсерватории вблизи села Партизанское Бахчисарайского района. Тогда хороших дорог не было. Ездили по узким извилистым дорогам либо через Ай-Петри, либо через Байдарские ворота. Дорога там сложная – подъемы тянутся по 20 км, что отнимало целый час езды, и спуски такие же сложные – тоже по целому часу. Весь путь от Симеиза до Академстроя около Партизанского занимал до 4 часов. Обычно выезжали очень рано утром. Григорий Абрамович требовал, чтобы машину подавали без задержек к тому времени, которое он назначал. В новой обсерватории в то время строились жилые дома, башни 16" и 50" телескопов и коронографа. Работы было много. Домой приезжали обычно поздно вечером.

В свободное от работы время сотрудники иногда собирались вместе. У нас был свой хор. Мы с женой в нем участвовали. Очень хорошие голоса были у Павла Тимофеевича Козлова, Алексея Алексеевича Павловского, Антонины Миновны Мониной и у других. Баянист к нам приезжал из Кикенеиза. Шайны очень любили, когда концерты нашего хора проходили у них в квартире. Слушателями были все сотрудники, которые не пели в хоре. Наше пение встречалось с большой радостью и бурными аплодисментами.

Новогодние встречи также проходили всем коллективом вместе. Часто каждому из сотрудников преподносили небольшие подарки.

Возили сотрудников и на пляж по выходным дням купаться на море. Ездили все на грузовике. Иногда в этих поездках участвовали и Шайны, но очень редко. В этих случаях Григорий Абрамович, человек слабого здоровья, всегда ездил наверху вместе со всеми сотрудниками, уступая место в кабине моей жене.

В последние годы, уезжая из Симферополя в Москву, Григорий Абрамович часто стал говорить: "Везу заявление, буду просить, чтобы директором назначили Андрея Борисовича Северного". Когда Григорий Абрамович возвращался, я его спрашивал: "Ну как?". Он сокрушенно отвечал: "Пока еще директор".

Когда у Григория Абрамовича было торжество по случаю его 60-летия, Шайны пригласили всех сотрудников в гости. Так как помещение у них было маленьким, то приглашали по очереди. В первую очередь были приглашены все сотрудники обслуживающего персонала, в том числе и мы. Потом – молодые специалисты, а в конце уже все старшие научные сотрудники. Столы были очень красиво накрыты, нас очень хорошо угостили.

Григорий Абрамович и Пелагея Федоровна были тяжело больны. Они умерли почти одновременно. На похоронах мы с женой не присутствовали, так как были в это время в отпуске.

Теперь мы часто вспоминаем хорошего, доброго человека, первого директора обсерватории Григория Абрамовича Шайна.

Апрель. 1992 г.

В.Л. Хохлова

В 1950 г. наша группа выпускников Московского университета из 5 человек приехала по распределению работать в Крым в обсерваторию. Уже в то время мы в общем представляли себе, что Крымская обсерватория – это учреждение, которое находится на самом высоком мировом уровне по своим результатам, и что там работают люди, у которых есть чему учиться. Возможно, это было связано с тем, что Иосиф Самойлович Шкловский читал факультатив на физфаке. В общем при наших скудных знаниях тогда мы, тем не менее, уже понимали, что едем в место очень достойное. В нашей группе были Гор Семенович Иванов-Холодный, Эмиль Ефимович Дубов, Майя Сигал и я – физики, и Ираида Ивановна Назарова (Проник) – выпускница мехмата; и еще в этом же году приехал из Ленинграда Иван Михеевич Копылов. Часть из нас сразу была распределена в отдел Григория Абрамовича Шайна, несколько человек попали в солнечный отдел, в том числе и я.

В то время Крымская обсерватория была небольшим учреждением, в эти трудные послевоенные годы она только начала восстанавливаться. Мы все между собой общались и прекрасно воспринимали ту обстановку и ту атмосферу, которые определялись в основном Григорием Абрамовичем Шайном.

50-й год – это был год, когда Григорий Абрамович получил самую высокую тогда в нашей стране премию – Сталинскую I степени – за работу по обнаружению в углеродных звездах большого обилия изотопа ^{13}C . Эта работа была тогда совершенно капитальной, потому что в то время представления об эволюции звезд находились еще в самом зачаточном состоянии: звезды "эволюционировали" в любую сторону как угодно и в общем еще только формировались представления о звездной эволюции и о тех процессах, которые происходят внутри звезд. И этот первый результат Шайна, как я вспоминаю, вызвал полнейшее недоумение, потому что все теоретические расчеты показывали, что так не может быть, так как это противоречит известному циклу Бете. После этого физики проверили все детали этого цикла, нашли ошибки в сечениях реакций, которые участвуют в углеродном цикле превращения водорода в гелий, и после внесения поправок оказалось, что то, что нашел Григорий Абрамович – отношение изотопов $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C} = 1:4$ вместо 1:90, полученного для земных пород и Солнца, – именно это соотношение 1:4 и обеспечивается новыми значениями сечений в ядерной реакции. Это было очень крупное достижение, и оно было оценено во всем мире.

Я очень хорошо помню то колоссальное трудолюбие, которое было видно в работе Григория Абрамовича и его сотрудницы Веры Федоровны Газе. Вера Федоровна – это вообще незабываемый человек. Тому, кто с ней общался, забыть ее совершенно невозможно: очень яркий, высокой интеллигентности ленинградский человек, ближайшая помощница Григория Абрамовича. Пелагея Федоровна Шайн тоже была невероятно трудолюбивым человеком. И если Григорий Абрамович занимался с Верой Федоровной туманностями – они уже начали тогда исследовать газовые туманности, – то Пелагея Федоровна сидела тогда над той работой, которой потом занялись Копылов, Ираида Ивановна Назарова, Эмма Семеновна Бродская – спектральной классификацией звезд. Приходишь, поднимаешься наверх и видишь – такие большие пластинки с 16-дюймовика, установленного тоже почти на наших глазах, и они сидят и работают с лупами с этими пластинками. Ночью наблюдают, потом отдых до 12 часов, после обеда снова за работу. Бывало, слышишь, как хлопает дверь в квартире Шайнов (мы сидели внизу), раздается легкое такое покашливание (он страдал немного астмой), Григорий Абрамович поднимается по лестнице и вот он уже работает. Вера Федоровна в 12 часов дня приходит проявлять пластинки, снятые за ночь. Если кто-нибудь из молодых насвинячил в фотографичке, то раздается ее негодующий голос. Эта рабочая обстановка в воспитательном отношении оказывала колоссальное воздействие. Я считаю, что самым большим везением в моей жизни было то, что я попала в эти годы в обсерваторию.

Но еще я хочу рассказать по то, как Григорий Абрамович относился к нам, молодым. Дело в том, что жизнь тогда на Кошке была довольно трудной из-за послевоенной разрухи. Мы в общем-то ходили бог знает в чем, было голодно, а главное, зимой прекращалось всякое сообщение с обсерваторией, была плохая погода, сырость, холодные ветры, наступала депрессия. И Григорий Абрамович прекрасно понимал, что нас надо поддерживать морально. И вот несколько раз в году он приглашал молодежь к себе в гости. У него тогда была домработница Надежда Артемовна, которая жила там еще с довоенных времен. Она обегала всех и предупреждала: "Приходите сегодня к Григорию Абрамовичу «на музыку» в такое-то время". И мы страшно радовались. Григорий Абрамович из поездки в Соединенные Штаты привез автоматический проигрыватель, который тогда казался техническим чудом. Ставилась стопка больших пластинок, и звучал, допустим, 2-й концерт Листа или что-нибудь еще очень хорошее; как только одна часть заканчивалась, в проигрыватель "шлепалась" автоматически

новая пластинка и концерт продолжался без перерыва! И вот мы сидели, слушали эту музыку, а после бывали беседы. Вера Федоровна тогда как-то спонтанно читала стихи. Теперь-то я понимаю, что это были стихи Ахматовой, или Цветаевой, или Гумилева. Но тогда мы этого ничего не знали. Вообще, мы были темные и зеленые совершенно. А еще они рассказывали. Причем Григорий Абрамович рассказывал что-нибудь из истории астрономии. Обо всем он говорил с таким очень добрым, мягким юмором. А потом нас угощали.

Надежда Артемовна всегда пекла пирог, который Вера Федоровна называла "пирог-неудачник". Но, конечно, для нас это было высшее лакомство – большой яблочный пирог! И еще нас чем-нибудь кормили. В общем это было так великолепно, так поднимало дух!

Ведь помимо материальных трудностей, время до 1956 г. было очень смутное, тяжелое и в мозгах было черт знает что. И Григорий Абрамович не только поддерживал нас, но и показывал, как надо жить – я бы так сказала.

Жил он очень скромно, в квартире у него было просто необходимые вещи, которые обеспечивали нормальную жизнь. И поэтому, когда мы туда приходили, мы как-то отогревались и оттаивали.

Конечно, позже, уже задним числом, когда мы многое узнали, мы поняли, как ему в общем-то было трудно и тяжело в то время. Ведь говорить прямо о тех вещах, из-за которых он, наверное, тогда переживал, он не мог, но понимал, что надо в нас как-то поддерживать добро, и делал это. Только много лет спустя, когда все мы стали взрослыми, мы поняли все величие этого человека и подвиг, который представляла его жизнь.

Апрель. 1992 г.

П.В. Щеглов

Я был связан с Г.А. Шайном в самом начале своей деятельности, и началось все это в ГАИШе. Я хочу рассказать о Г.А. Шайне как об организаторе работ по новой астрономической технике.

Дело в том, что Г.А. Шайн решительно способствовал применению появившихся, вернее, ставших доступными после войны электронно-оптических преобразователей для астрономических исследований (отечественные ЭОПы применялись еще во время Сталинградской битвы) и предоставил свою обсерваторию в Симеизе для этих дел. Результаты получились хорошие, и сразу стало ясно, что это мощная техника и, значит, ею надо заниматься. Он участвовал в этих работах по-разному, вплоть до защиты занимавшихся ЭОПами тех или иных сотрудников от других, которые хотели, скажем так, принести им вред.

Потом прошло несколько лет, и электронно-оптические преобразователи появились в ГАИШе. Во время одного из совещаний мой шеф И.С. Шкловский пригласил ко мне Г.А. Шайна и говорит: "Покажите новые трубки". Я открыл сейф и показал. Он посмотрел и мгновенно отреагировал: "Слушайте, какие они маленькие стали! Вы где наблюдаете?". Я собирался наблюдать у В.Г. Фесенкова в Алма-Ате на максутовской камере диаметром 50 см, причем давали мне ее всего на несколько ночей в месяц. Г.А. Шайн сказал: "Приезжайте ко мне в Симеиз, я вам отдаю камеру 640 мм на всю Луну", т.е. на все то время, когда Луна видна на небе и мешает наблюдать слабые туманности по его программе.

Я сказал, что надо договориться о разных деталях: мне нужен сухой лед, кое-что еще, пятое-десятое... В ответ – "Пишите!" Дальше началась переписка аспиранта Щеглова с академиком Шайном. Письма у меня эти сохранились. Я пишу: "Глубокоуважаемый Григорий Абрамович, мне нужен чертеж кассетной части Вашей камеры с точным указанием размеров, где фокальная." Через неделю приходит письмо: каль-

ка, на которой дрожащей старческой рукой все переведено с заводского чертежа. "Глубокоуважаемый Петр Владимирович, посылаю Вам чертеж кассетной части. Посмотрите, фокус вот здесь, это – так, то – так, фокусировка идет отсюда. Сухой лед я, однако, не достал. Но, знаете, Петр Владимирович, я Вас заверяю, что когда Вы приедете, примерно тогда-то, то сухой лед будет."

Такая переписка шла, и в конце концов я попал в Симеиз. Все было прекрасно организовано: "Вот Ваша раскладушка, вот – баллон стоит, вот киловольтметр, вот камера. Но, знаете, Вы без одного дела не обойдетесь. Идемте со мной". Пошли вниз и зашли в мастерскую. Там мы встретили Павла Тимофеевича Козлова, механика обсерватории. Павел Тимофеевич был питерским мастером-прибористом, в свое время он изготовлял детали и собирал гравиметры для экспедиции Папанина. В.Б. Никонов сманил его из Ленинграда: у того в блокаду погибли все родственники и ему нужно было уехать все равно куда. Эта мастерская до сих пор вспоминается мне как идеал того места, где надо и можно заниматься экспериментом. Г.А. Шайн сказал: "Павел Тимофеевич, познакомьтесь, пожалуйста, с Петром Владимировичем". Петр Владимирович со всем великолепием аспирантского качества пожимает руку: "Ну, что же, Петр Владимирович, вот Вам ключ от мастерской. Пожалуйста, заходите, делайте все, что нужно. Только кладите все на место. Вот одна такая просьба". Этот "университет" Павла Тимофеевича прошли все наблюдатели – симеизцы Крымской обсерватории, и Чуваев, и Иванов-Холодный, и Иван Михеевич Копылов, и Володя Проник. И это очень способствовало тому, что потом трудностей с приборами не было.

На камере все сразу получилось, и я сделал довольно хорошую работу, которая была впоследствии защищена. А Г.А. Шайн продолжал интересоваться, хотя был уже сильно болен, и иногда отлавливал меня на дорожке, отводил к скамеечке под двумя каштанами и говорил: "Садитесь, рассказывайте, что у Вас получается". И я рассказывал. "Ну, а что вы думаете делать дальше?" Он помнил результаты наблюдений 1949–1951 годов по ночному небу и центру Галактики и соображал, что же можно сделать еще. Уже тогда В.И. Красовский – основоположник отечественной электронной телескопии – ему все объяснил; в дальнейшем в "Докладах АН СССР" появилась статья В.И. Красовского, представленная Г.А. Шайном. В этой статье В.И. Красовский писал о новой электронной технике, о том, как она позволит осуществить счет фотонов. Статья Красовского датирована 1951 годом. Панорамные счетчики фотонов работают в нашем отечестве уже года три, а на Западе – лет десять.

Кстати говоря, у меня не создалось впечатления, что академик Г.А. Шайн был далек от прозы житейской. У него в обсерватории все было очень хорошо организовано. Магазин был неплохой, а кормежкой приезжих астрономов и аспирантов занималась Елизавета Алексеевна, которая готовила всем один раз в день очень вкусную еду. И все ели. А дальше – кто шел наблюдать, кто – куда. Но с купанием, конечно, тоже были истории. Тогда только начали осваивать, прочтя известное руководство Олдриджа, культурное подводное плавание с маской и ластами. Но когда ныряешь без маски и у тебя все носовые и ушные проходы в нормальном состоянии, то вода заливается иногда очень глубоко. И вот, сидишь, ведешь ученую беседу с Шайном, и вдруг из носа у тебя выливается кубиков 50 морской воды, которая там где-то наверху днем аккумулировалась. И Шайн никогда при этом не подавал виду, что это нарушает ход мысли. Но если происходил какой-либо беспорядок в работе, то это сразу почему-то становилось ему известно.

Был однажды в Симеизе московский студент-практикант П. И вот он на второй башне (на Дагмаре) сумел сжечь купольный мотор. Ведь бывают очень "изобретательные" практиканты. (Один из них уже в новой обсерватории сумел сжечь аж пробки Бахчисарая! Потом он хвастался, что по ПТУ он имел диплом электрика, так что его поломка была, так сказать, достаточно квалифицированная.) Короче, приходит этот П. в большую комнату на втором этаже и говорит шепотом: "У меня сгорел мотор". И тут дверь отсека, где сидел Шайн, тихо открывается, он выходит и

говорит: "Черт бы меня побрал! Кто же это сжег мотор на Дагмаре?!" Просто удивительно, как это он услышал.

А так по делу все вопросы решались всегда без разговоров и без всякой политики. После Г.А. Шайна я был знаком со многими академиками. Я знал Сергея Павловича Королева, Акселя Ивановича Берга, Александра Михайловича Обухова. И все они были нормальными людьми безо всякой фанаберии. Но знал я также много и других, которые не были такими.

Арель. 1992 г.

А.Я. Шайн*

Эта история началась, когда я был ребенком. С раннего детства я слушал рассказы отца о его семье, которая тогда жила в Одессе, в России. Когда он (Яков, или более фамильярно, Яша) и его сестра, наша тетя Фанни, эмигрировали в США, остальные их братья и сестры – Давид, Александр (Саша), Григорий (Гриша) и две сестры – остались в СССР. Семья пошла на жертвы, чтобы помочь моему отцу выехать из страны в связи с его призывом в армию. Он был последним из семьи, кому удалось эмигрировать, остальным пришлось остаться. Эмиграция стала существенно сокращаться после 1910 г. Другие же парни должны были идти в армию, и они пережили революцию. Имена Давид, Саша и Гриша врезались в мою память. По-видимому, мой отец переписывался с Сашей в течение некоторого времени, и у меня есть фотография, где он в военной форме с аккуратной маленькой бородкой. В дальнейшем я стал похож на него.

После 1-й мировой войны положение семьи в СССР улучшилось. Квоты для евреев были отменены, и каждый из моих дядей поступил в университет и получил ученую степень и профессию. Один стал врачом, другой – ветеринаром-микробиологом и третий, самый младший и известный мечтатель, который всегда пристально смотрел в небо, стал астрономом. Это был Гриша – Григорий. К нему быстро пришла известность, и он стал одним из выдающихся астрономов в СССР. Он был сотрудником Пулковской обсерватории в Ленинграде. Южное отделение обсерватории было в Крыму, и он был направлен туда после пребывания в Ленинграде.

Мой отец никогда не упоминал о политических взглядах его братьев. Были ли они коммунистами? Аполитичными людьми? Еврейскими активистами? Однажды мой отец заметил, что он был членом Бунда, еврейской рабочей организации, раннего профсоюза в Одессе, но я ничего такого не помню о его братьях. Я также ничего не знаю об их религиозных чувствах. Как говорила мне Енни, или Женья (моя двоюродная сестра, Сашина невестка, которая эмигрировала в США в 1989 г.), они все не были прововерными иудеями. Но будучи евреями, они могли как иметь преимущества в период с 1917 и примерно до 1930 г., так и подвергаться дискриминации долгое время после 1930 г.

Их жизнь не была легкой ни в какие времена. Условия в СССР после революции были ужасными в течение десятилетий. Был острый недостаток жилья, пищи и одежды, и его испытывали все – от профессионалов до простых рабочих.

Когда я повзрослел и постепенно осваивал географию и историю, русская ветвь нашей семьи стала приобретать очертания в моей голове. Мой папа постоянно рассказывал о своей семье, он посылал им деньги и ободряющие письма. Я вспоминаю, как мы собирались вокруг семейного стола в Бруклине (часть Нью-Йорка) и упаковывали посылки с едой и одеждой для них. Такие посылки отправлялись регулярно. Если учесть, что мой отец, будучи человеком нерасточительным, имел очень ограниченный доход для содержания своей собственной семьи, включавшей четырех

* Пер. с англ. Т.В. Суходоевой.

детей, и ничего не оставлял про запас, то очевидно, что к своей семье в России он испытывал сильную любовь и привязанность. Я никогда не слышал, чтобы моя мать возражала против помощи в Россию. Она, как и отец, помогала его родственникам и произносила их имена с нежностью.

Глубоко в памяти сохранилась у меня встреча в нашем доме с курьером — человеком, который контрабандой вывозил людей из СССР. Гонорар его был огромен, так как его успех зависел от подкупа пограничников. Он говорил очень четко и убедительно, представив отцу рекомендации тех людей, которых он вывез. Но, тем не менее, не было никаких гарантий; это было рискованное дело и вероятность провала была равна вероятности успеха. Мой отец понадеялся на случай и отдал ему деньги; сколько, я не знаю, но это была значительная сумма, учитывая наши обстоятельства.

Курьер не смог доставить ни одного из папиных родственников из СССР. Возможно, что он положил деньги к себе в карман и ничего не делал. До сегодняшнего дня я не знаю, кого они хотели переправить в США.

В 30-е годы связь с родственниками из России была спорадической. Меня не знакомили с письмами, которые посылались туда и приходили оттуда, и вообще я был занят своими собственными делами. К 1936 г. стало очевидно, что в СССР происходят большие внутренние перемены. Об этом свидетельствовали московские судебные процессы над "старыми большевиками", которые "признались", очевидно, под давлением. Мы читали отчеты о судах с возрастающим недоверием: казалось, что никто не говорит правду. Было что-то неприятное в состоянии России.

Люди в СССР, которые просто переписывались с родственниками за границей, находились под подозрением, и переписка соответственно сходилась на нет.

В 1936 г. я закончил колледж, с 1936 по 1940 г. работал в Нью-Йорке, затем уехал в Айову в аспирантуру и вернулся в Нью-Йорк в 1943 г. Мой отец был расстроен из-за отсутствия каких-либо вестей о его семье. Немцы заняли Одессу, и он очень хотел знать о судьбе его семьи в СССР. Ни слова не было получено от них в течение долгого времени как перед 2-й мировой войной, так и во время войны.

В 1945 г. война закончилась, и мы впервые увидели картины разрушений и ущерба, нанесенного войной СССР. Это было ужасно! Мой отец потерял надежду когда-нибудь снова услышать что-либо о своей семье.

Представьте мое удивление, когда однажды, перелистывая иллюстрированный журнал "Лайф", я увидел коллекцию фотографий выдающихся советских ученых-академиков. Я быстро пробежал глазами по фотографиям в надежде найти своего дядю. Мой взгляд остановился на одном лице, которое было похоже на мое, несмотря на большие усы. Я прочитал подпись. Это был Григорий Шайн, директор Пулковской обсерватории. Я был уверен, что нашел своего дядю, позвонил отцу и рассказал ему эту новость. Он поторопился достать этот номер журнала, и мы взволнованно обсуждали это по телефону.

Следующий шаг был — наладить связь с Григорием. Это казалось невозможным. Россия была разорена: почта, телефон — ничего не работало, и невозможно было приехать еще в течение нескольких лет. Затем фортуна нам улыбнулась. Я прочитал в газетах, что Харлоу Шэпли, один из известных американских астрономов, приглашен прочесть лекцию в Нью-Йоркской академии наук. Поскольку я жил в Нью-Йорке, мне представлялось возможным посетить лекцию и просить Шэпли помочь связаться с Григорием. Я прослушал лекцию и дождался, пока он ответит на последний вопрос (это продолжалось несколько часов, причем после недоступной мне лекции о галактиках). Я и прежде знал Шэпли, мы оба были членами комитетов помощи в войне — "преждевременными антифашистами", как потом опишет нас министр юстиции США.

Когда я упомянул, что Григорий Шайн — моя дядя и что мы не имеем никаких новостей о нем (и всей остальной семье), Шэпли широко улыбнулся и сказал, что, конечно же, он знает Григория. Шайн назвал астероид в честь Шэпли, а Шэпли на-

звал именем Шайна далекую галактику (или наоборот). Замечание для всех Шайнов: где-то в небесах есть звезда или группа звезд, названная нашим именем по-русски.

Да, он поможет мне наладить контакты с Григорием. Мы обменялись несколькими письмами, и затем Шэпли сообщил, что, вероятно, скоро он сможет увидеть Григория на первом послевоенном международном конгрессе астрономов. Конгресс должен был состояться в Копенгагене через несколько месяцев. Я поспешил попросить отца написать Григорию (по-русски, если он еще помнит как) и описать жизнь и деятельность нашей семьи с 30-х годов. Затем я попросил Шэпли взять письмо с собой и передать его Григорию. Шэпли не был абсолютно уверен, что Григорий приедет на конгресс, но это было очень вероятно.

После конгресса Шэпли мне позвонил. Он действительно встретил Григория и передал наши пожелания и приветы и вручил ему письмо моего отца. Вскоре Григорий написал отцу письмо, и связь восстановилась.

Я уехал из Нью-Йорка в Монреаль, и позже мы получили известие о том, что Григорий приезжает в США для приобретения оборудования для его обсерватории — это было неслыханно для граждан СССР, особенно во время перемен 1946–1947 гг. Немцы использовали помещения его обсерватории в качестве конюшен, и все, даже гигантский телескоп, было разрушено. Мой отец пригласил Григория остановиться у него в нашем доме в Бруклине. Все дети — Бернارد, Арнольд, Альвина и Марти — уже покинули дом, так что в нем было место для Григория и его жены Паулы. Паула была самостоятельным астрофизиком, пара была бездетной.

Одним из непредвиденных последствий пребывания известного русского ученого в нашем доме было нахождение двух людей из ФБР в машине возле дома. Они находились там, чтобы следить за Гришиными передвижениями, иногда уезжали и, по-видимому, следовали за ним даже в метро, когда он ездил в Манхеттен. Он носил с собой чемодан, полный долларов. Я многого не знаю об этих делах и полагаюсь на наблюдения моей матери. Вскоре на улице возле нашего дома появились две машины: в одной были русские (КГБ? Тоже следили за Гришей?) и, конечно, машина ФБР (предположительно, следили за КГБ). Моя мать рассказывала мне, что она разрешила проблему суровых мужчин, ежедневно мерзнувших на крепком морозе бруклинской зимы, принося обеим командам горячий кофе. К сожалению, я не знаю, делала ли она это однажды или ежедневно, и как была воспринята ее доброта.

Когда Гриша и Паула приехали в Бруклин, мы с женой Флоренс жили уже далеко в Монреале, Флоренс была беременна, и мы приехали в Бруклин, чтобы навестить наших родителей и встретиться с недавно найденными дядей и тетей. Меня распирало от вопросов. Наконец-то я услышу правду о русских и о коммунизме, осуществленном в России. Большинство печатных источников были так или иначе пристрастны, и было трудно отличить правду от вымысла. Русские сокрушили Гитлера, но их довоенный свод гражданских свобод был либо ужасен, либо очень широк, в зависимости от источника информации.

Гриша оказался мягким, приветливым человеком с приятными манерами и не настолько снобом, чтобы не остановиться у моих родителей в их очень скромном доме. Хотя он, очевидно, был интеллектуалом, а мои родители нет, они очень хорошо ладили. Они тепло общались по-английски, который он очень хорошо понимал и на котором очень хорошо говорил, и по-русски, на котором оба родителя говорили, но не так бегло, так как около 40 лет не были в русской среде. Паула соглашалась со всем, что говорил Гриша.

Я увел его для личного разговора, во-первых, о науке. Его интересовало состояние современной американской химии, и он проявил интерес к тому, что я делаю в области биохимии. Когда я упомянул, что я определил спектры поглощения ненасыщенных жирных кислот при помощи ультрафиолетового спектрофотометра, он оживился. Этот прибор он великолепно знал и использовал его, приспособив для астрономических наблюдений. Оказалось, что это одна из областей, где он был экспертом. Неоргани-

ческие элементы имеют ярко выраженный и специфический видимый спектр поглощения (он и другие измеряли эти спектры и многое узнали о составе тел, излучающих свет в Солнечной системе). Органические соединения, вероятно, также имеют спектры поглощения в ультрафиолетовом диапазоне, и Гриша занялся этими исследованиями.

Он был уверен, что спектрофотометр может быть использован в аналитической химии, и принимал участие в проекте по определению гемоглобина — предмета исследований, далекого от астрономии. Я заверил его, что как раз в США мы имели уже эти спектрофотометрические методы для определения гемоглобина и, к тому же, Флоренс работает сейчас над этим. Он выглядел разочарованным. Очевидно, этого не было в СССР. Я описал новые ультрафиолетовые спектрофотометры, появившиеся на рынке, на которых надо только набрать желаемую область длин волн, и он сразу понял, как просто теперь будет получать спектры поглощения любого соединения, которое поглощает в ультрафиолетовой области. Он воспринял эти замечания с интересом.

Что касается меня, то я не понял ни одного слова из его астрономического рассказа и должен был извиниться. Я ненавидел себя, что я такой тупица и разочаровал его, но я никогда не мог претендовать на какие-либо знания из его области.

Когда мы перешли к обсуждению политических проблем, он позволил говорить мне обо всем. Я засыпал его вопросами, на которые он не отвечал прямо. Он производил впечатление человека, который слишком занят наукой, чтобы заниматься таким мирским делом, как политика. После нескольких попыток вернуться к темам коммунизма, московских судебных процессов и их значению стало очевидно, что он не хочет обсуждать никакие политические вопросы, хотя его ответы были мягкими и вежливыми, и, конечно же, я понял почему. Он жил в полицейском государстве!

Во время моего третьего визита он упомянул, что сам он не был членом коммунистической партии. Когда мои брови поднялись от удивления — он был одним из светил русской науки, — он мягко заметил, что есть некоторые темные стороны в СССР. Это о том, как далеко он углублялся в политику. Но он перешел к другой теме — антисемитизму. Антисемитизм снова поднимал голову в России после того, как в течение многих лет подавлялся. Он не говорил, что это скажется на нем лично, но он чувствовал приближение худших антисемитских проявлений. Зверь был на воле, скрытый антисемитизм русских спускался с цепи, и он боялся последствий.

У него и у Паулы было подорвано здоровье в результате лишений во время войны. Когда я его встретил, ему было около 57 лет. Мне показалось, что у него было больное сердце. Чем была больна Паула, я не знаю.

Сколько длился в России полицейский режим я не осознавал полностью до хрущевских откровений 10 лет спустя. Мы с Флоренс были в Москве в 1961 г., когда я представлял доклад на международном конгрессе по биохимии. Мы увидели достижения в области строительства, в городе не было нищих и симулянтов, но мы видели также свидетельства бюрократического засилья — страну, которая не доверяла своим гражданам. Пример тому — солдаты с автоматами на вокзалах и в аэропорту, которые проверяли самолеты и визы. В Израиле было это тоже, но в России в то время не было терроризма. К сожалению, во время нашего визита в Москву Гриши и Паулы уже не было в живых.

В течение нескольких десятилетий не происходило ничего нового, связанного с Гришей. И вот в прошлом году (1990 г.) я возобновил контакты с некоторыми родственниками, которые еще живут в СССР, особенно с одной двоюродной сестрой Марией Борисовной Поповой. Она астрофизик и работала в Гришином институте. Она сообщила мне, что в американском журнале "Небо и телескоп" в 78-м томе, выпуске 4 за октябрь 1989 г. была статья о русских астрономах. Я навел справки и написал автору письмо с просьбой об оттиске.

Это был потрясающий рассказ о сталинской чистке русских астрономов в конце 30-х

годов. Более 15% первоклассных астрономов и астрофизиков России, 50% которых из Ленинграда, общим числом около 25–30 человек, были арестованы по сфабрикованным обвинениям и расстреляны или помещены в тюрьмы НКВД, предшественника КГБ. Гриша избежал чистки, и как директор крупной обсерватории и человек с именем в науке пытался заступиться за своих друзей, осужденных на смерть. Его усилия потерпели фиаско, но в статье говорится, что он был одним из немногих героев русской науки, кто в то время осмелился стать на защиту своих коллег и выражал сомнение по поводу сталинских чисток. В дальнейшем он рискуя устроил на работу к себе в обсерваторию несколько жен репрессированных. В России немного было случаев подобного мужества. Когда я разговаривал с ним в Бруклине в 1947 г., все эти события уже были в прошлом и он никогда не упоминал о репрессиях и о своих попытках смягчить удары по их жертвам.

Это не биография Гриши. Это просто рассказ о моем личном общении с ним в течение очень короткого времени. Мне говорили, что Александр (Саша) написал биографию своего брата Гриши; это одна из его статей, написанная хорошим русским стилем, находится сейчас у Анны Шайн в Омске. У меня есть файл на русском языке с большой хвалебной биографией Гриши, опубликованной Пулковской обсерваторией по случаю его кончины. Мария Борисовна Попова, его племянница, астрофизик и моя первая двоюродная сестра, живущая в Крымской обсерватории, была отличным источником информации.

Июль. 1992 г.

И.С. Шкловский

"Григорию Абрамовичу очень плохо. Конец может наступить в любой момент", — позвонила мне в самом начале августа 1956 года Анна Моисеевна, бессменный секретарь нашего "Астрономического журнала". Я быстро собрался и, прихватив с собой 11-летнего сынишку Женю, поехал в Абрамцево, где была академическая дача Шайна, — там он умирал.

Все последние дни, после того как его сразил инфаркт, меня не покидали мысли об этом удивительном человеке. И тогда, в электричке, я о нем думал все время, только мысли прыгали почему-то самым беспорядочным образом. Я познакомился с Григорием Абрамовичем летом 1949 г., когда стал работать на полставки в Симеизской обсерватории, где он был директором. Первый раз в жизни я оказался в Крыму послевоенном, лишенном коренного татарского населения. Симеизские санатории, загаженные, но не разрушенные, еще не работали. Городок поражал своей пустотой. Изредка попадались одиночные отдыхающие — "дикари". Знаменитый симеизский пляж — в это трудно теперь поверить — был пуст, как во времена тавров, чьи могильники, засыпанные мусором, были расположены на вершине Кошки у самой обсерватории. По ту сторону Кошки, в Лименах, была уже совершенная пустыня. В опустевших домиках татар только-только стали появляться первые переселенцы из Воронежской области. (См. роман тов. Павленко "Счастье", в котором автор умудрился обойти полным молчанием естественный вопрос, почему это вдруг в благодатном Крыму образовалась пустота, которую надо было заполнять переселенцами.) Крым был первозданно безлюден. Таким он не был сотни лет и, хочется верить, никогда не будет. Какое это было очарование — безлюдный Крым!

Симеизская обсерватория была настоящим оазисом, где ключом била жизнь. Она была аномально богата яркими личностями. Чего, например, стоил Николай Александрович Козырев, реликт довоенной Пулковской обсерватории, фактически уничтоженной репрессиями 1937 года. И, конечно, сердцами и умами астрономической молодежи владел незабвенный Григорий Абрамович Шайн. Старожилы обсерватории неодобрительно поглядывали на молодых московских "гастролеров", в том числе и на

меня. Их шокировали наши веселые песни и великая жажда морских купаний. "Московская астрономическая шпана!" – ворчал старик Альбицкий. Впрочем, был он тогда значительно моложе, чем я сейчас, когда пишу эти строки (1981 г.). Каждый день в обеденный перерыв я стремглав бежал вниз, к морю и, едва окунувшись, взвивался вверх. Все же я не мог 360 метров высоты преодолеть быстрее, чем за 40 минут. Весь в "мыле" я одолевал последний подъем перед зданием обсерватории, все-таки на 10 минут опаздывая, и только старый, засиженный мухами лозунг, висевший на лестничной клетке обсерваторского здания, неизменно веселил меня. Лозунг гласил: "В науке нет проторенной дороги, и только тот, кто не боясь усталости, карабкается по ее каменистым тропинкам, достигает сияющих вершин" (К. Маркс – цитирую по памяти, но полагаю, что если ошибся, то немного.) Никакого контроля посещаемости в современном смысле этого слова в обсерватории не было. Но был Шайн, который после обеденного перерыва пунктуально шел в свой крохотный кабинетик на втором этаже. И этого было достаточно для поддержания трудовой дисциплины на высочайшем уровне.

Один-два раза за сезон (я обычно приезжал в обсерваторию в начале июня, а уезжал в конце сентября) он приглашал меня к себе на квартиру. Она казалась мне фантастически роскошной – в Москве с семьей я ютился в бараке. Дома у Шайнов царила Пелагея Федоровна – крупная, улыбчивая, необыкновенно "домашняя" жена Григория Абрамовича, сама первоклассный астроном-наблюдатель. Кормили очень вкусно, обстановка была на редкость уютная и интеллигентная. Обычно радиолы играла классическую музыку. Больше всего Григорий Абрамович любил "Реквием" Верди. О науке говорили мало – Григорий Абрамович вообще был немногословен.

Я прожил в Симеизе четыре сезона. Похоже, это был лучший кусок моей жизни. Там я понял подлинный дух астрономической науки. У меня не было учителей, но единственный астроном, оказавший на меня влияние не столько поучениями, сколько личным примером, был Шайн. Иногда мы подолгу беседовали, обычно на скамейке под старым каштаном у здания обсерватории. Эти беседы для меня всегда были праздником. Как никто (кроме, может быть, Соломона Борисовича Пикельнера, работавшего в эти годы в Симеизской обсерватории), он обладал ощущением неразрывной связи астрономических наблюдений и теории.

В 1949 г. была предпринята попытка уничтожить меня, и от неминуемой гибели меня спас, как я узнал много лет спустя, Григорий Абрамович Шайн. В конце 1952 г. я ушел из Крымской обсерватории. После этого я мог видеться с Григорием Абрамовичем только во время его нечастых визитов в Москву. Последний год своей жизни он по причине тяжелой болезни Пелагеи Федоровны уже большую часть времени проводил в Москве. Очень отчетливо помню удивительный разговор с ним в гостинице "Москва" в конце декабря 1955 г. Столица торжественно отмечала 50-летие Пресненского восстания. Г.А. тихо сказал: "Неужели прошло полвека? А я, как сейчас, помню Одессу 1905 года, прибытие "Потемкина" на рейд, паломничество к мертвому Вакулинчуку..." После короткой паузы он вдруг вспомнил эпизод своего раннего детства: "На нашей улице жил турецкий консул. Такой роскошный мужчина с нафабранными усами. Каждое утро он выходил из дому и, прежде чем сесть в ожидавшую его пролетку, всегда дарил пятак одному из стоявших вблизи мальчишек, которые уже заранее ожидали консульского выхода. И как-то в голову мне пришла простая мысль: а если встать очень рано и занять место под дверью консульского дома раньше всех, он подарит мне пятак? Я так и сделал. Консул в положенный час вышел, погладил меня по голове и дал монетку, – опять Г.А. сделал паузу, после которой продолжил, – И вот сейчас, если соответствующие органы, допрашивая меня, спросят, имел ли я связь с дипломатическими представителями зарубежных стран, я, как честный человек, отвечу – имел". – "Получал ли от них мзду?" – "Получал!" Г.А. как-то незаметно и грустно улыбнулся.

Последние годы своей жизни, будто предчувствуя близкий конец, он мучительно искал пристойной возможности освободиться от больших денег, которые у него скопились. Шайны жили очень скромно и почти ничего на себя не тратили. А между тем так получалось, что на них "сыпались" деньги. Сталинская премия первой степени, оклад директора академической обсерватории плюс столько же за "академические погоны". Накопилось свыше миллиона старых рублей! Родных детей не было. Была только приемная дочь Инна, племянница Пелагеи Федоровны и двоюродная сестра Веры Федоровны Амбарцумян – жены Виктора Амазасповича.

Какой-то рок висел над Шайнами! Много лет, например, Пелагея Федоровна посылала 300 рублей в месяц своему старику-отцу – колхозному сторожу в забытую богом пермскую деревеньку. Это надо же, у малограмотного старика было два таких зятя – один академик Шайн, другой академик Амбарцумян! У колхозного сторожа была классическая психология – переводы от "удачливой" дочки он не тратил (жил, конечно, в скарденной бедности), а откладывал на книжку, завещая вклад... конечно же, Пелагее Федоровне! Когда он умер – за два года до смерти Пелагеи Федоровны – она, к своему ужасу, получила наследство, свыше 20000 рублей, сбереженных ее отцом! Как тут не вспомнить историю о поликратовом перстне!

Григорий Абрамович в поисках какого-то выхода из этого непростого положения задумал на свои средства построить на территории Крымской обсерватории в Мангусте 8-комнатный дом для себя, с тем чтобы потом по завещанию передать его престарелым астрономам. Но строители бесстыдно обманули его. Кроме того, он на свои средства задумал построить астрономическую башню. Благороднейшая идея! И вполне реализуемая, так как в самом разгаре было строительство Крымской обсерватории. Однако местные власти дали академику настоящий "втык": "Это что за частная благотворительность? Разве наше государство не заботится о развитии науки?" Григорий Абрамович имел большие неприятности, а проклятые деньги оставались при нем и даже росли, ибо потребности у двух больных пожилых людей с годами уменьшались. Эта история с домом тяжело переживалась Григорием Абрамовичем. А тут еще заболела Пелагея Федоровна (миелома). В Москве я в меру моих скромных сил организовывал Шайну медицинскую помощь. Как он ухаживал за смертельно больной женой! Никогда – ни до, ни после – я не видал более самоотверженного отношения к заболевшему близкому человеку. Как он мотался по Москве от одного врача к другому, сколько же рейсов совершал от своей дачи в Абрамцево (которой он всегда тяготился), где к этому времени лежала Пелагея Федоровна, до московской поликлиники! Во время одного из таких рейсов он почувствовал себя плохо. Это случилось в академической поликлинике. Там сняли электрокардиограмму, но даже не проявили ее! А на кардиограмме был виден обширный инфаркт миокарда. И Григорий Абрамович поехал в таком состоянии обратно в Абрамцево, да еще по скверной дороге. И вот теперь спустя пять дней он умирал – раньше, чем Пелагея Федоровна, лежавшая в соседней комнате этой огромной академической дачи. Было ему 64 года, и он очень не хотел умирать.

В Абрамцево мы с Женей приехали после обеда. Всю дачу заполняла приехавшая из Бюракана очень энергичная племянница Пелагеи Федоровны Вера Федоровна Амбарцумян, принявшая нас более чем холодно. Подняться наверх проститься с Григорием Абрамовичем она мне решительно запретила, но к Пелагее Федоровне нас допустили. Одурманенная пантопоном, страшно исхудавшая, она полулежала на подушках и, по-видимому, не сознавала ясно, что кругом происходит. Потом мы спустились вниз. Вера Федоровна угостила нас чайком. Время от времени сверху раздавались тяжелые хрипы – это умирал Шайн.

На следующий день Шайн умер. Гражданская панихида состоялась, кажется, в

Президиуме академии наук. Эти дни я помню плохо. Почему-то запомнилось, что один из последних в почетном карауле стоял молодой Коля Кардашев. Потом было заседание комиссии по похоронам. Приехали Северный и Амбарцумян. Хоронить решили около Симеизской обсерватории. Мое предложение – присвоить имя Шайна Крымской астрофизической обсерватории – Северным и Амбарцумяном было отвергнуто. Ограничились только решением о присвоении имени Шайна строящемуся для Крымской обсерватории большому телескопу.*

Я и несколько других астрономов с телом покойного поехали в Симеиз, где он и был похоронен. С места его могилы видны окна его квартиры в главном обсерваторском доме, где он прожил около 30 лет. Когда шли с похорон, вдруг совершенно неожиданно разразилась страшная буря. У меня на душе было очень тяжело. Потянулись свинцово-тяжелые дни. Я жил в обсерватории. В квартире Шайнов умирала Пелагея Федоровна. Она пережила Григория Абрамовича на две недели.

Я с тяжелым настроением уехал на теплоходе в Сухуми, где жил мой старинный приятель, товарищ по аспирантуре Агрест. Все последующие дни я не находил себе места. Образ Григория Абрамовича буквально преследовал меня. Вспоминались часы, проведенные с ним в беседах, его тихий голос, характерное покашливание. Как он за несколько месяцев до смерти радовался, когда прочитал работу Оорта и Вальравена, в которой было триумфальное подтверждение моей теории о синхронной природе оптического излучения Крабовидной туманности. Эту работу Г.А. весной 1953 г. представил в "Доклады Академии наук". Думаю, что это лучшая моя работа. Она вызвала настоящий взрыв дальнейших исследований во многих странах. Круги от этого взрыва расходятся до сих пор. Но еще чаще вспоминались отнюдь не астрономические сюжеты моих бесед с этим замечательным человеком.

Все эти дни у меня зрела мысль, что я должен что-то сделать для мертвого учителя. Решение пришло совершенно неожиданно. М.М. Агрест – глубоко религиозный человек, и все обряды иудаизма в его доме выполнялись неукоснительно – величайшая редкость у советских евреев. Его тесть – традиционный, старый верующий еврей – занимал какую-то должность (общественную) в сухумской синагоге (шамес?). Как-то в пятницу вечером, видя, как старик, облаченный в талес и ермолку, с намотанными на обнаженных руках тфилн совершал традиционную молитву, я спросил: "Могу ли я заказать в сухумской синагоге кадиш по одному очень хорошему еврею?" – "Конечно! Как его зовут?" – "Григорий Абрамович". – "Значит, Герш бен Аврогом! Я найду человека, который будет делать за него в синагоге кадиш, и прослежу, чтобы все было как надо!"

Для непосвященных, в том числе и современных евреев, скажу, что кадиш – это заупокойная молитва. В детстве я читал кадиш по отцу (конечно, на языке предков) в маленькой синагоге своего родного Глухова. По традиции кадиш должен читать сын, достигший "бар миуве", т.е. 12 лет – возраста совершеннолетия (это для сирот, а для остальных – 13 лет). У меня остались очень смутные воспоминания о том, как я читал кадиш. Помню только, что это было долго, по крайней мере полдня. Меня к этому готовил один старик, друг покойного отца. Я был несколько удивлен, когда на следующий день тесть Агреста сказал мне, что он договорился с одним человеком; тот будет читать кадиш по полному канону ежедневно в течение года, за что ему надо заплатить 2000 рублей. Я не был готов к такому обороту дела – у меня просто не было с собой такой суммы денег. Оказывается, в детстве я читал по отцу "адаптированный вариант" кадиша, а настоящий кадиш – штука очень серьезная. Но уже

* П.П. Добронравин утверждает, что по инициативе А.Б. Северного была послана телеграмма в Президиум АН СССР с предложением присвоить обсерватории имя Г.А. Шайна, но это предложение в Москве было отклонено. – *Примеч. редколлегии.*

ходу назад у меня не было, я отдал 1000 рублей, обещав через месяц дослать остальные.

И в течение года сухумскую синагогу оглашали древние слова поминальной молитвы за Герш бен Аврогрома – хорошего человека.

На душе у меня стало очень легко, как-будто я исполнил обет. Григорий Абрамович был глубоко верующим человеком, я это хорошо знал, он делился этим со мной. Конечно, он не был традиционным иудаистом. Его вера носила пантеистическую окраску, напоминая веру его великого соплеменника Альберта Эйнштейна. С полным основанием я мог считать, что выполнил долг перед памятью замечательного человека и астронома Григория Абрамовича Шайна.

1981 г.

УДК 524.3

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА, АЗОТА, КИСЛОРОДА И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В АТМОСФЕРАХ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ЗВЕЗД ТИПА δ ЩИТА. III. V644 Her

Т.М. Рачковская

Изучены спектры пульсирующей звезды типа δ Щита V644 Her на основании наблюдений с ПЗС-матрицей с высоким спектральным разрешением ($0,1 \text{ \AA}$) в участках длин волн, центрированных на линии $\lambda 5052 \text{ Cl}$, $\lambda 6161$, 7773 OI и $\lambda 8683 \text{ NI}$.

Полученные содержания углерода $\lg \epsilon(\text{C}) = 8,35$ и азота $\lg \epsilon(\text{N}) = 7,82$ показывают небольшой дефицит ($-0,25\text{dex}$ и $-0,20\text{dex}$) этих элементов в V644 Her по сравнению с Солнцем. Содержание кислорода $\lg \epsilon(\text{O}) = 8,86$ в атмосфере звезды V644 Her оказалось близким солнечному значению.

В дефиците ($-0,20\text{dex}$) в V644 Her наблюдаются натрий, кремний и сера, а также ($-0,25\text{dex}$) – кальций, скандий и железо.

CARBON, NITROGEN, OXYGEN AND OTHER ELEMENTS ABUNDANCES IN THE ATMOSPHERES OF THE DELTA SCUTI PULSATING VARIABLES. III V644 Her, by T.M. Rachkovskaya. The spectra of the Delta Scuti pulsating variable V644 Her have been investigated using observations with the CCD-matrix with the high spectral resolution ($0,1 \text{ \AA}$) in the regions centered on the lines $\lambda 5052 \text{ Cl}$; $\lambda 6161$, 7773 OI ; $\lambda 8683 \text{ NI}$.

The obtained CN abundances $\lg \epsilon(\text{C}) = 8,35$ and $\lg \epsilon(\text{N}) = 7,82$ indicate that in the atmosphere of V644 Her with respect to the Sun there is the small deficiency of these elements: $-0,25\text{dex}(\text{C})$ and $-0,20\text{dex}(\text{N})$. The oxygen abundance $\lg \epsilon(\text{O}) = 8,86$ in V644 Her is like the Sun.

The V644 Her has the deficit of the Na, Si, S ($-0,20\text{dex}$), and Ca, Sc, Fe ($-0,25\text{dex}$).

ВВЕДЕНИЕ

В [1, 2] нами изложены результаты изучения содержаний C, N, O и некоторых других элементов по ПЗС-спектрам для двух пульсирующих звезд типа δ Sct–28 And и 44 Tau. Здесь речь пойдет об исследовании V644 Her, также звезды этого типа. Отличительной особенностью V644 Her является то, что она спектроскопически-двойная. Двойственность V644 Her была открыта Шайном [3]. Кривая лучевых скоростей и некоторые элементы спектроскопической орбиты определены Харпером [4], Шайном и Мельниковым [5] по наблюдениям с объективной призмой и Бардином и Имбертом [6] по наблюдениям со спектрометром. Все авторы наблюдали лишь спектр главной звезды V644 Her, в [6] спектральный тип второго компонента оценен как F6–F8. Анализ спектра V644 Her методом моделей атмосфер выполнен Любимковым и Рачковской [7, 8] по фотографическим наблюдениям с дисперсией 8 и $12 \text{ \AA/mm}$, в результате чего оценены содержания 20 элементов, которые позволили сделать вывод об аномалиях в химическом составе атмосферы V644 Her. Когда появилась возможность проводить наблюдения с достаточно высоким разрешением с ПЗС-матрицей, мы продолжили наблюдения V644 Her с целью изучения эволюционно

Т а б л и ц а 1

Некоторые сведения о звезде V644 Her

HD	$v \sin i$	m_V	Δm_V	$P_{\text{пульс.}}$	$P_{\text{орб}}$
152830	20 [9]	6,34	0,02 [10]	0 ^d ,10 [10]	11 ^d ,8 [11]

интересных элементов C, N и O и поиска признаков вторичного компонента в спектре.

Некоторые сведения о звезде V644 Her приведены в табл. 1.

1. МАТЕРИАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдения проводились на 2,6-м рефлекторе им. акад. Шайна Крымской астрофизической обсерватории с ПЗС-матрицей Хельсинского университета (Финляндия) [12] (600 × 380 пиксел) и отечественной ПЗС-матрицей [13] (580 × 520 пиксел) соответственно в 1990 и 1992 гг. Матрицы работали в фокусе куде дифракционного спектрографа во втором порядке. Обратная линейная дисперсия спектров составляла 3 Å/мм, спектральное разрешение 0,1 Å. При наблюдениях одновременно регистрировался спектральный интервал около 30 Å. Как правило, в течение одной ночи делалось несколько экспозиций, продолжительность отдельной экспозиции составляла 50–60 мин. Участки спектра были центрированы таким образом, чтобы в наблюдаемый интервал попадали интересующие нас линии C, N, O.

Т а б л и ц а 2

Некоторые данные о наблюдениях

Дата	$\Phi_{\text{орб}}$	$\lambda_{\text{центр}}, \text{\AA}$	Дата	$\Phi_{\text{орб}}$	$\lambda_{\text{центр}}, \text{\AA}$
13–14.03.90	0°,618	6156, OI	24–25.06.92	0,930	6156
19–20.04.90	0,744	6156	25–26.06.92	0,011	6156
9–10.06.90	0,042	6156		0,016	5040
10–11.06.90	0,129	5052, CI	7–8.07.92	0,023	8683, NI
9–10.08.90	0,443	5052		0,028	6156
7–8.05.92	0,558	6156	9–10.09.92	0,215	7773, OI

В табл. 2 представлен материал наблюдений V644 Her: дата наблюдений, фаза орбитального периода, соответствующая моменту середины наблюдений данного спектрального интервала, и длина волны, на которую был центрирован участок. Фазы орбитального периода (см. второй столбец табл. 2) вычислены согласно эфемериде, приведенной в каталоге [11] для V644 Her. Отношение сигнал/шум для спектров в окрестности λ 8683 составлял $S/N \approx 50$ –70, для остальных $S/N \approx 100$. Техника обработки наблюдений описана в [1].

Так видно из табл. 2, наши наблюдения V644 Her достаточно хорошо распределены по фазам орбитального периода. Однако при рассмотрении спектров в разные фазы нам не удалось обнаружить каких-либо особенностей, которые могли быть вызваны вторичным компонентом V644 Her. Поэтому наши дальнейшие исследования следует относить к главной звезде.

2. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ. СИЛЫ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

В табл. 3 в первых трех столбцах последовательно приведены длины волн исследуемых здесь линий, номера мультиплетов и силы осцилляторов $\lg gf$. Источники сил осцилляторов, кроме SiI [14], те же, что и в [1, 2]. В трех последующих столбцах табл. 3 даны: W_λ – среднее значение эквивалентной ширины, N – число наблюдений

Таблица 3

Список исследованных линий в спектре V644 Her

Элемент, λ , Å	Муль- типлет	$\lg gf$	W_λ , мÅ	N	$\lg \epsilon$	Эле- мент, λ , Å	Муль- типлет	$\lg gf$	W_λ , мÅ	N	$\lg \epsilon$
Cl						Si					
5052,12	12	-1,49		3	8,30*	8694,77	6	+0,55	91	1	
Ni						CaI					
8683,38	1	+0,14	24	1	7,29	6161,29	20	-1,27	36	4	6,31
8686,13	1	-0,27	36	1	8,09	6162,18	3	-0,09	177	9	5,85
						6163,76	20	-1,02	47	8	6,20
OI						6166,44	20	-1,14	38	7	6,21
6155,99	10	-0,66	13	3	9,09	ScII					
6156,76	10	-0,45	13	2	8,85	5031,02	23	-0,34	115	1	2,82
									100 [7]	2	2,70
7771,96	1	+0,35	237	1	8,79	FeI					
7774,18	1	+0,21	192	1	8,61	5044,22	318	-2,31	32	8	7,48
7775,40	1	-0,02	167	1	8,67	5049,82	114	-1,46	130	8	7,09
NaI						5051,61	16	-2,80			7,20*
6154,22	5	-1,57	13	4	6,14	5065,02	1094	-0,39	141	3	7,68
6160,75	5	-1,26	17	1	5,98	5068,77	383	-1,22	105	3	7,20
SiI						6165,37	1018	-1,32	10	2	6,92
6145,08	29	-1,48	21	5	7,45	8674,32	339	-1,70	110	1	7,40
6155,14	29	-0,84	48	9	7,32	FeII					
SiII						6147,74	74	-3,00	74	9	7,45
5056,02	5	+0,52	45	4	7,32	6149,25	74	-2,87	67	9	7,26

Примечание. Звездочкой обозначены содержания $\lg \epsilon$, полученные методом синтетического спектра.

отдельной линии и $\lg \epsilon$ – содержание элемента, вычисленное по данной линии. Из перечисленных в табл. 3 элементов азот, кислород, натрий, кремний, сера здесь для V644 Her исследуются впервые, остальные – углерод, кальций, скандий, железо – наблюдались и были изучены нами ранее [7].

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Содержания элементов $\lg \epsilon(\text{El})$ в атмосфере V644 Her были оценены на основании модели $T_{\text{эф}} = 7050 \text{ K}$, $\lg g = 3,8$ и $\xi_t = 5,4 \text{ км/с}$, которая принята нами в [7]. Содержания всех элементов, кроме углерода, были вычислено по эквивалентным ширинам W_λ , а $\lg \epsilon(\text{C})$ – методом синтетических спектров согласно методике [15]. Как уже отмечалось выше, оценки содержаний по индивидуальным линиям даны в последнем столбце табл. 3. В табл. 4 (столбец 3) приведены усредненные значения $\lg \epsilon$, если наблюдались несколько линий данного элемента, для сравнения здесь же (столбец 5) даны величины $\lg \epsilon$ согласно фотографическим наблюдениям [7]. В последнем столбце табл. 4 для соответствующих элементов приводится содержание $\lg \epsilon_\odot$ на Солнце. Ссылки на статьи, из которых взяты значения $\lg \epsilon_\odot$, можно найти в [2]. Рассмотрим каждый

элемент в отдельности и прежде всего те из них, которые уже исследовались нами [7].

Железо. С ПЗС-матрицей нам удалось наблюдать семь линий нейтрального железа и две ионизированного (см. табл. 3). Учитывая статистику наблюдений и качество линий, мы получили среднее содержание железа по ПЗС-наблюдениям равным $\lg \epsilon(\text{Fe}) = 7,32$, что оказалось близким значению $\lg \epsilon(\text{Fe}) = 7,28$ (табл. 4) по фотографическим наблюдениям [7]. Сравнение с солнечным содержанием позволяет предположить, что содержание железа в атмосфере V644 Her ниже солнечного на 0,25dex, т.е. подтверждает сделанный ранее [7] вывод о пониженном в V644 Her содержании железа.

Кальций. По трем из четырех наблюдаемых с ПЗС-камерой линий кальция CaI (табл. 3) получено среднее содержание $\lg \epsilon(\text{Ca}) = 6,23$. Линию $\lambda 6162,18 \text{ CaI}$, эквивалентная ширина которой оказалась значительной $W_\lambda = 177 \text{ mÅ}$, для оценки $\lg \epsilon(\text{Ca})$ в V644 Her мы не использовали, так как сильные линии более чувствительны к микротурбулентности и затуханию, вследствие чего могут давать менее точные значения $\lg \epsilon$. Таким образом, полученное здесь содержание $\lg \epsilon(\text{Ca}) = 6,23$ оказалось незначительно выше $\lg \epsilon(\text{Ca}) = 6,12$ согласно [7]. Принимая в качестве средней величины $\lg \epsilon(\text{Ca}) = 6,15$ и сравнивая с Солнцем (табл. 4), можно считать, что содержание кальция в V644 Her ниже солнечного на 0,21dex.

Скандий. В исследуемых с ПЗС-матрицей участках нам удалось наблюдать лишь одну линию скандия $\lambda 5031,02 \text{ Sc II}$. Эта линия в числе двух других линий Sc II ($\lambda 5526,81$ и $\lambda 4294,77$) наблюдалась нами также в [7]. Как видно из табл. 3, ее эквивалентная ширина имеет близкие значения по ПЗС-наблюдениям и фотографическим [7], и соответственно этим значениям получаем $\lg \epsilon(\text{Sc}) = 2,82$ и $\lg \epsilon(\text{Sc}) = 2,70$. Содержания же по $\lambda 5526,81$ и $\lambda 4294,77$ равны $\lg \epsilon(\text{Sc}) = 2,59$ и $\lg \epsilon(\text{Sc}) = 2,38$. С учетом весов окончательно принимаем $\lg \epsilon(\text{Sc}) = 2,66$, что по сравнению с Солнцем дает дефицит скандия в атмосфере V644 Her — 0,34dex.

Углерод. С ПЗС-камерой, так же, как и в [7], мы наблюдали одну линию углерода $\lambda 5052,12 \text{ CI}$, которая в синем крыле блендируется линией железа $\lambda 5051,61 \text{ FeI}$. В [7], оценив приблизительно эквивалентную ширину $\lambda 5052,12 \text{ CI}$, получили содержание углерода в V644 Her равным $\lg \epsilon(\text{C}) = 8,41$. Здесь мы рассчитали синтетический спектр в интервале длин волн $\lambda 5050,6 - 5053,0 \text{ Å}$ и сравнили его с наблюдаемым (рис. 1). На рис. 1 показан окончательный вариант синтетического

Т а б л и ц а 4
Содержания элементов в атмосфере V644 Her и на Солнце

Элемент	Данные настоящей статьи		Данные [7]		$\lg \epsilon_\odot$	Элемент	Данные настоящей статьи		Данные [7]		$\lg \epsilon_\odot$
	<i>n</i>	$\lg \epsilon$	<i>n</i>	$\lg \epsilon$			<i>n</i>	$\lg \epsilon$	<i>n</i>	$\lg \epsilon$	
CI	1	8,30	1	8,40	8,60	SI	1	7,03	—	—	7,20
NI	2	7,82	—	—	8,00	CaI	3	6,23	7	6,12	6,36
OI	5	8,86	—	—	8,86	ScII	1	2,79	2	2,69	3,00
NaI	2	6,11	—	—	6,28	FeI	6	7,24	28	7,30	7,55
SiI	2	7,38	—	—	7,65	FeII	2	7,36	12	7,22	7,56
SiII	1	7,32	—	—	7,55						

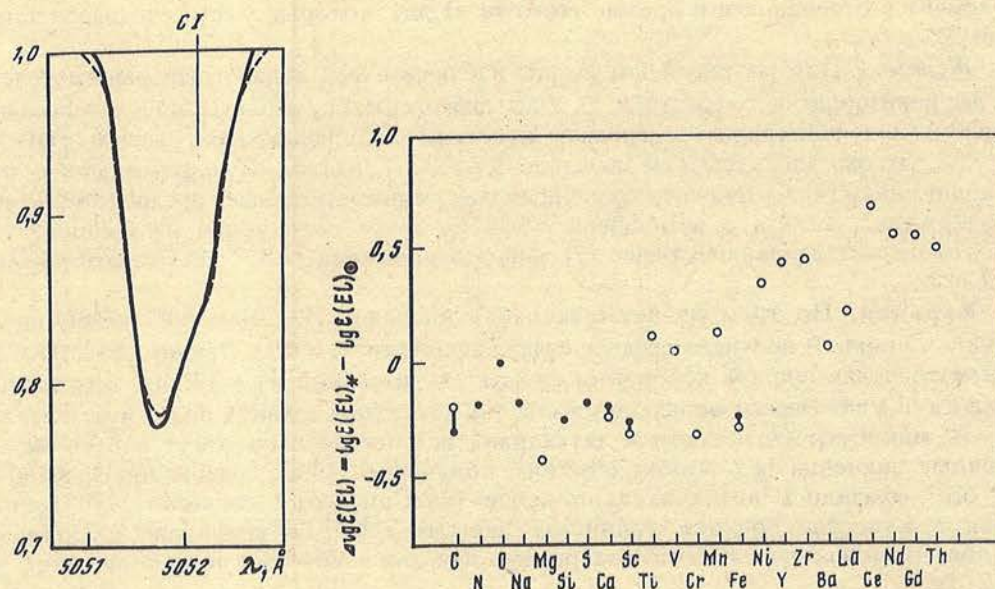


Рис. 1. Сравнение наблюдаемого спектра звезды V644 Her (штриховая линия) с синтетическим (сплошная линия) в области линий CI λ 5052,12 и FeI λ 5051,61

Рис. 2. Сравнение содержания элементов в атмосфере V644 Her с их содержанием на Солнце
Точки – элементы, содержание которых определено здесь, кружки – в [7]

спектра, который получен при скорости вращения $v \sin i = 18$ км/с, содержания железа $\lg \epsilon(\text{Fe}) = 7,20$ и углерода $\lg \epsilon(\text{C}) = 8,30$. Как видно из рис. 1, согласие между рассчитанным и наблюдаемым профилями достаточно хорошее. Таким образом, значение $\lg \epsilon(\text{C}) = 8,30$ оказалось всего на 0,1dex ниже вычисленного ранее [7]. Принимая $\lg \epsilon(\text{C}) = 8,35$, получаем в атмосфере V644 Her относительно Солнца дефицит углерода в 0,25dex. (Заметим, что при расчетах синтетического спектра для определения содержания тория [8] мы использовали величину $v \sin i = 16$ км/с.)

Перейдем теперь к рассмотрению элементов, содержания которых здесь получены впервые.

Азот. Как уже отмечалось выше, ПЗС-наблюдения в области линии азота λ 8683 оказались недостаточно высокого качества, для анализа мы использовали лишь одно наблюдение (см. табл. 2). Оценки содержаний азота были получены по эквивалентным ширинам двух линий λ 8683,38 и λ 8686,13 NI. Они равны соответственно $\lg \epsilon(\text{N}) = 7,29$ и 8,09. Придавая больший вес второму значению (оценка $\lg \epsilon(\text{N})$ по этой линии более уверена), окончательно принимаем для V644 Her $\lg \epsilon(\text{N}) = 7,82$, что ниже солнечного на 0,18dex.

Кислород. С целью определения содержания кислорода в V644 Her с ПЗС-камерой мы наблюдали два триплета: λ 6155,99, λ 6156,76, λ 6158,19 OI и λ 7771,96, λ 7774,18, λ 7775,40 OI. Последняя линия первого триплета не использовалась вследствие ее блендирования, а по двум первым содержание оказалось в среднем равным $\lg \epsilon(\text{O}) = 8,97$. Линии второго триплета дают несколько более низкую величину содержания $\lg \epsilon(\text{O}) = 8,69$. Известно [16], что линии λ 7772–7775 чувствительны к отклонению от ЛТР, поэтому величина содержания $\lg \epsilon(\text{O})$ по указанным линиям может быть недостаточно надежна. Как было показано в [17], для звезды 20 C Vn содержание кислорода по триpletу λ 7772–7775 при отказе от локального термодинамического

равновесия оказалось ниже ($-0,15\text{dex}$), чем при предположении ЛТР. Подобные результаты были получены в [18] для 15 Ам-звезд. Таким образом, учитывая сказанное, можно ожидать, что полученное нами на основании $\lambda 7772\text{--}7775$ содержание для V644 Her $\lg \epsilon(\text{O}) = 8,69$ на самом деле выше реального и согласно нашим наблюдениям его можно рассматривать как верхнее значение, которое тем не менее оказалось ниже $\lg \epsilon(\text{O}) = 8,97$ по линиям $\lambda 6155,99$ и $\lambda 6156,76$. Придавая последнему больший вес, окончательно принимаем $\lg \epsilon(\text{O}) = 8,86$, что позволяет предполагать о близком к солнечному содержании кислорода в V644 Her.

Натрий. С ПЗС-матрицей нам удалось наблюдать две линии нейтрального натрия, и, как видно из табл. 3, они дают достаточно близкие значения содержания. Средняя величина $\lg \epsilon(\text{Na}) = 6,11$ оказалась ниже солнечной на $0,17\text{dex}$.

Кремний. В исследуемых с ПЗС-матрицей участках в V644 Her, и раньше в 26And и 44Tau [1, 2] мы наблюдали две линии нейтрального кремния $\lambda 6145,08$ и $\lambda 6155,22$ SiI и одну линию ионизованного $\lambda 5056,02$ SiII. Напомним, что как для 28And, так и для 44Tau в [1, 2] нами было получено расхождение в значениях содержания по линиям SiI и SiII, равное $0,5\text{dex}$. Как показано здесь, причиной такого различия, по-видимому, являлось использование в [1, 2] менее точных сил осцилляторов $\lg gf$. Нам удалось отыскать более свежие определения $\lg gf$ [14] для указанных линий SiI (см. табл. 3). С этими значениями $\lg gf$ были рассчитаны $\lg \epsilon(\text{Si})$ в V644 Her, и, как видно из табл. 3, оценки содержаний по SiI и SiII для этой звезды оказались близкими. Сравнение средней величины $\lg \epsilon(\text{Si}) = 7,35$ с солнечным значением показывает дефицит этого элемента в V644 Her, равный $-0,25\text{dex}$. Мы также пересчитали содержания $\lg \epsilon(\text{Si})$ с новыми $\lg gf$ для 28And и 44Tau, в результате чего оказалось, что средние величины содержаний кремния $\lg \epsilon(\text{Si}) = 7,51$ (28And) и $\lg \epsilon(\text{Si}) = 7,52$ (44 Tau) близки солнечным значениям.

Сера. Для оценки содержания серы в V644 Her мы могли использовать лишь одну линию серы $\lambda 8694,77$ SI. Ее эквивалентная ширина была определена по красной половине профиля и удвоена, так как синее крыло этой линии блендируется. Содержание серы оказалось равным $\lg \epsilon(\text{S}) = 7,03$, что ниже солнечного на $0,17\text{dex}$ и близко к тому, что получено для 28And и 44Tau в [1, 2].

Содержание элементов в атмосфере V644 Her относительно Солнца $\Delta \lg \epsilon(\text{El}) = \lg \epsilon(\text{El})_{\star} - \lg \epsilon(\text{El})_{\odot}$ представлено на рис. 2.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Остановимся на элементах С, N, O. Для трех пульсирующих звезд типа δ Sct результаты, полученные нами здесь и в [1, 2], следующие (относительно Солнца):

содержание углерода $\lg \epsilon(\text{C})$ оказалось чуть ниже у всех трех пульсирующих: у 28And и 44Tau на $-0,10\text{dex}$ и на $-0,25\text{dex}$ у V644 Her;

содержание азота $\lg \epsilon(\text{N})$ в наибольшем дефиците ($-0,55\text{dex}$) наблюдается у 28And, тогда как у 44Tau и V644 Her оно соответственно равно $-0,25\text{dex}$ и $-0,20\text{dex}$;

дефицит кислорода у 28And составляет $-0,36\text{dex}$, у 44Tau всего $-0,11\text{dex}$, для V644 Her $\lg \epsilon(\text{O})$ оказалось близким к солнечному значению.

Как уже неоднократно отмечалось (см., например, [19]), пульсирующие звезды 28And, 44Tau и V644 Her имеют аномальный химический состав подобно Ам-звездам, но с менее выраженной степенью аномалий. Представляет интерес сравнить содержания С, N, O в звездах этих двух типов. Из наиболее поздних работ, где исследовались элементы С, N, O в металлических Ам-звездах, следует упомянуть результаты Роби и Ламберта [20], Саванова [21] и Ван Веер-Меннерета и др. [18] (в [18] изло-

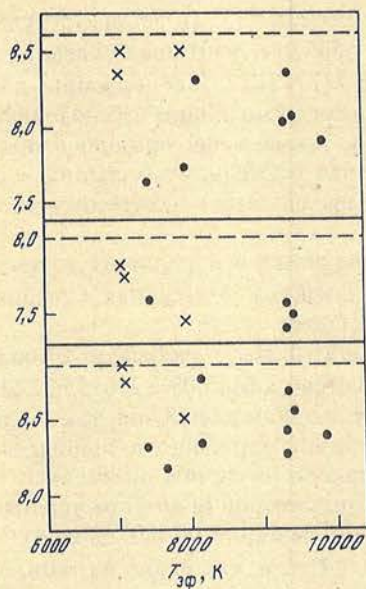


Рис. 3. Содержания углерода, азота и кислорода в Ам-звездах согласно [21] (точки)

Крестики – содержание C, N, O для V644 Her по результатам данной статьи и для 28 And и 44 Tau согласно [1, 2]. Штриховые линии – солнечное содержание C, N, O (см. табл. 4)

жены результаты изучения только содержания кислорода для 15 Ам-звезд). Авторы [18, 20, 21] отмечают пониженное относительно Солнца содержание C, N, O в исследованных ими звездах.

На рис. 3 мы проводим сравнение содержаний $\lg \epsilon(C, N, O)$ для пульсирующих 28 And, 44 Tau и V644 Her согласно нашим исследованиям и для Ам-звезд по результатам Саванова [21]. Такое сравнение мы считаем правомочным, поскольку для пульсирующих и Ам-звезд [21] мы имеем одну систему эквивалентных ширин, так как материал наблюдений в обоих случаях получен на одних и тех же инструментах, его обработка и дальнейший анализ выполнены одними и теми же методами. На основании рис. 3 можно, по-видимому, сделать заключение, что у 28 And ($T_{\text{eff}} = 7900 \text{ K}$)

содержания азота и кислорода близки их содержаниям для Ам-звезд близких эффективных температур, а содержание углерода ближе к солнечному. Для двух других звезд 44 Tau ($T_{\text{eff}} = 7100 \text{ K}$) и V644 Her дефицит всех трех элементов C, N, O, вероятно, меньше, чем для Ам-звезд.

Мы предполагаем продолжить изучение содержаний C, N, O в атмосферах пульсирующих типа δ Sct и надеемся, что дополнительные данные позволят нам сделать более определенные выводы.

В заключение автор благодарит Л.С. Любимкова за полезные критические замечания, высказанные при чтении рукописи.

Декабрь. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рачковская Т.М. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1993. Т. 87. С. 68–75.
2. Рачковская Т.М. // Там же. 1993. Т. 88. С. 3–11.
3. Shajn G.A. // Pulk. Obs. Circ. 1932. Vol. 2. P. 11–12.
4. Harper W.E. // Publ. Dom. Astrophys. Obs. Victoria. 1932. Vol. 6. P. 79–91.
5. Shajn G.A., Melnikov O.A. // Pulk. Obs. Circ. 1936. Vol. 19. P. 11–15.
6. Bardin C., Imbert M. // Astron. astrophys. Suppl. Ser. 1982. Vol. 47. P. 319–322.
7. Любимков Л.С., Рачковская Т.М. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1985. Т. 72. С. 89–99.
8. Любимков Л.С., Рачковская Т.М. // Там же. 1986. Т. 74. С. 14–19.
9. Uesugi A., Fukuda J. // Revised catalogue of stellar rotational velocities. Kyoto: Dep. Astron. Univ., 1982.
10. Breger M. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1979. Vol. 91. P. 5–26.
11. Batten A.H., Fletcher J.M., MacCarthy D.G. // Publ. Dom. Astrophys. Obs. Vict. 1989. vol. 17. P. 1–317.
12. Nuovelin I., Poutanen M., Tuominen I. // Helsinki Univ Techn. Radio Lab. Rep. 1986. S166. P. 18.
13. Березин В.Ю., Зуев А.Г., Кирьян Г.В. и др. // Письма в "Астрон. журн." 1991. Т. 17. С. 953–960.
14. Thevenin F. // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1990. vol. 82. P. 179–188.
15. Любимков Л.С. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1985. Т. 74. С. 3–14.
16. Baschek B., Scholz M., Sedlmayr E. // Astron. Astrophys. 1977. Vol. 55. P. 375–386.
17. Любимков Л.С., Рачковская Т.М. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1985. Т. 73. С. 82–92.

18. Van't Veer-Menneret C., Faraggiana R., Gerbaldi M. et al. // *Astron. Astrophys.* 1989. Vol. 224. P. 171–178.
19. Рачковская Т.М. // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.* 1988. Т. 80. С. 3–18.
20. Roby S.W., Lambert D.L. // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1990. Vol. 73. P. 67–102.
21. Savanov I.S. // *Magnetic Stars: Proc. of Intern. meeting on the problem "Physics and evolution of Stars".* Leningrad: Nauka, 1988. P. 161–166.

УДК 524.337

АБСОЛЮТНАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ НОВОЙ ЛИСИЧКИ 1984 N 1 (PW Vul)

В.И. Бурнашев

На основании абсолютных спектрофотометрических наблюдений PW Vul (Новой Лисички 1984 N 1), выполненных во время переходной стадии с 17.08.1984 г. по 6.10.1984 г., оценена величина межзвездного поглощения $A_V = 1^m,8$. В течение периода наблюдений температура псевдофотосферы изменялась от 18000 К до 30000 К, электронная плотность в оболочке — от $n_e = (2-3) \cdot 10^9$ до $n_e = (2-3) \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$, коэффициент дилуции — от $W = 10^{-4} - 10^{-5}$ до $W = 10^{-5} - 10^{-6}$. Температура газовой оболочки $T_e = (10-20) \cdot 10^3$ К, вероятность выхода L_α -кванта $\beta_{12} = 10^{-2}$.

THE ABSOLUTE SPECTROPHOTOMETRY OF PW VUL (NOVA VUL 1984 N 1), by V.I. Burnashev.
The absolute spectrophotometric observations of PW Vul (Nova Vul 1984 No 1) have been carried out during the transition phase from 17.08 to 6.10.1984. The interstellar absorption was estimated as $A_V = 1^m,8$. The temperature of the pseudophotosphere was changed from 18000 K to 30000 K during our observations. Some parameters of the gaseous shell were estimated: electron density was changed from $n_e = (2-3) \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$ to $n_e = (2-3) \cdot 10^8 \text{ cm}^{-3}$, dilution factor from $W = 10^{-4} - 10^{-5}$ to $W = 10^{-5} - 10^{-6}$. The electron temperature was $T_e = (10-20) \cdot 10^3$ and L_α -quanta escape probability $\beta_{12} = 10^{-2}$.

ВВЕДЕНИЕ

Новая Лисички N 1 (PW Vul) достигла максимума своего блеска $m_V = 6^m,4$ примерно 4–5 августа 1984 г. Верхний предел яркости звезды перед вспышкой, найденный Дюрбеком и др. [1], составляющий $B = 16^m,3$, не слишком противоречит оценке Шао [2], сделанной по Паломарскому атласу: $m_{pg} = 17^m$. Начальный участок кривой блеска построен Хаке [3] по пластинкам коллекций Зоннебергской обсерватории и ГАИШ начиная с 21 июля, когда блеск звезды составлял $m_{pg} = 14^m,3$. Первая оценка, приведенная в обзоре Швейцера [4], относится уже к 27 июля. Примерно в это же время начаты наблюдения Кудашкиной и Андроновым [6]. Сводная кривая блеска, построенная Швейцером по фотографическим и визуальным наблюдениям, обеспечена ежедневными оценками до января 1985 г., правда, со значительным разбросом, достигающим до 1^m . Фотографические оценки блеска, сделанные Хаке, продлены до декабря 1986 г., когда звезда ослабела до $m_{pg} = 16^m,5$. Первые фотоэлектрические наблюдения, выполненные Шультом [5] и Роббом и др. [7], позволяют установить характерную "остановку" на восходящей ветви 2–3 августа на уровне $m_V = 7^m,2$. В целом же опубликованные фотоэлектрические оценки относятся к переходной стадии.

Наиболее полный ряд получен в ГАИШ [8–11]. Вместе с оценкой Элбинсона и др. [12] эти данные позволяют проследить развитие кривой блеска почти до конца 1986 г. В течение переходной стадии блеск звезды испытывал неправильные изменения с характерным временем порядка нескольких дней и амплитудой в несколько десятых

звездной величины. Наиболее значительное поярчение (до 1^m) имело место между 17 и 18 августа. Кроме того, в отдельные ночи блеск звезды изменялся за 5–6 мин на $0^m,03$ – $0^m,04$, и до $0^m,2$ за 2–3 ч [13]. Достаточно плотный ряд, полученный Хаке во время небулярной стадии в конце 1986 г., позволил сделать вывод о периодических изменениях блеска, вызванных орбитальным движением с периодом $P = 0^d,21372 \pm 0^d,0009$. Тем не менее эти изменения с амплитудой около $0^m,3$ – $0^m,4$ не в полной мере объясняют значительную разность между фотографическими m_{pg} и фотоэлектрическими B -величинами, составляющую почти 1^m . В свое время Колотилковым и Шенавриным [14] также была отмечена большая (до $0^m,7$) разность между глазомерными и фотоэлектрическими V -величинами для Новой Лисички 1984 N 2 (QU Vul). На наш взгляд, эти факты еще раз указывают на трудность взаимных редукций измерений блеска пекулярных звезд, выполненных в различных фотометрических системах. В данном случае речь идет о звезде, блеск которой в визуальной области обусловлен в основном свечением эмиссионных линий.

Спектральные наблюдения с достаточно хорошим разрешением, позволяющим рассмотреть структуру линий и измерить лучевые скорости отдельных абсорбционных и эмиссионных компонентов, выполнены начиная с конца июля Колотилковым и Носковой [9, 10], Андрия и Узьо [15, 16], Розино и Иджима [17]. Появившиеся еще в предмаксимальной фазе эмиссионные линии имели профиль типа P Cуг, причем смещение абсорбционного компонента постепенно возрастало от 530 до 730 км/с к началу ноября. Эмиссионные компоненты уменьшили свою интенсивность в максимуме блеска и снова начали усиливаться после максимума. Абсорбционные линии диффузно-искрового спектра заметны начиная с 10 августа. Их смещения также возрастали от 1150 до 1500 км/с. С 11 августа в эмиссиях проявляется двухкомпонентная структура, которая сохранилась и в небулярной стадии [10]. По мнению авторов [10], это не противоречит модели "экваториальное кольцо – две полярные шапки" при угле наклона кольца к лучу зрения $\vartheta = 45^\circ$.

Параллельные наблюдения с помощью спутника IUE и на 1,52-см телескопе ESO во время небулярной стадии (июнь 1985 г.) дали возможность Андре и др. [18] оценить условия в тех местах оболочки, где возникают разные линии: электронная температура $T_e(NV) = 15000 \pm 800$ К, $T_e(СIII) = 10300 \pm 600$ К и электронная концентрация $\lg n_e = 7,0 \pm 0,5$. Имеющийся наблюдательный материал позволил этим авторам определить содержания некоторых элементов по отношению к солнечному. Полученные ими избытки кислорода в (30 раз), углерода в (10 раз) и азота (в 200 раз) согласуются с наблюдаемыми в оболочках других новых звезд и соответствуют предсказанным для термоядерного взрыва на поверхности O–Ne–Mg-белого карлика.

Наблюдения в рентгеновском диапазоне на спутнике EXOSAT показали постепенное возрастание в течение года рентгеновского потока [19]. Оценено, что белый карлик должен иметь массу примерно $1M_\odot$, светимость около $2 \cdot 10^4 L_\odot$, массу оболочки $10^{-6} M_\odot$.

Существует достаточно богатый ряд инфракрасных фотометрических и спектральных наблюдений в широком диапазоне [20–22]. На ранних стадиях видны сильные линии CI и NI, нет заметных молекулярных полос. На основании инфракрасных фотометрических наблюдений сделан вывод о том, что физические условия в оболочке (малое содержание металлов, малая плотность и ранняя ионизация в выбросе) не позволили развиться мощной пылевой оболочке. Массы пылевой оболочки около $5 \cdot 10^{-10} M_\odot$.

Абсолютные спектрофотометрические наблюдения, т.е. измерения абсолютных потоков, выполненные по спектрам низкого разрешения, проведены в широком спектральном диапазоне: от ультрафиолетовой области [23] до инфракрасной [22, 24]. Для этих целей при выборе подходящей звезды сравнения могли бы быть использованы также наблюдения, выполненные с помощью спектрографа с ретикуном [16, 17].

Отметим, что ультрафиолетовые спектрометры IUE обеспечивают измерения в области 1200–3350 Å, а наблюдения с помощью диссекторного сканнера, примененного Сезаром и др. [23], перекрывают интервал от 3800 до 8600 Å, т.е. вне измерений остается важная спектральная область, включающая бальмеровский скачок. С другой стороны, наблюдения с помощью двухлучевого спектрометра с ретиконом лишь в одном случае (2 июня 1985 г.) проведены во всем доступном спектральном диапазоне от 3300 до 8000 Å. В целом же опубликованные данные относятся к отдельным участкам спектра и сделаны в основном в течение небулярной фазы.

1. НАБЛЮДЕНИЯ

Спектрофотометрические наблюдения PW Vul начаты в Крымской астрофизической обсерватории 17.08.1984 г. и закончены 6.10.1984 г., т.е. проведены в начале переходного периода. Наблюдения выполнены с помощью сканирующего спектрофотометра АСП-38, установленного на 125-см рефлекторе АЗТ-11. Выходная щель прибора выделяет на спектре участок шириной около 20 Å. С учетом среднего качества изображения звезды (3''–5'') реальное разрешение составляет около 27–30 Å. Шаг сканирования 10 Å. Абсолютная калибровка выполнена с помощью вспомогательного стандарта α Лас, распределение энергии в спектре которой определено путем привязки к первичному звездному стандарту α Луг. Таким образом, система абсолютной калибровки основана на распределении энергии в спектре α Луг, определенной Харитоновым [25]. Эта спектрофотометрическая система отличается от применяемой многими исследователями системы Хейеса [26] не более чем на 3% в участках спектра, свободных от линий. На рис. 1 для примера приводятся некоторые из полученных спектроэнергетических кривых, относящиеся к наиболее характерным моментам на кривой блеска.

Участок кривой блеска, изображенный на рис. 2, построен по наиболее надежным, на наш взгляд, фотоэлектрическим измерениям [6–8, 11, 13, 20]. Крестиками отмечены значения V , $B-V$ и $U-B$, приведенные в табл. 1. Они определены путем перемножения кривых реакции системы UBV [27] и полученных спектроэнергетических кривых. Вычисленные значения с точностью до нескольких сотых звездной величины согласуются с наблюдениями других авторов. Таким образом, несмотря на пекулярное распределение энергии в спектре звезды, ошибки редукции к стандартной системе оказались порядка ошибок наблюдений.

Из рис. 1 видно, что, несмотря на непродолжительный интервал наблюдений (меньше полутора месяцев), в спектре Новой наблюдались заметные изменения. В нижней части рис. 2 показаны относительные изменения интенсивностей водородных линий и потоков в участках квазиконтинуума, отмеченных на рис. 1 стрелками. Особого упоминания заслуживает изменение потоков в линиях $[OI]\lambda 5577$ и $[NII]\lambda 5755$, отмеченные на рис. 2 кружками. Поскольку потенциалы ионизации OI и NI близки, а потенциалы ионизации OII и NII также не сильно различаются, возрастание отношения $[NII]\lambda 5755/[OI]\lambda 5577$ отражает изменение степени ионизации в оболочке.

Полученные данные искажены межзвездным поглощением, величину которого разные авторы оценили различными методами. Герц и др. [21], которые не учитывали влияния межзвездного поглощения, оценили расстояние до звезды $r = 6,35 \pm 0,35$ кпк. По интенсивности межзвездной линии $CaII$ Дюрбек и др. [1] определили значение поглощения в визуальной области $A_V = 1^m,4$ и расстояние $r = 1,2$ кпк. Оценка, сделанная Мирошниченко [28] по средней зависимости между $U-B$ и $B-V$ на стадии стабилизации кривой блеска, приводит к значению $A_V = 1^m,57 \pm 0^m,12$. Ван ден Берг и Юнгер [29] нашли $A_V = 1^m,21$, принимая $B-V = 0^m,02$ на стадии падения блеска на 2^m после максимума. Эванс и др. [22] приводят оценку Снайдерса $E_{B-V} = 0^m,5 \pm 0^m,15$, сделанную по величине межзвездной особенности $\lambda 2200\text{Å}$. Это значение, принятое во

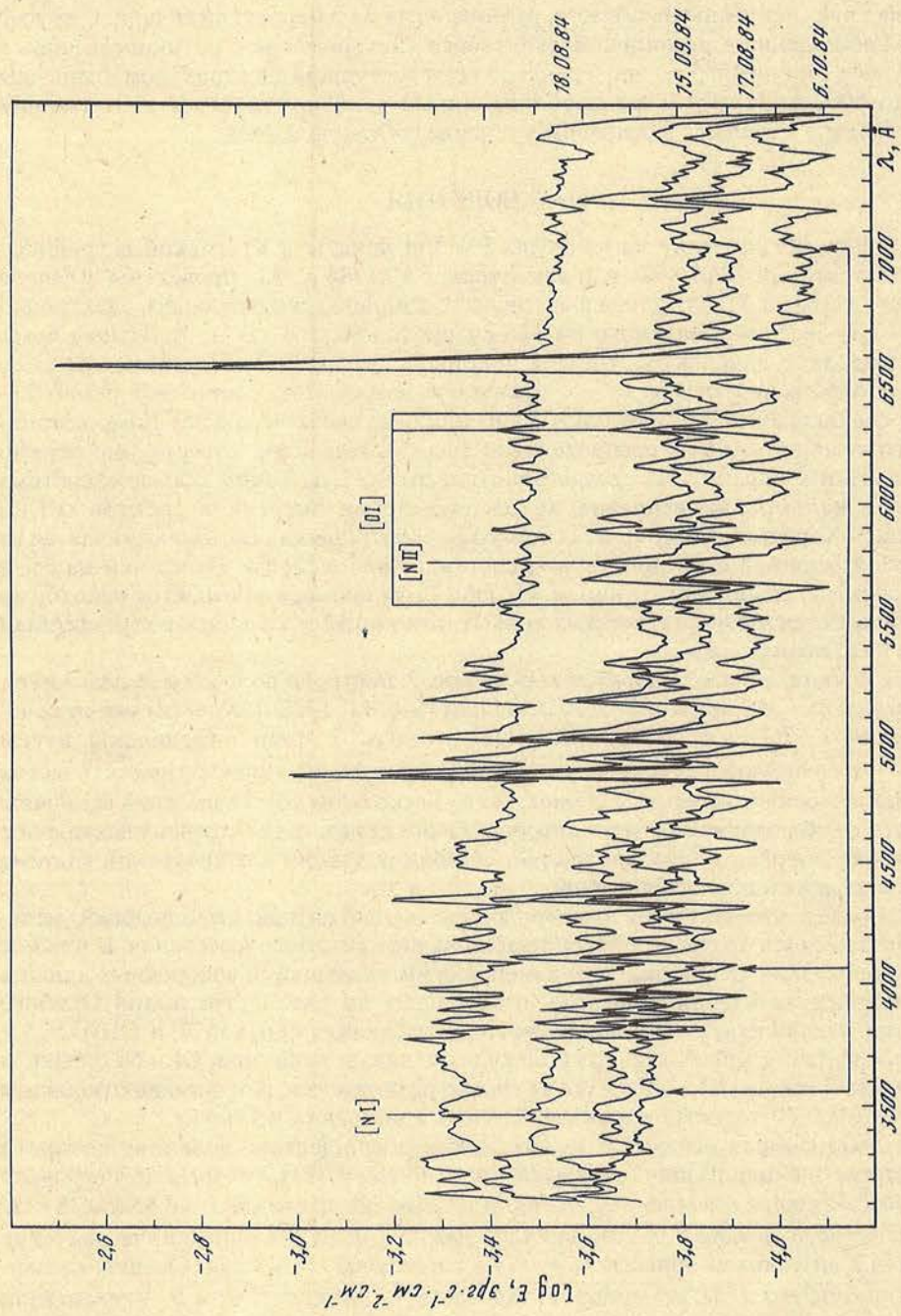


Рис. 1. Распределение энергии в спектре PW Vul
Стрелками отмечено положение участков континуума

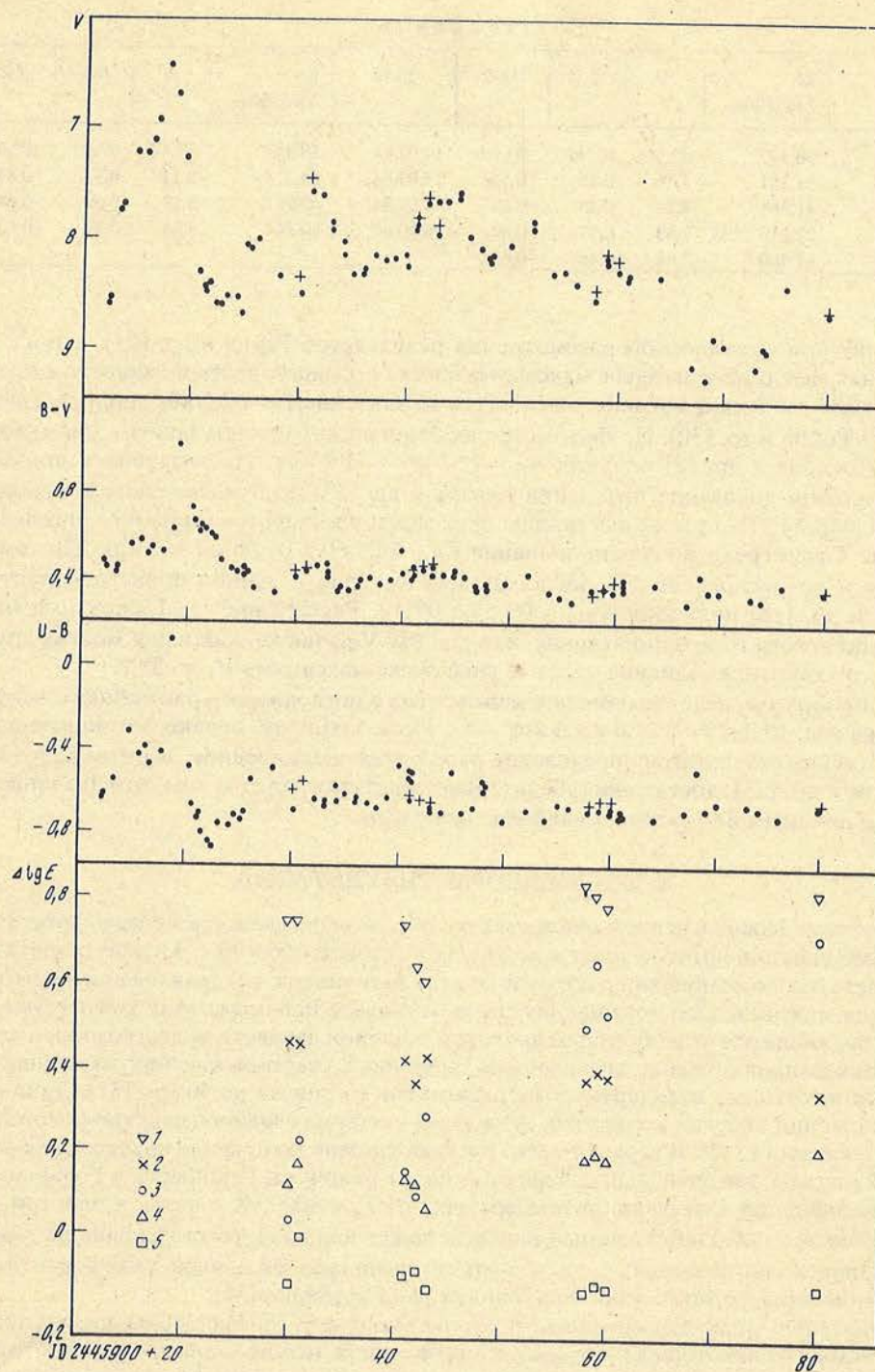


Рис. 2. Сводные кривые блеска и показателей цвета, построенные по нашим (крестики) и по литературным данным (точки)

В нижней части рисунка показаны измеренные относительные потоки в линиях: 1 – H_{α}/H_{β} , 2 – H_{β}/H_{γ} , 3 – $[NII]\lambda 5755/[OI]\lambda 5577$ и в континууме: 4 – $E(4060)/E(7030)$, 5 – $E(4060)/E(3560)$

Таблица 1

Дата	JD 2445900+	V	B-V	U-B	Дата	JD 2445900+	V	B-V	U-B
17.08.84	30,347	8 ^m ,36	0 ^m ,44	-0 ^m ,60	14.09.84	58,342	8 ^m ,47	0 ^m ,35	-0 ^m ,66
18.08.84	31,351	7,46	0,45	-0,56	15.09.84	59,313	8,13	0,37	-0,64
28.08.84	41,361	7,84	0,45	-0,62	16.09.84	60,281	8,19	0,40	-0,64
29.08.84	42,319	7,63	0,47	-0,64	06.10.84	80,244	8,64	0,37	-0,65
30.08.84	43,300	7,88	0,48	-0,65					

внимание при критическом рассмотрении результатов Герца и др. [21], а также из сравнения светимости звезды в максимуме блеска с эддингтоновской, привело к оценке расстояния $r = 3$ кпк, которая согласуется со значением $r = 2,5$ кпк, приведенным в заметке Робба и др. [30]. По фотометрическим и спектральным данным для соседних звезд Носкова и др. [8] оценили $A_V = 1^m,2$ и $r = 1,9$ кпк. Наблюдения в широком спектральном диапазоне позволили Сезару и др. [23] по относительным интенсивностям линий HeII, а также с помощью проведенной ими фотометрии соседних звезд в системе Стремгрена получить значения $E_{B-V} = 0^m,60 \pm 0^m,06$ и $r = 3$ кпк. По тем же линиям и по распределению поглощающей материи в данной области Галактики Андре и др. [18] получили $E_{B-V} = 0^m,55 \pm 0^m,10$. Расстояние $r = 1,3$ кпк ими было получено исходя из предположения, что для PW Vul, также, как и для многих других Новых, абсолютная величина через 15 дней после максимума $M_V = -5^m,2$.

Таким образом, величины оценок межзвездного поглощения и расстояния попадают в интервалы: $1^m,2 < A_V < 2^m,0$ и $1,2 \text{ кпк} < r < 3 \text{ кпк}$. Отметим, однако, что критическое рассмотрение результатов определений расстояния, выполненное Эвансом и др. [22] и Сезаром и др. [23], достаточно убедительно свидетельствует о том, что значение $r = 3$ кпк, по-видимому, является наиболее реальным.

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Излучение Новой в непрерывном спектре обусловлено свечением псевдофотосферы и рекомбинационным излучением водорода в газовой оболочке. Можно попытаться подобрать такую комбинацию потоков от этих источников, которая бы при некотором значении межзвездного поглощения соответствовала наблюдаемому континууму. На рис. 3, являющимся своеобразным аналогом обычной двуцветной диаграммы, в левой части показано положение индексов для выбранных участков континуума, вычисленных для некоторых стандартных сверхгигантов из списка де Ягера [31]. Данные о распределении энергии в спектрах этих звезд взяты из сводного спектрофотометрического каталога [32]. В верхней части рисунка указано положение индексов для водородной плазмы, которые вычислены по данным Боярчука, Гершберга и Годовникова [33] для значений электронной температуры от $T_e = 80000$ К и ниже, и электронной плотности $n_e > 10^6$. Наблюдаемые индексы лежат в правой части графика на линиях нарастающего поглощения, вычисленных согласно средней кривой Уайтфорда по интерполяционной формуле, взятой из монографии Страйжиса [34].

Избыточное число параметров не позволяет получить однозначную картину, тем не менее исходя из некоторых разумных предположений, можно сделать оценки, которые приводятся в табл. 2. В первой колонке таблицы даны сведения о сверхгигантах, распределение энергии в спектрах которых было принято для аппроксимации свечения псевдофотосферы в разные моменты наблюдений: названия, спектральные классы и эффективные температуры, взятые из вышеупомянутого списка де Ягера. Принятые для них значения межзвездного поглощения оценены с помощью нормальных цветов,

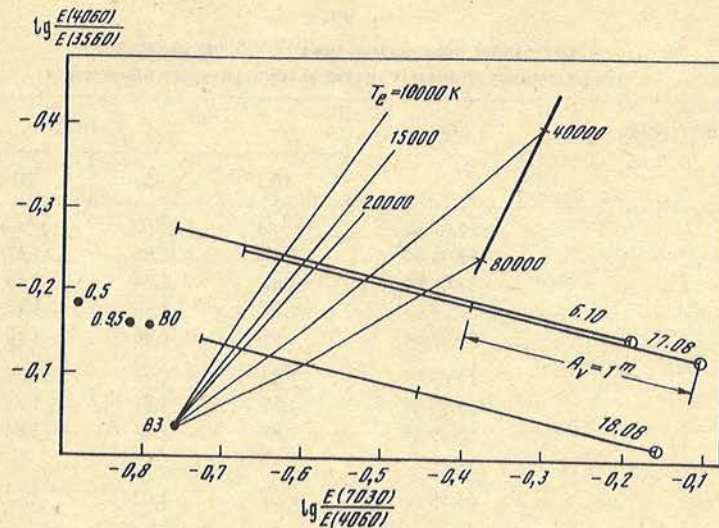


Рис. 3. Определение межзвездного поглощения и вклада газовой оболочки в общее излучение звезды в континууме

Кружки – наблюдаемые для трех дат значения, лежащие на линиях нарастающего поглощения. Заполненные кружки – стандартные сверхгиганты, жирная линия – водородная плазма для разных значений T_e . Для примера тонкими линиями показано положение расчетных индексов для разных вкладов псевдофотосферы (B3) и оболочки с $T_e = 10 \cdot 10^3, 20 \cdot 10^3, 40 \cdot 10^3, 80 \cdot 10^3$ K. Оценки A_V и вклада оболочки при данной температуре T_e лежат на пересечении этих линий и линий нарастающего поглощения

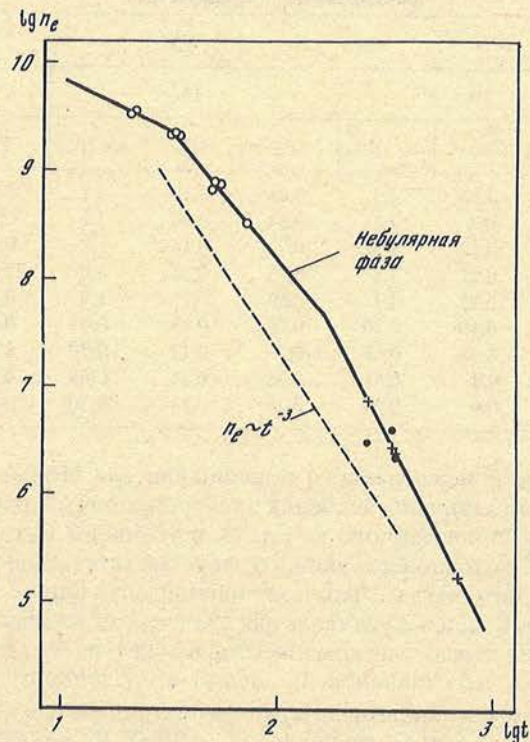


Рис. 4. Изменение электронной концентрации в оболочке Новой со временем
Кружки – наши определения, крестики и точки – данные [23]

Т а б л и ц а 2
Межзвездное поглощение для PW Vul, определенное
для различных принятых значений температуры в оболочке

Сведения о звезде	Дата	$T_e, 10^3\text{K}$			
		10	15	20	40
σ^2 CMa	17.08.84	$1^m,84$	$1^m,75$	$1^m,69$	$1^m,46$
B3 I	18.08.84	1,87	1,85	1,82	1,68
$T_{\text{eff}} = 18000\text{ K}$	28.08.84	1,82	1,74	1,69	1,48
	29.08.84	1,87	1,80	1,75	1,53
$A_V = 0^m,15$	30.08.84	1,95	1,86	1,80	1,59
ϵ Ori	14.09.84	1,83	1,77	1,75	1,50
B0 I	15.09.84	1,87	1,81	1,77	1,42
$T_{\text{eff}} = 24800\text{ K}$	16.09.84	1,87	1,84	1,84	1,56
$A_V = 0^m,15$					
ζ Ori	06.10.84	1,91	1,82	1,72	1,46
O9,5					
$T_{\text{eff}} = 29900\text{ K}$					
$A_V = 0^m,18$					
Среднее		1,87	1,80	1,76	1,52

Т а б л и ц а 3
Вклад фотосферы и оболочки в измеренный поток в $\lambda 5550 \text{ \AA}$ и электронная концентрация в оболочке для
разных значений температуры

Дата	$T_e, 10^3\text{K}$								
	10			15			20		
	Ph	Об.	$n_e \cdot 10^{-9}$	Ph	Об.	$n_e \cdot 10^{-9}$	Ph	Об.	$n_e \cdot 10^{-9}$
17.08.84	0,77	0,12	2,3	0,68	0,20	3,1	0,56	0,24	3,3
18.08.84	0,87	0,5	2,2	0,84	0,10	3,1	0,76	0,13	3,7
28.08.84	0,81	0,10	1,4	0,72	0,18	1,9	0,63	0,24	2,2
29.08.84	0,85	0,11	1,5	0,73	0,18	2,0	0,65	0,23	2,3
30.08.84	0,76	0,15	1,5	0,69	0,23	1,9	0,61	0,30	2,3
14.09.84	0,78	0,10	0,50	0,76	0,13	0,61	0,68	0,18	0,72
15.09.84	0,77	0,13	0,67	0,71	0,13	0,70	0,76	0,15	0,77
16.09.84	0,80	0,8	0,51	0,73	0,14	0,68	0,70	0,16	0,76
6.10.84	0,75	0,9	0,23	0,71	0,13	0,30	0,66	0,19	0,35

взятых из [34]. Оценки межзвездного поглощения для Новой даны в следующих столбцах таблицы для различных значений электронной температуры. Они получены при помощи графика, приведенного на рис. 3, и уточнены путем сравнения наблюдаемого спектра с вычисленной для данного значения межзвездного поглощения комбинацией потоков "звезда+газ". Такое сравнение, сделанное во всем диапазоне, позволяет до некоторой степени уточнить как значение межзвездного поглощения, так и относительный вклад каждого из компонентов в общее излучение.

Из табл. 2 следует, что значения A_V лежат в пределах от $1^m,5$ до $1^m,9$, что не противоречит оценкам, сделанным другими авторами. Исходя из наблюдений других новых звезд, кажется разумным ограничить $T_e < 20000\text{ K}$, что сужает возможный интервал: $1^m,76 < A_V < 1^m,87$. Таким образом, по-видимому, величину $A_V = 1^m,8$ можно считать достаточно надежной.

Значения вкладов псевдофотосферы (Ph) и оболочки (Ob) в наблюдаемые потоки на длине волны $\lambda 5550 \text{ \AA}$ приводятся в табл. 3. Эти величины вместе с взятыми из литературных источников данными о скорости расширения оболочки (600 км/с) и принятым расхождением до звезды 3 кпк позволяют оценить значения дилуции: $W = 10^{-4} + 10^{-5}$ в середине августа и $W = 10^{-5} + 10^{-6}$ в начале октября, в конце периода наблюдений.

Кроме того, оценки вклада оболочки в общее излучение звезды дают возможность получить значения меры эмиссии $n_e^2 V$. Величина светящегося объема V оценена по скорости расширения из предположения о его сферической симметрии. Объемный коэффициент при свободно-связанных и свободно-свободных переходах вычислен по формулам, приведенным в [33]. Полученные оценки электронной плотности n_e также приведены в табл. 3. На рис. 4, построенном по данным таблицы для $T_e = 15000 \text{ K}$, показано изменение n_e со времени начала вспышки. Значения, относящиеся к небулярной стадии, определены Сезаром и др. [23] по отношениям интенсивностей линий [OII]. Крестики соответствуют температуре $T_e = 13200 \text{ K}$. За нулевой момент принято 28 августа. Штриховая линия соответствует трехмерному свободному разлету с постоянной скоростью. Как видно, изменение n_e со временем отличается от такой зависимости. Это кажется вполне естественным, имея в виду заведомое невыполнение условия сферической симметрии выброса, продолжающееся истечение газа и, особенно на первых этапах, большую оптическую толщину выброшенного вещества. Изменение n_e с начального момента до начала сентября может быть истолковано как расширение оболочки с постоянной толщиной.

В свое время Ильмас [35] рассчитала интенсивности линий водородного спектра для различных значений температур плазмы и возбуждающей звезды. К сожалению, интервал параметров, принятых при расчетах, оказался недостаточным для полного сравнения расчетных потоков с наблюдаемыми. Такое сравнение оказалось возможным лишь для спектра, полученного 6 октября (времени окончания наблюдений), для температуры звезды $T_{ph} = 30000 \text{ K}$ и температуры плазмы $T_e = 15000 \text{ K}$. Несмотря на малую чувствительность примененного метода, полученные оценки ($W = 10^{-6} + 10^{-7}$, $n_e = 10^9 + 10^{11}$) и вероятность выхода L_α -кванта $\beta_{12} = 10^{-2}$, вообще говоря, не противоречат приведенным в табл. 3.

В рассматриваемом спектральном диапазоне большинство запрещенных линий не поддается измерениям из-за блендирования, и для определения условий в оболочке оказалась пригодной только пара линий кислорода [OI]: $\lambda 5577$ и $\lambda 6300$. Отметим, что обычно в течение переходной стадии изменения абсолютной интенсивности этих линий следуют за колебаниями блеска звезды.

В свое время В.Г. Горбацким были объяснены условия возникновения линий [OI] и причины изменения их интенсивностей в спектре Новой Ящерицы 1950 во время переходной фазы [36]. Увеличение блеска вызывалось усилением корпускулярного потока от звезды, который экранировал ее высокочастотное излучение. Это приводило к изменению степени ионизации в оболочке и, следовательно, к усилению линий [OI] и [NI] и ослаблению линий [OII] и [NII]. Линии [OI] возникали в области, где n_e примерно на порядок ниже, чем в зоне НII, а температура соответствовала $T_e = 10000 \text{ K}$.

В рассматриваемом случае в течение периода наблюдений измеренное отношение интенсивностей линий [OI] $\lambda 5577$ /[OI] $\lambda 6300$ для $T_e = 10000 + 15000 \text{ K}$ соответствует $n_e = (1 + 6) \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$, что также не противоречит значениям, приведенным в табл. 3.

Таким образом, на основании абсолютных спектрофотометрических наблюдений RW Vul, выполненных в течение переходной стадии, получены следующие оценки: величина межзвездного поглощения $A_V = 1^m,8$, температура псевдофотосферы T_{ph} изменялась от 18000 до 30000 K, электронная температура в оболочке $T_e = 10000 + 20000 \text{ K}$, электронная концентрация n_e изменялась от $3 \cdot 10^9$ до $3 \cdot 10^8$.

Автор глубоко благодарен Р.Е. Гершбергу за ценные советы в ходе выполнения работы, Е.А. Колотилову, прочитавшему рукопись и сделавшему ряд ценных замечаний, М.Н. Ловкой за помощь в наблюдениях, Б.А. Бурнашевой и Ю.А. Малькову за помощь в обработке, В.Т. Жоголевой, Л.И. Филатовой и Л.И. Аксиментьевой за помощь в изготовлении иллюстраций.

Декабрь. 1992 г.

КВАЗАРЫ С СИЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫМ СВЕТОМ

ЛИТЕРАТУРА

1. Duerbeck H.W., Geffert M., Nelles B. et al. // IBVS. 1984. N 2641. P. 1.
2. Shao C.J. // IAU. Circ. 1984. N 3964.
3. Hacke G. // Mitt. Veradnerl. Sterne. 1987. Vol. 11. P. 40.
4. Schweitzer E. // Astronomie. 1986. Vol. 100. P. 247.
5. Schult R.H. // IBVS. 1984. N 2578. P. 1.
6. Кудашкина Л.С., Андронов И.Л. // Астрон. цирк. 1985. № 1365. С. 6.
7. Robb R.M., Knee L.B.G., Gregory C., Schnell A. // IAU. Circ. 1984. N 3976.
8. Носкова Р.И., Зайцева Г.В., Колотилов Е.А. // Письма в "Астрон. журн." 1985. Т. 11. С. 613.
9. Колотилов Е.А., Носкова Р.И. // Там же. 1986. Т. 12. С. 883.
10. Колотилов Е.А., Носкова Р.И. // Там же. 1987. Т. 13. С. 886.
11. Волошина И.Б. // Астрон. цирк. 1985. № 1358. С. 4.
12. Albinson J.S., Bode M.F., Evans A., Goldsmith M.J. // IAU. Circ. 1985. N 4091.
13. Papousek J. // IBVS. 1985. N 2720. P. 1.
14. Колотилов Е.А., Шенаврин В.И. // Письма в "Астрон. журн." 1988. Т. 14. С. 70.
15. Andriolat Y., Houziaux L. // Bull. inf. Cent. donnees stellaires. 1985. N 28. P. 111.
16. Andriolat Y., Houziaux L. // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1987. Vol. 67. P. 111.
17. Rosino L., Iijima T. // Astrophys. Space Sci. 1987. Vol. 130. P. 157.
18. Andrae J., Drechsler H., Snijders M.A.J., Cassatella A. // Astron. Astrophys. 1991. Vol. 244. P. 111.
19. Ogelman H., Krautter J., Beuermann K. // Astron. Astrophys. 1987. Vol. 177. P. 110.
20. Таранов О.Г., Шенаврин В.И., Наджип А.Э. // Астрон. цирк. 1984. № 1348. С. 3.
21. Gehrz R.D., Harrison T.E., Ney E.P. et al. // Astrophys. J. 1988. Vol. 329. P. 894.
22. Evans A., Callus C.M., Whitelock P.A., Laney D. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1990. Vol. 246. P. 527.
23. Saizar P., Starfield S., Ferland G.J. et al. // Astrophys. J. 1991. Vol. 367. P. 310.
24. Kenyon S.J., Wade R.A. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1986. Vol. 98. P. 935.
25. Харитонов А.В. Абсолютная спектрофотометрия звезд в области 3200–7600 Å: Дис. д-ра физ.-мат. наук. М., МГУ. 1980. 263 с.
26. Hayes D. // IAU Symp. 1985. N 111. P. 225.
27. Бурнашев В.И. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1987. Т. 76. С. 70.
28. Мирошниченко А.С. // Астрон. журн. 1988. Т. 65. С. 582.
29. Van den Bergh S., Younger P.F. // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1987. Vol. 70. P. 125.
30. Robb R.M., Scarfe C.D., Knee L.B.G. // J. Roy. Astron. Soc. Canada. 1985. Vol. 79. P. 243.
31. Де-Ягер К. Звезды наибольшей светимости: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 493 с.
32. Бурнашев В.И. // Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерватории. 1985. Т. 59. С. 85.
33. Боярчук А.А., Гершберг Р.Е., Годовников Н.В. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1969. Т. 39. С. 147.
34. Страйжис В.Л. // Бюл. Вильнюс. обсерватории. 1964. № 11. С. 11.
35. Ilmas M. // Tartu Treated. 1971. N 32. P. 47.
36. Горбачук В.Г., Минин И.Н. Нестационарные звезды. М.: Физматгиз, 1963.

UBVRI-НАБЛЮДЕНИЯ ПЕРЕМЕННОСТИ ЯДЕР СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК NGC1275 И NGC4151. БЫСТРЫЕ ВСПЫШКИ НА КРИВЫХ БЛЕСКА NGC1275

Н.И. Меркулова, Л.П. Метик

Приведены результаты одновременных фотоэлектрических пятицветных наблюдений центральных областей сейфертовских галактик NGC1275 и NGC4151, полученных в 1989–1991 гг. на 1,25-метровом телескопе АЗТ-11 в диафрагме размером 20". Начиная с 1989 г. блеск галактики NGC4151 (типа Sy 1.5) возрастал во всех фильтрах, испытывая при этом довольно плавные изменения за десятки и сотни дней. Максимальные поярчения за все время наблюдений (с февраля 1989 г. по июнь 1991 г.) составили соответственно в фильтрах U BVR I : $1^m,36; 0^m,98; 0^m,53; 0^m,51; 0^m,44$. Ход показателей цвета повторяет ход

© Н.И. Меркулова, Л.П. Метик, 1995

кривых блеска, показывая при этом тенденцию к поглублению галактики с ее поярчением. Все локальные максимумы кривой блеска также связаны с поглублением ее во всех фильтрах, в то время как локальный минимум 1989 г. характеризовался покраснением синей области спектра и одновременным поглублением красной. Зависимости между блеском в разных спектральных диапазонах, а также цвет-звездная величина для галактики NGC4151 хорошо выражены, но данные сезона наблюдений 1990–1991 гг. свидетельствуют о цветовых аномалиях в поведении галактики. Этот факт отражают и двухцветные диаграммы: тенденция к поглублению галактики с поярчением замедлилась.

Галактика NGC1275 (тип Sy 2 или BL Lac) с конца 70-х годов находится в длительном фотометрическом минимуме и испытывает лишь небольшие колебания блеска около среднего значения. То же можно сказать и о ходе ее показателей цвета. Во время локального минимума (январь–март 1991 г.), наблюдавшегося нами примерно 80 дней, поведение галактики NGC1275 аналогично поведению галактики NGC4151 в период ее локального минимума: происходит покраснение синей части спектра и поглубление красной. Зависимости блеск-цвет для галактики NGC1275 выражены хуже вследствие малых цветовых изменений и большого разброса данных, превышающего ошибки наблюдений. Сложные и несинхронные изменения показателей цвета переменного ядра NGC1275 в ультрафиолетовой и красных областях спектра позволили предположить, что в нем есть два переменных источника.

Путем анализа кривых блеска галактики NGC1275 за ночь мы обнаружили быстрые вспышки двух типов. Вспышки первого типа характеризуются максимальным подъемом или падением блеска в фильтре *U* и минимальными изменениями в фильтре *I* (т.е. амплитуда события увеличивается с частотой подобно фликкер-шуму). При вспышках второго типа подъем блеска в фильтре *I* сопровождается постоянным (в пределах ошибок наблюдений) блеском в фильтре *U* или даже его падением на 3–4%. Максимальная амплитуда наблюдавшихся вспышек 5–15%, длительность их 15–30 мин.

UBVRI-OBSERVATIONS OF VARIABILITY OF SEYFERT GALAXIES NGC1275 AND NGC4151 NUCLEI. RAPID FLARES ON LIGHT CURVES OF THE GALAXY NGC1275, by N.I. MERKULOVA, L.P. METIK

Results of simultaneous photometric five-colour observations of Seyfert galaxies NGC1275 and NGC4151 obtained during years 1989–1991 with 1.25m telescope in the Crimean astrophysical observatory using the diaphragm 20" are reported. From the beginning of our observations in 1989 fluxes of NGC4151 galaxy (type Sy1.5) have been increased in all five filters showing light variations within dozens and hundred days. Brightening of the galaxy from February 1989 to June 1991 were in *UBVRI* filters accordingly: 1^m.36; 0^m.98; 0^m.53; 0^m.51; 0^m.44. Colour indexes approximately followed variations of the light curve and indicated the common tendency of the galaxy to become blue with brightening. All local maxima on light curves are connected with this tendency, too, but the local minimum observed during 80 days in 1989 showed that the blue region of the galaxy spectrum was reddened while the red region did just the opposite: it became blue simultaneously. Dependences between magnitudes in different filters as well as magnitudes – color indexes are well expressed, but observational data obtained during the season 1990–1991 showed colour anomalies in the galaxy behaviour. This fact also reflected two-colour diagrams of NGC4151: the tendency to become blue with brightening was decelerating.

The NGC1275 galaxy (type Sy2 or BL Lac) long photometric minimum have been continued since the end of 70th and only small brightness fluctuations are observed. Behaviour of its colour indexes seems to be the same. The galaxy brightness during the local minimum observed in January–March, 1991, which was lasted about 80 days showed the analogous behaviour as well as NGC4151 during its local minimum: the blue region of its spectrum was reddened meanwhile the red one became blue. Dependences between magnitudes and colour indexes for NGC1275 expressed worse because of small colour variations and big scatter of data exceeded observational errors. Complicated and unsynchronous changes of colour indexes of NGC 1275 variable nucleus both in ultraviolet and red spectral regions permit us to suppose that there are two variable sources in the nucleus.

By analysis of NGC1275 galaxy light curves within one night we discovered rapid flares of two types. Type I flares are characterized by maximum increasing or decreasing of flux in *U*-filter meanwhile minimum changes have taken place in filter *I* (i.e. the amplitude of event increased with the frequency similar to flicker-noise). During the flare of type II flux increasing in *I* – filter is accompanied by constant flux in *U*-filter (within limits of observational errors) or even by its decreasing at 3–4%. Maxima amplitudes of observed flares were 5–15%, their durations were 15–30 minutes.

Природа физических процессов, приводящих к высвобождению огромной энергии в ядрах сейфертовских галактик, далека от понимания. Прямые наблюдения структуры этих ядер в оптической области спектра невозможны из-за их малых размеров (тысячные доли секунды). Существует только один косвенный путь изучения физических и динамических условий внутри ядра – через изучение переменности континуума и интенсивностей эмиссионных линий, возникающих в околоядерных оболоч-

ках, в частности переменности на временных шкалах от минут до нескольких часов.

Существование микропеременности, т.е. вариаций малой амплитуды яркости за время от часов до минут, на разных частотах является сейчас хорошо установленным фактом по крайней мере для наиболее ярких активных ядер, таких, как лацертиды и квазары с сильно поляризованным излучением (блазары). Такая переменность в последнее время получила название фликкеринга за ее подобие фликкер-шуму, характеризующемуся увеличением амплитуды с частотой колебаний [1]. Хорошо установлен фликкеринг лацертиды OJ287 в радио, инфракрасном и оптическом диапазонах с характерным временем 13–40 мин [2]. Оптические наблюдения блазара OQ530 показали изменения на $0^m,06$ за 20 мин [3].

Наблюдалась также быстрая переменность сейфертовских галактик. Так, Лютый и др. [4] наблюдали в отдельные ночи переменность блеска NGC4151 в фильтре V с амплитудой до 10% за 15–20 мин. В другие ночи такая переменность отсутствовала. Хаотические изменения блеска в пределах примерно $0^m,06$ с характерным временем 10–15 мин были обнаружены в диафрагме 27" для ядра сейфертовской галактики NGC7469 [5]. Похожий результат для этой галактики приведен в [6]: в диафрагме 20" средняя амплитуда переменности составила $0^m,04$ за время 13 мин.

Однако не меньший интерес представляют одновременные наблюдения в разных спектральных диапазонах в связи с возникшими возможностями теоретических построений, базирующихся на определении времен запаздывания переменности в радиодиапазоне относительно оптических наблюдений, а соответственно, оптики по сравнению с рентгеновскими наблюдениями; запаздывание переменности потоков излучения в линиях относительно континуума и т.п. Применяемый при этом математический аппарат построения кросс-корреляционных функций позволяет определять времена запаздывания довольно уверенно [7, 8].

НАБЛЮДЕНИЯ

Систематические фотоэлектрические *UBVRI*-наблюдения ядер некоторых сейфертовских галактик ведутся нами с 1989 г. [9]. При этом используется финский модулирующий фотометр-поляриметр конструкции В. Пииролы [10], установленный на 1,25-м телескопе АЗТ-11 Крымской астрофизической обсерватории и позволяющий одновременно измерять характеристики оптического излучения в 5 спектральных полосах системы *UBVRI*. Фотометр является двухлучевым прибором: во время экспозиции ведется также оперативный учет фона неба. Расстояние между фоновой и объектной диафрагмами составляет 26", поэтому при наблюдениях галактик мы производим отдельно измерение фона на расстоянии 7'–8' от галактики, так как существует опасность попадания в фоновую диафрагму засветки от внешних частей галактики. Размер входной диафрагмы при наблюдениях был равен 20", временное разрешение – примерно 4 мин.

Наблюдения галактики NGC4151 за два сезона: с 11.02.1989 г. по 3.5.1989 и с 21.02.1990 г. по 22.05.1990 г. уже опубликованы в [9]. Всего за 17 ночей было получено по 184 оценки блеска в каждом фильтре. Новый массив наблюдений за 13 ночей (36,5 ч слежения) с 20.11.1990 г. по 6.06.1991 г. составляет 284 оценки блеска в каждом фильтре. Звезды сравнения для этой галактики приведены в [9].

Массив наблюдений галактики NGC1275 за 14 ночей (23,2 ч слежения) с 22–23.12.1989 г. по 5–6.11.1991 г. составил 196 оценок блеска в каждом фильтре (от 2 до 37 оценок за ночь). Была сделана привязка звезд сравнения для галактики

Т а б л и ц а 1

UBVRI-наблюдения галактики NGC4151 в диафрагме размером 20", усредненные за ночь

Дата	JD244+	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>U-B</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>	<i>V-I</i>
20-21.11.90	8216,6	6	11,985	-0,470	0,735	0,828	1,230
			0,016	0,002	0,002	0,005	0,004
11-12.12.90	8237,5	22	11,866	-0,548	0,672	0,793	1,180
			0,018	0,001	0,003	0,004	0,012
16-17.01.91	8273,5	35	11,818	-0,601	0,600	0,803	1,180
			0,005	0,001	0,004	0,004	0,005
17-18.01.91	8274,5	36	11,799	-0,569	0,634	0,802	1,183
			0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
11-12.02.91	8299,5	33	11,652	-0,664	0,498	0,760	1,113
			0,005	0,002	0,002	0,003	0,001
12-13.02.91	8300,4	15	11,636	-0,668	0,491	0,769	1,119
			0,006	0,002	0,002	0,002	0,002
8-9.03.91	8324,3	6	11,745	-0,608	0,569	0,794	1,193
			0,007	0,006	0,006	0,006	0,004
9-10.03.91	8325,4	30	11,710	-0,602	0,552	0,806	1,176
			0,002	0,002	0,003	0,002	0,001
10-11.03.91	8326,5	30	11,713	-0,598	0,554	0,811	1,177
			0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
11-12.03.91	8327,5	37	11,701	-0,603	0,555	0,803	1,174
			0,017	0,001	0,003	0,003	0,003
17-18.04.91	8364,4	16	11,815	-0,539	0,624	0,822	1,203
			0,005	0,002	0,002	0,003	0,004
10-11.05.91	8387,4	10	11,804	-0,569	0,590	0,809	1,180
			0,004	0,002	0,003	0,002	0,003
6-7.06.91	8414,3	8	11,718	-0,631	0,534	0,746	1,162
			0,006	0,004	0,006	0,025	0,008

NGC1275 к стандартным звездам системы *UBVRI* [11]. Из списка В.М. Лютого [12] были взяты звезды: C2 в качестве основной звезды сравнения и звезда C1 в качестве контрольной. Для звезды C2 получены следующие значения: $U = 13^m,04$; $B = 12^m,92$; $V = 12^m,35$; $R = 11^m,82$; $I = 11^m,46$.

Наблюдения проводились методом дифференциальной фотометрии. Каждый раз наблюдалась также и контрольная звезда по схеме: контрольная звезда—звезда сравнения—фон—галактика—фон—звезда сравнения—... . Время накопления сигнала на одном счетчике каждого ФЭУ составляло 10 с. Для каждого объекта в одном цикле наблюдений получалось по 8 измерений, из которых затем вычислялись средние значения и среднеквадратичные отклонения одного измерения. Обычно они не превышали ошибок, вычисленных по статистике квантов, и составляли, как правило, не более 1% для галактики и звезд сравнения. Отношение сигнал/шум для разных светофильтров, разных галактик и при разных фотометрических условиях составлял величину не менее 30 ($S/N \sim 35 + \dots$).

Усредненные за ночь оценки блеска, полученные одновременно в фильтрах *UBVRI* вместе со своими среднеквадратичными отклонениями от средних значений за одну ночь, приведены в табл. 1 и 2. В табл. 1 содержатся данные наблюдений галактики NGC4151 с 20.11.1990 г. по 6.06.1991 г., а в табл. 2 — данные наблюдений галактики NGC1275 за период с 22.12.1989 г. по 5.11.1991 г. В таблицах приведены соответственно даты и юлианские дни наблюдений (JD), *n* — число оценок в данную ночь, блеск в фильтре *V*, и цвета (*U-B*), (*B-V*), (*V-R*), (*R-I*). Все приведенные в табли-

Т а б л и ц а 2

UBVRI-наблюдения галактики NGC1275 в диафрагме размером 20", усредненные за ночь

Дата	JD244...	<i>n</i>	<i>V</i>	<i>U-B</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>	<i>V-I</i>
22-23.12.89	7883,4	6	13,234	0,053	0,749	0,779	1,326
			0,007	0,008	0,007	0,004	0,008
21-22.02.90	7944,3	8	13,299	0,074	0,760	0,769	1,336
			0,024	0,009	0,011	0,014	0,005
15-16.10.90	8180,5	15	13,218	0,069	0,747	0,795	1,336
			0,002	0,006	0,003	0,003	0,006
16-17.10.90	8181,5	6	13,274	0,058	0,740	0,768	1,320
			0,015	0,006	0,006	0,009	0,018
20-21.11.90	8216,5	32	13,261	0,073	0,738	0,763	1,324
			0,003	0,004	0,002	0,004	0,003
21-22.11.90	8217,4	10	13,267	0,045	0,745	0,753	1,298
			0,024	0,003	0,006	0,010	0,019
11-12.12.90	8237,5	12	13,243	0,046	0,743	0,765	1,281
			0,006	0,010	0,008	0,006	0,006
17-18.01.91	8274,3	16	13,295	0,051	0,759	0,805	1,365
			0,004	0,004	0,004	0,003	0,012
7-8.02.91	8295,3	24	13,326	0,077	0,771	0,797	1,337
			0,009	0,005	0,004	0,006	0,006
8-9.03.91	8324,2	2	13,338	0,034	0,750	0,819	1,382
			0,009	0,005	0,013	0,009	0,026
9-10.03.91	8325,3	4	13,267	0,066	0,759	0,784	1,304
			0,010	0,010	0,010	0,007	0,018
16-17.10.91	8546,4	12	13,182	0,057	0,744	0,791	1,302
			0,021	0,007	0,007	0,009	0,015
3-4.11.91	8564,4	12	13,245	0,062	0,742	0,776	1,304
			0,004	0,005	0,004	0,004	0,006
5-6.11.91	8566,5	37	13,250	0,050	0,750	0,792	1,335
			0,004	0,002	0,004	0,003	0,004

цах ошибки измерений, как блеска, так и цвета галактик, были получены одинаковым образом как среднеквадратичные отклонения от среднего за ночь значения.

НАБЛЮДЕНИЯ СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC4151 (ТИП Sy1,5)

Данные наблюдений галактики NGC4151, приведенные в табл. 1, обращают на себя внимание тем фактом, что среднеквадратичные отклонения от среднего за ночь значения потоков излучения по всех фильтрах существенно больше, чем аналогичные ошибки, вычисленные для показателей цвета. Это может свидетельствовать о переменности излучения галактики в течение ночи при постоянстве показателей цвета.

На рис. 1 можно видеть усредненные за ночь значения блеска и показателей цвета галактики NGC4151 в диафрагме 20". Для наглядного представления общего характера изменений блеска NGC4151 на рисунке приведены также и наблюдения, опубликованные нами ранее [9]. Из рассмотрения рисунков можно сделать следующие выводы.

Как и в предыдущем сезоне, блеск галактики продолжал возрастать, испытывая при этом заметные колебания. В среднем блеск галактики NGC4151 за весь представленный здесь период наблюдений (с 1989 по 1991 г.) вырос более чем на 1^m в фильтре *U* ($\Delta U = 1^m,36$) и примерно на $0^m,5$ в фильтре *I*.

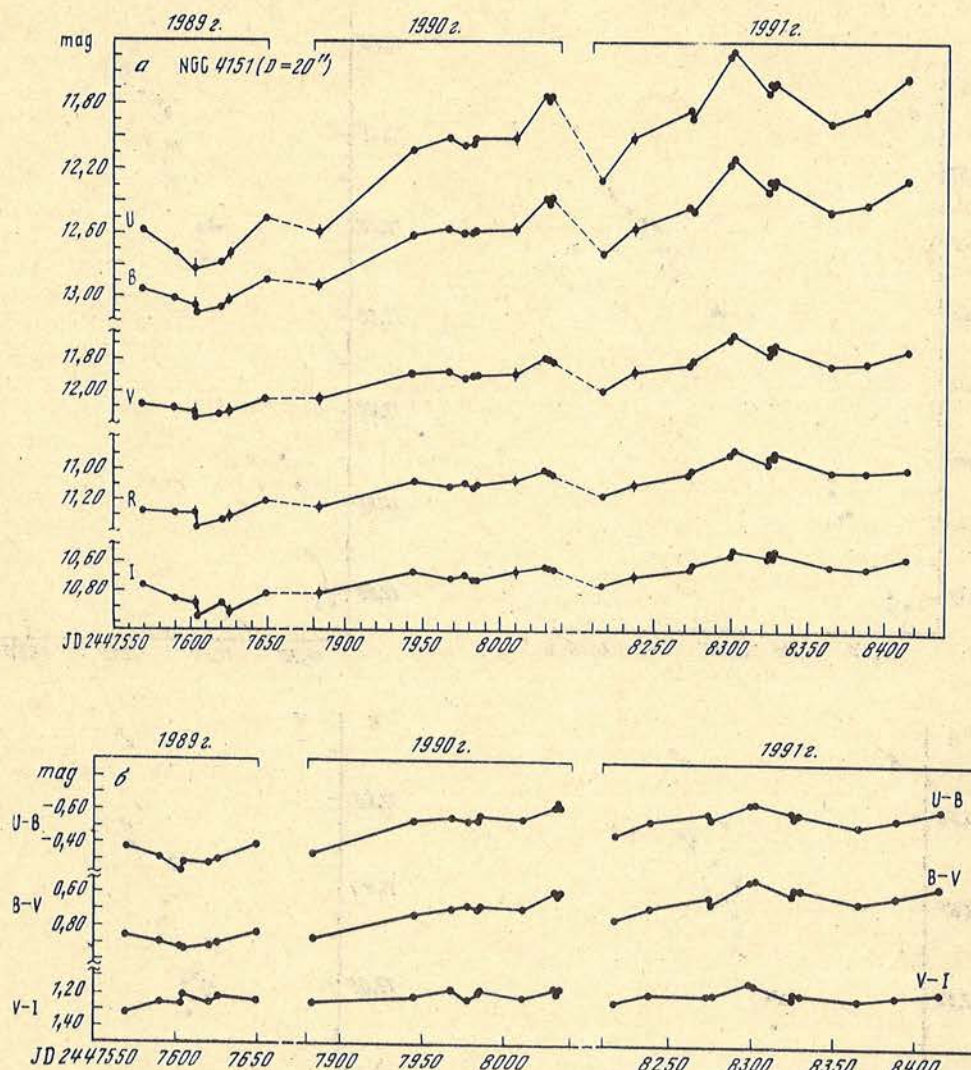


Рис. 1. Усредненные за ночь значения блеска (а) и показателей цвета (б) ядра галактики NGC4151, полученные в диафрагме размером $20''$ за период наблюдений в 1989–1991 гг.

Амплитуда изменений блеска за последний сезон наблюдений составила в фильтрах $UBVRI$ соответственно: $0^m,79$, $0^m,59$, $0^m,35$, $0^m,29$ и $0^m,24$. При этом галактика поглубела в синей области спектра в цветах ($U-B$) и ($B-V$) существенно заметнее, чем в красной: если цвет ($U-B$) изменился на $-0^m,44$, то ($V-I$) – на $-0^m,15$. Ход показателей цвета галактики отражает поведение ее блеска в это время. Тот факт, что сейфертовские галактики с повышением яркости голубеют, отмечался неоднократно (см. например, [13]).

Амплитуда колебаний блеска растет с уменьшением длины волны: в фильтре U она примерно в 3 раза больше, чем в фильтре I .

Теперь рассмотрим зависимости между потоками излучения и показателями цвета галактики в разных фильтрах.

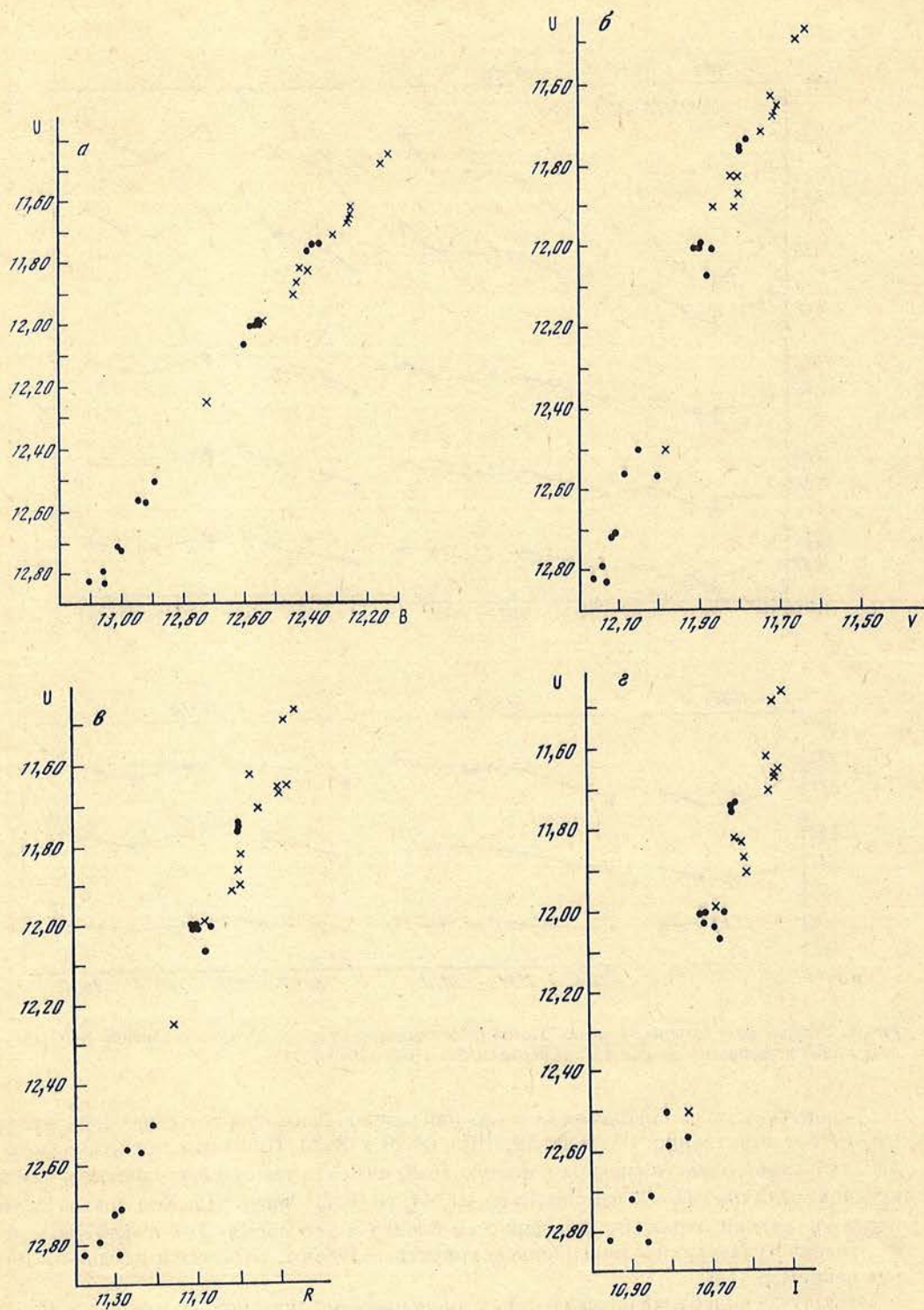


Рис. 2. Зависимости блеска ядра NGC4151 в фильтре U по отношению к блеску его в других четырех фильтрах B, V, R, I
Точки — наблюдения 1989–1990 гг., опубликованные в [9], крестики — новые наблюдения 1990–1991 гг.

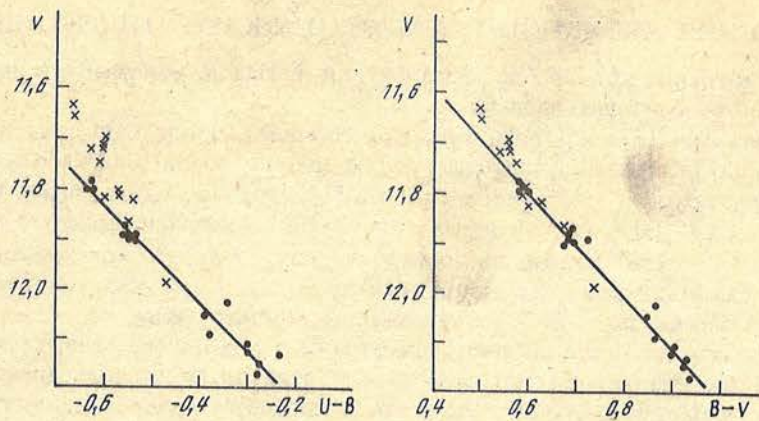


Рис. 3. Зависимости цвет-звездная величина для ядра NGC 4151, полученные по средним за ночь значениям. Обозначения соответствуют рис. 2

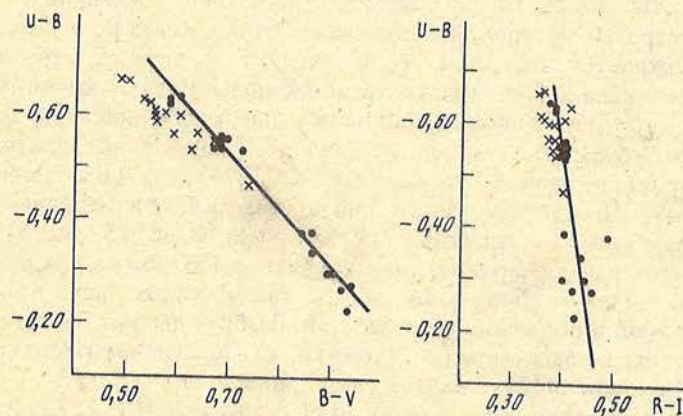


Рис. 4. Двухцветные диаграммы для ядра NGC 4151. Обозначения соответствуют рис. 2

Рис. 2 представляет зависимости блеска ядра галактики NGC4151 в фильтре U по отношению к блеску его в других четырех (B , V , R , I) фильтрах. На рисунках точками обозначены наблюдения, полученные в прошлые наблюдательные сезоны и опубликованные в [9], крестиками — данные наблюдений с 20.11.1990 г. по 6.06.1991 г. Наблюдения всех сезонов хорошо согласуются. Блеск галактики в разных спектральных диапазонах коррелирует между собой. Правда, разброс данных несколько увеличивается при переходе к спектральным областям с большей длиной волны.

Зависимости цвет-звездная величина хорошо выражены для галактики NGC4151 (рис. 3). Однако данные последнего сезона наблюдений значительно отклонились от прямой, проведенной по точкам, что может свидетельствовать о необычных цветовых изменениях при поярчании галактики в этот сезон.

Двухцветные диаграммы можно видеть на рис. 4. Новые данные внесли дополнительный разброс в соответствующие зависимости, который свидетельствует о цветовых изменениях. Галактика NGC4151 в последнем сезоне наблюдений в состоянии повышенного блеска изменила свой цвет ($U-B$) на более красный.

НАБЛЮДЕНИЯ АКТИВНОЙ ГАЛАКТИКИ NGC1275 (ТИП Sy2 ИЛИ BL Lac)

Из рассмотрения кривой блеска галактики и хода ее показателей цвета (рис. 5) можно сделать следующие выводы.

Галактика NGC1275, которая в настоящее время находится в длительном минимуме (с конца 70-х годов), испытывает небольшие колебания блеска. Такой характер поведения ее яркости уже отмечался нами [14]: анализ узкополосных наблюдений континуума на $\lambda 5200 \text{ \AA}$ и сравнение с данными В.М. Лютого в фильтре V ($\lambda 5500 \text{ \AA}$) за период с 1982 по 1987 г. позволил сделать вывод о том, что нет зависимости изменений яркости галактики от времени, имеются только отдельные колебания яркости. Ослабления блеска при этом более характерны, чем поярчания.

Ход показателей цвета со временем отражает ход блеска галактики. Амплитуда колебаний цвета больше в красной области спектра. Поведение галактики в цвете ($V-I$) иногда может отличаться от того, что наблюдается в синей области спектра.

Рис. 6 иллюстрирует зависимости между блеском галактики NGC1275 в разных длинах волн. Корреляция хорошо выражена лишь для зависимостей (U, B) и (U, V). Разброс данных на рис. 6, в и 6, г позволяет предполагать, что ряд наблюдений показывает обратную зависимость между потоками излучения в ультрафиолетовой и красной областях спектра. Возможно, бывают такие случаи, когда рост блеска в ультрафиолете сопровождается падением его в красной области спектра и наоборот. При обсуждении массива данных (результаты наблюдений за 14 ночей) можно заподозрить, что более трети всех наблюдений не укладывается в линейную зависимость.

Зависимости цвет-звездная величина, хорошо выраженные для галактики NGC4151 (рис. 3), совершенно невыразительны в случае NGC1275 (рис. 7) вследствие большого разброса данных и малых цветовых изменений по сравнению с изменениями блеска.

Двухцветная диаграмма, построенная для галактики NGC1275 (рис. 8), отличается большим разбросом точек. С одинаковой вероятностью можно предположить как отсутствие какой бы то ни было зависимости, так и наличие двух взаимно противоположных — прямой и обратной зависимостей. Разброс данных превышает ошибки наблюдений. (Чтобы не загромождать рисунки, мы показываем только масштаб в $0^m,01$, а соответствующие ошибки наблюдений приводятся в табл. 2.)

Существенный разброс данных наблюдений галактики NGC1275 на двухцветных диаграммах и на диаграммах блеск-цвет побудил нас искать причину отличия от аналогичных зависимостей у галактики NGC4151. Подробный анализ кривых блеска галактики NGC1275 в течение ночи привел нас к обнаружению кратковременных вспышек и антивспышек двух типов.

БЫСТРЫЕ ВСПЫШКИ БЛЕСКА ЯДРА NGC1275

Переменность блеска ядер сейфертовских галактик характеризуется наличием на их кривых блеска как долговременных подъемов и ослаблений блеска, так и более кратковременных изменений в виде вспышек и антивспышек. В работе В.М. Лютого [15] приведены характеристики таких вспышек для галактик NGC4151 и NGC1275 со средней продолжительностью соответственно 25–60 и 20–40 дней и амплитудой $0^m,5-1^m,0$ и $0^m,2-0^m,5$. Отмечается, что природа как медленного компонента, так и описанных вспышек различной амплитуды одинакова: с увеличением блеска показатели цвета уменьшаются (объект голубеет). В статье Лютого и Рахимова [16] описаны обнаруженные авторами быстрые вспышки в ядрах галактик NGC4151 и ЗС 390.3, которые происходили в течение ночи ($\Delta t \leq 1^d$). Авторы отмечают, что время нарастания яркости в одном цвете составляло примерно 1 ч (наблюдения проводились в фильтрах $UBVR$, но, к сожалению, не одновременно), время падения — несколько больше, моменты максимумов резко разнесены по времени и наступают последовательно от голубой части к красной. В случае галактики ЗС 390.3 наблю-

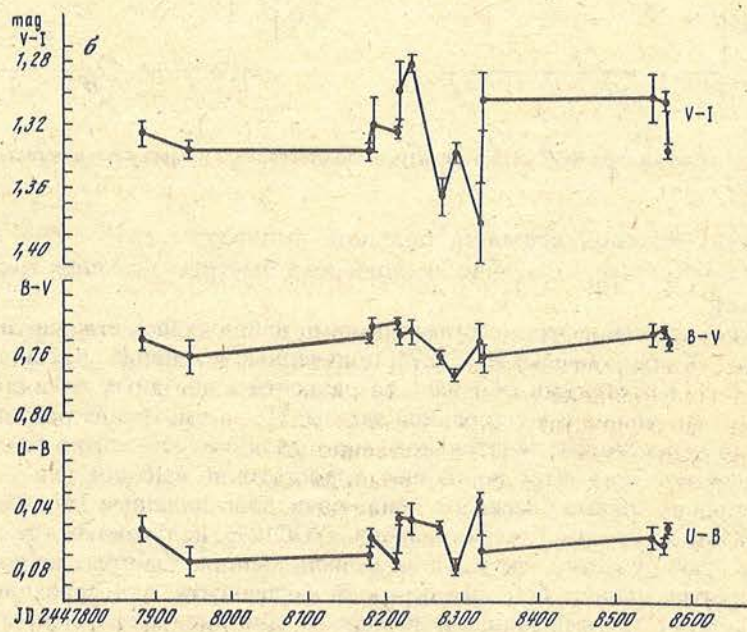
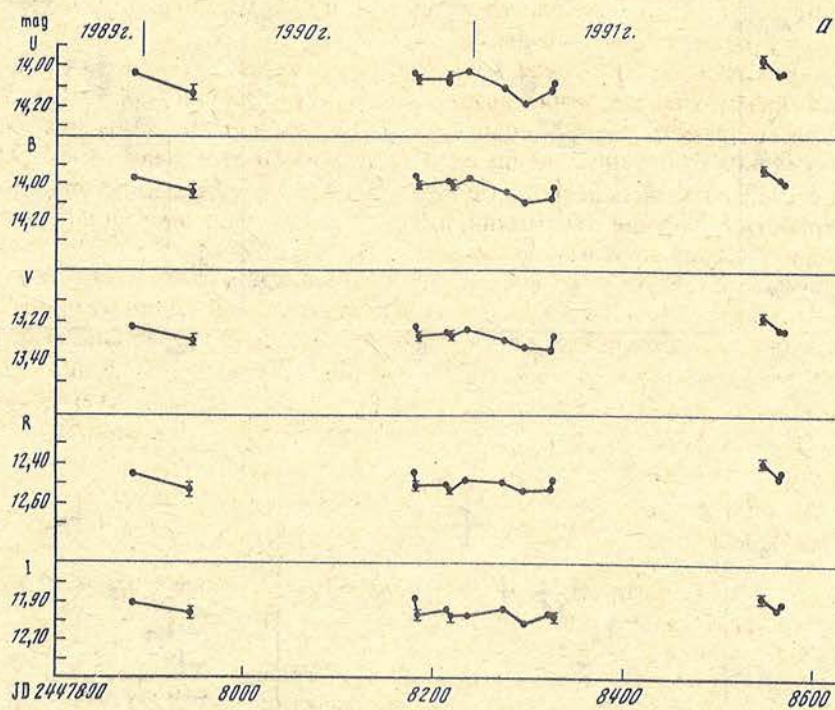


Рис. 5. Усредненные за ночь значения блеска и показателей цвета ядра галактики NGC 1275, полученные в 1989–1991 гг., $D = 20''$

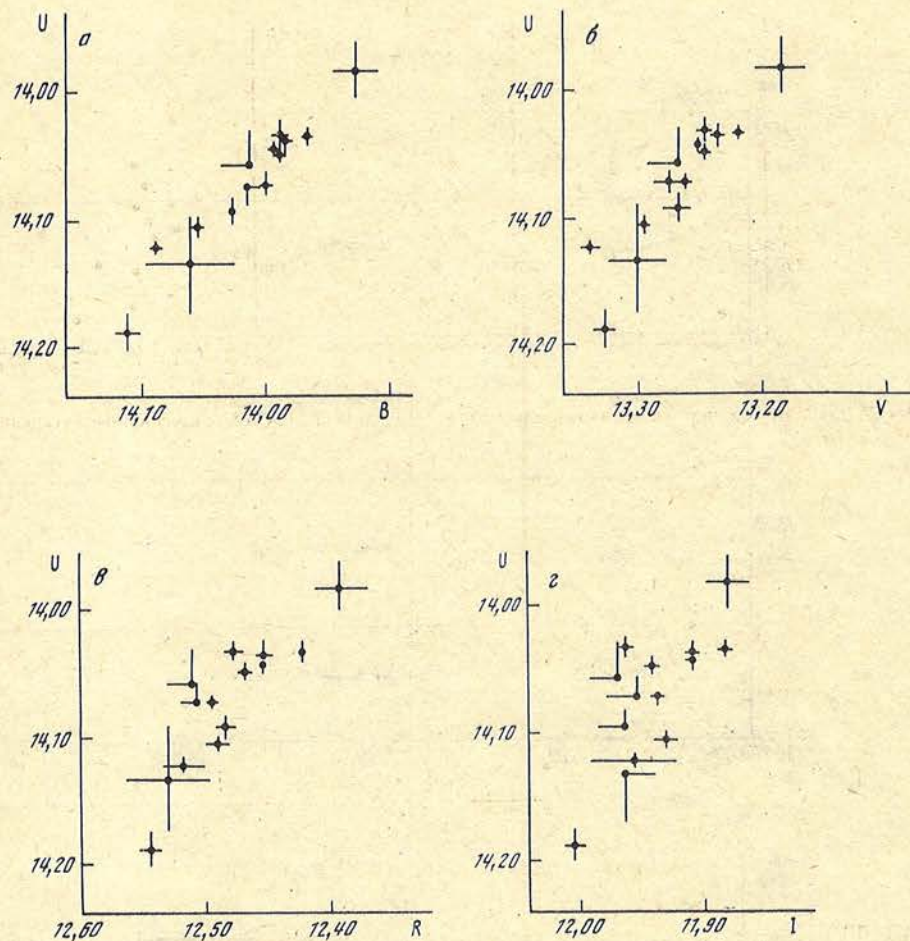


Рис. 6. Зависимости блеска ядра NGC 1275 в фильтре U по отношению к блеску его в остальных четырех фильтрах B, V, R, I

далось угасание красной вспышки большой амплитуды ($\Delta U = 0^m,4$, $\Delta B \approx 1^m,1$, $\Delta V \approx 0^m,9$, $\Delta R \approx 0^m,4$) [16]. Описание аналогичных быстрых вспышек можно найти также в [17, 18].

Как упоминалось выше, кроме галактик нами наблюдались стандартная и контрольная звезды. Кривые блеска NGC1275, полученные в течение двух ночей, можно видеть на рис. 9. Крестиками обозначены разности в звездных величинах между блеском звезды сравнения и контрольной звезды. Из рассмотрения рисунков можно заключить, что качество наблюдательного материала, получаемого в течение одной ночи и оцениваемое по контрольной звезде, достаточно высокое для того, чтобы искать изменения на кривых блеска в течение ночи, превышающее $3\sigma \approx 3\%$.

Таким образом, на кривых блеска галактики NGC1275, полученных в течение ночи, нами были выбраны участки, где мы подозревали наличие быстрых изменений типа вспышки или антивспышки. С целью большей наглядности, линеаризации шкалы и удобства сравнения с другими данными мы пересчитали звездные величины в единицы плотности потока ($\text{ImJy} = 10^{-26} \text{ эрг}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{Гц})$) в соответствии с калибровкой из

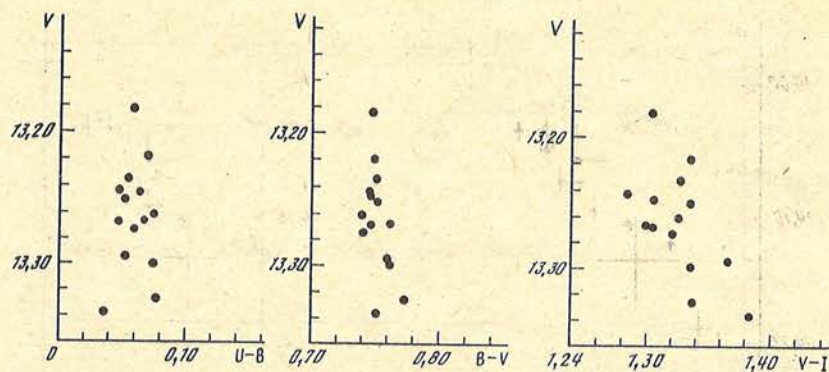


Рис. 7. Зависимости цвет-звездная величина для ядра галактики NGC 1275, полученные по средним за ночь значениям

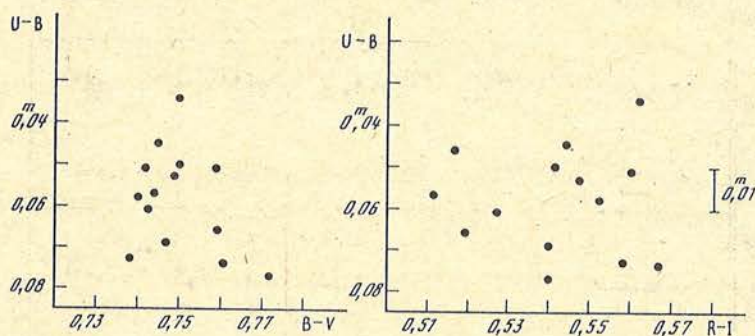


Рис. 8. Двухцветные диаграммы для ядра NGC 1275

[19, 20]. При этом нами была учтена разница между эффективными длинами волн стандартной и используемой *UBVRI* систем. К сожалению, наши наблюдения, наряду с преимуществом одновременности измерений в 5 фильтрах, имеют недостаток — скважность наблюдений в течение ночи, вызванную необходимостью наведения на фон и на звезды сравнения. Поэтому часто бывает весьма затруднительно судить о том, в какой фазе вспышки или антивспышки наблюдалась галактика и какова их продолжительность.

На кривых блеска NGC1275 все кратковременные события длительностью 15–30 мин, к которым мы относим как подъемы блеска (вспышки) примерно на $0^m,1$, так и аналогичные падения блеска (антивспышки), можно подразделить на два типа. Тип I — амплитуда события в фильтре *U* максимальна, а в фильтре *I* — минимальна, тип II — амплитуда события в фильтре *I* максимальна, а в фильтре *U* — минимальна. В общем случае мы можем сказать, что имеем дело с голубыми и красными вспышками.

На рис. 10 представлены три события I и II типов. По горизонтальной оси отмечены моменты времени каждого отдельного наблюдения, представляющего собой среднее значение, полученное из 8 оценок. Как правило, каждое последующее измерение делалось через 4 мин. По вертикальной оси отложены значения $\Delta \lg F_v$ — разности между логарифмами потоков излучения, выраженными в миллианских: $\Delta \lg F_v(t) - \Delta \lg F_v(t_0)$, для момента времени t и момента времени t_0 , принимаемого за момент начала события. На рис. 10, а можно видеть вспышку, обнаруженную нами на

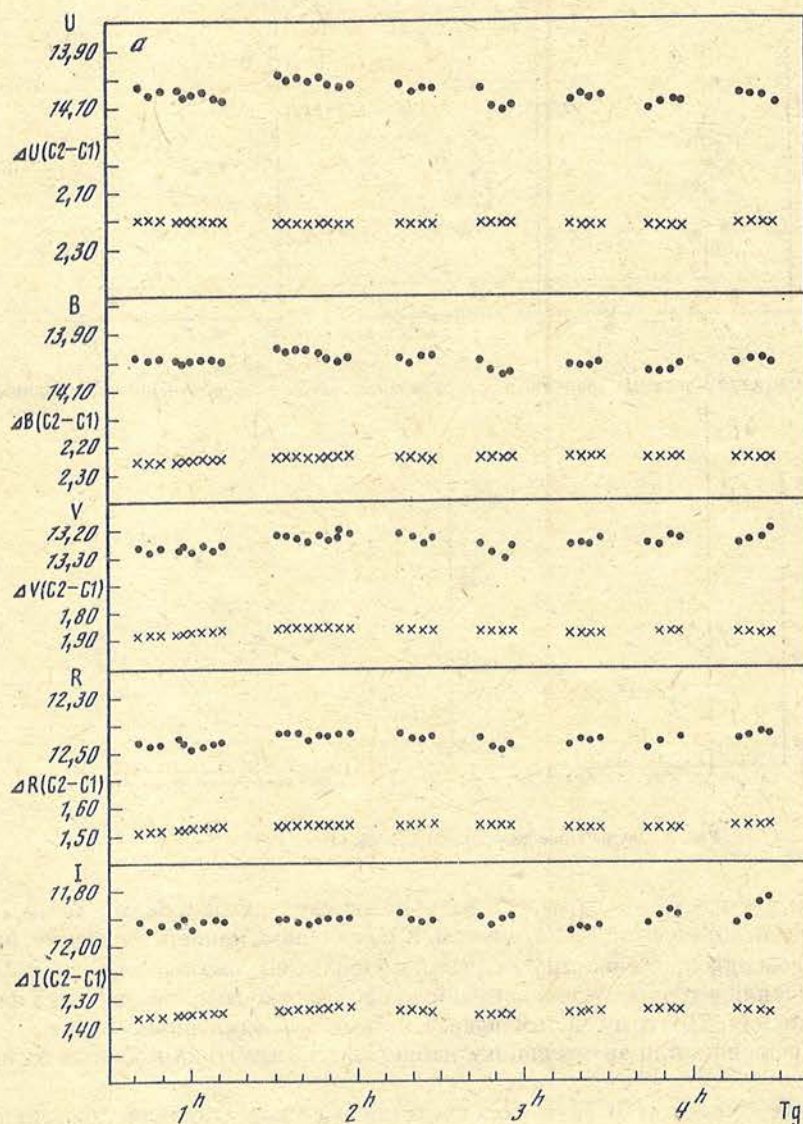


Рис. 9. Кривые блеска ядра галактики NGC 1275 для двух отдельных ночей
 а – 5–6.11.1991 г.; б – 20–21.11.1991 г. $D = 20''$. T_d – декретное время данной точки наблюдений.
 Крестиками на рисунках показаны разности между блеском контрольной и стандартной звезд

кривой блеска галактики 21–22.11.1990 г. при зенитном расстоянии галактики $Z = 5^\circ - 10^\circ$. Длительность события – примерно полчаса. Амплитуда в фильтре U составляет 30% от плотности потока излучения в момент начала вспышки, а в фильтре I – в 2 раза меньше. Изменения потока излучения в остальных фильтрах отслеживают последовательно изменения в фильтре U и занимают промежуточное положение между максимальными и минимальными изменениями.

Рис. 10, б представляет одну из "отрицательных" вспышек I типа, когда в фильтре U плотность потока упала на 24%, а в фильтре I – на 11%. При этом плотность потока в фильтре V осталась практически постоянной в пределах ошибки наблюдений.

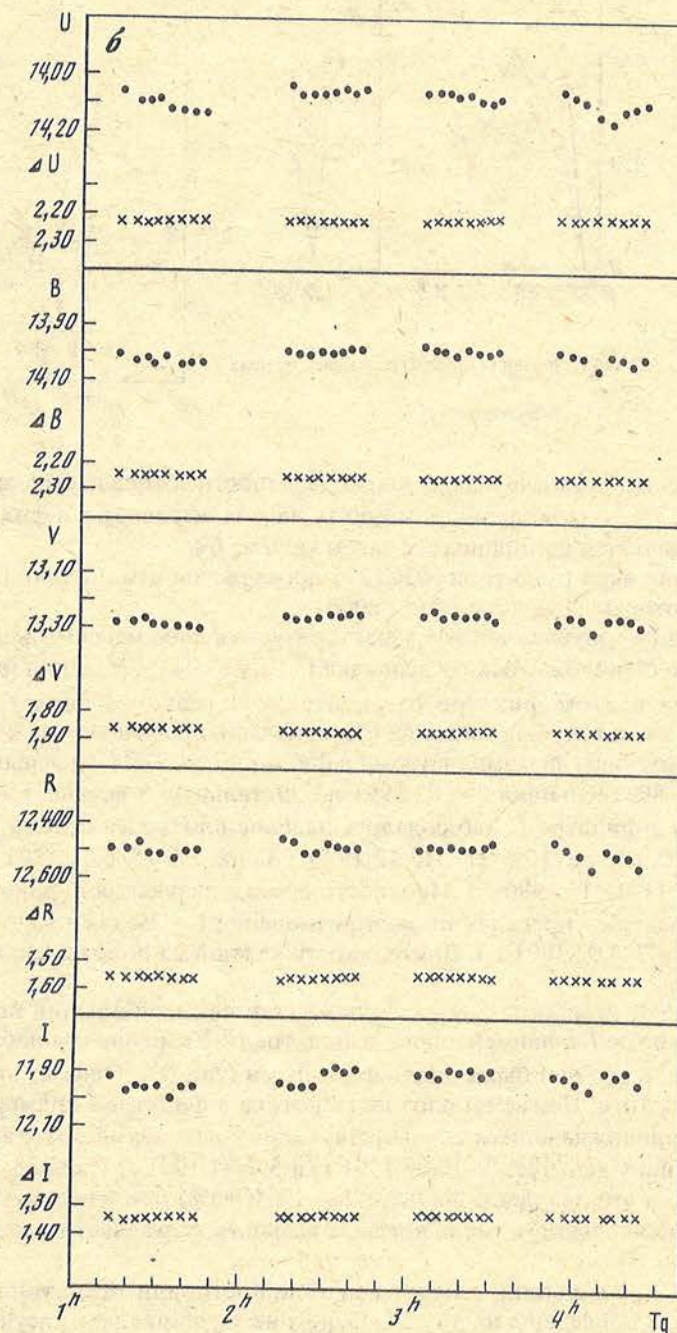


Рис. 9, б

Эта вспышка наблюдалась 7–8.02.1991 г. при зенитном расстоянии галактики $Z = 35^\circ$ и продолжалась примерно 15 мин.

На рис. 10, в представлена вспышка типа II, зарегистрированная нами 17–18.01.1991 г. при зенитном расстоянии галактики во время наблюдений $Z = 30^\circ$ – 35° . Мы считаем, что эту вспышку длительностью примерно 30 мин нам уда-



Рис. 10. Примеры быстрых вспышек разных типов

Пояснения в тексте

лось записать полностью от начала до конца. Плотность потока излучения в фильтре I увеличилась на 13% по отношению к моменту начала вспышки, а в фильтре U поток оставался сначала почти постоянным, а затем упал на 6%.

Не все вспышки ядра галактики NGC1275 прослежены нами полностью от начала до конца, но некоторые выводы можно сделать.

Вспышки типа I – голубые, так как характеризуются либо максимальным подъемом блеска в фильтре U (положительная вспышка I^+), либо соответственно максимальным падением блеска в этом фильтре (отрицательная вспышка типа I^-). Из 7 зарегистрированных нами голубых вспышек с амплитудой, превышающей 5%, только две являются положительными с амплитудами в фильтре U : +30% (эта вспышка показана на рис. 10, а) и +8% (вспышка 7–8.02.1991 г.). Остальные 5 вспышек были отрицательными, когда в фильтре U наблюдалось падение плотности потока излучения на 24% (см. рис. 10, б), на 10% (11–12.12.1990 г.), на 7% (5–6.11.1991 г.) и на 5% (3–4.11.1991 г. и 11–12.12.1990 г.). Плотность потока излучения в фильтре I обычно оставалась постоянной в пределах точности измерений 1–1,5% (за исключением самой сильной вспышки 7–8.02.1991 г.). Длительность каждой из положительных вспышек примерно полчаса.

Вспышки типа II можно назвать красными, так как наибольший подъем блеска происходит в фильтре I , а наименьший – в фильтре U . Уверенно мы наблюдали всего 5 таких вспышек, и все они были положительными (тип II^+). Одна из них, например, приведена на рис. 10, в. Подъемы плотности потока в фильтре I примерно за 15 мин на 11% и 9%, сопровождавшиеся соответствующими падениями потока в фильтре U на 4–3%, отмечены у вспышек 9–10.03.1991 г. и 5–6.11.1991 г. Наблюдались также 2 вспышки меньшей амплитуды в фильтре I (+7% и +5%) при изменениях в фильтре U $= \pm 2\%$. Продолжительность таких красных вспышек составляет по нашим оценкам примерно 30 мин.

Мы взяли по 2–3 вспышки каждого типа и построили схематично составные вспышки, которые приведены на рис. 11. Чтобы не загромождать рисунок, на схемах изображено поведение плотностей потоков излучения только в крайних фильтрах, наиболее характерных для каждого типа вспышки, т.е. в фильтрах U и I .

Внимательное рассмотрение кривых блеска галактики NGC1275 в течение ночи позволяет предположить, что фотометрическое поведение галактики может быть обусловлено суперпозицией таких красных и голубых микровспышек, не зависящих друг от друга. Это может свидетельствовать о наличии двух или нескольких разных независимых источников вспышек.

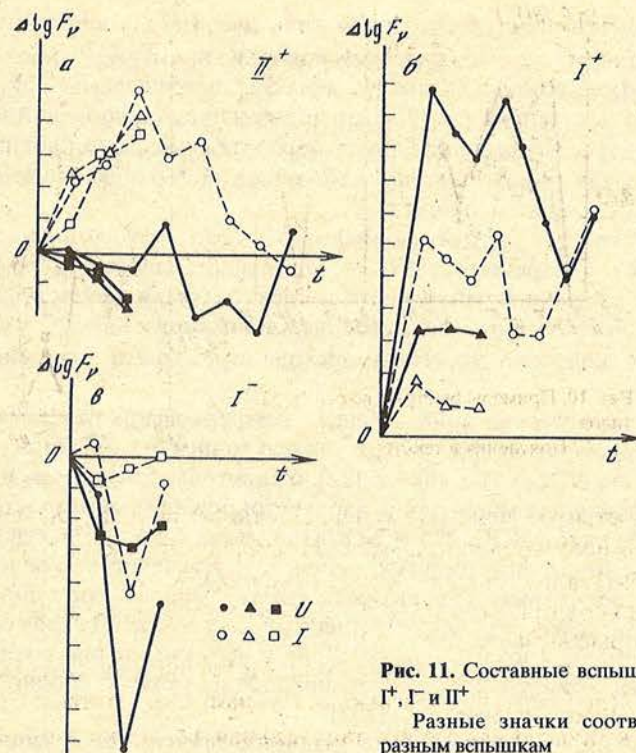


Рис. 11. Составные вспышки типов Γ^+ , Γ^- и Π^+
Разные значки соответствуют разным вспышкам

Подъем блеска в фильтре I обычно сопровождается падением интенсивности в фильтре U , что, вероятно, является причиной размывания картин зависимостей между блеском галактики NGC1275 в разных фильтрах (см. рис. 6).

Вопрос о том, обусловлен ли фликкеринг сейфертовских галактик описанными выше быстрыми вспышками, требует дальнейших наблюдений в режиме мониторинга.

В заключение напомним, что в [21] И.И. Проник и Н.И. Меркулова получили характерное время переменности эквивалентных ширин эмиссионных водородных линий в спектре ядра галактики NGC1275, равное примерно 0,5 ч, что совпадает с характерными временами приведенных здесь положительных голубых и красных вспышек.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

1. Результаты наблюдений центральной области сейфертовской галактики NGC4151 (размером $20''$) с 1989 по 1991 г. показывают постепенное возрастание яркости ее ядра, максимальное в фильтре U и минимальное в фильтре I . При этом на кривых блеска можно видеть плавные изменения за десятки и сотни дней. Ход показателей цвета отражает ход кривых блеска, указывая на тенденцию галактики к поглубению с поярчением (все показатели цвета плавно уменьшаются).

2. Все локальные максимумы кривой блеска NGC4151 также связаны с поглубением, в то время как локальный минимум 1989 г. характеризовался покраснением синей области спектра (возросли показатели цвета $(U-B)$ и $(B-V)$) и одновремен-

ным поглублением красной части. Показатель цвета ($V-I$) при этом уменьшился! Этот локальный минимум наблюдался нами в течение примерно 80 дней.

3. NGC1275 – сейфертовская галактика типа Sy2, причисляемая некоторыми авторами к лацертидам (см., например, [22]), во время наших наблюдений в 1989–1991 гг. продолжала находиться в состоянии длительного минимума, который начался в конце 70-х годов, испытывая при этом лишь небольшие колебания блеска. То же самое можно сказать и о ходе показателей цвета.

4. Отметим также локальный минимум NGC1275, который наблюдался нами примерно 80 дней в январе–марте 1991 г. Заметное ослабление блеска галактики сопровождалось покраснением синей части ее спектра (увеличением показателей цвета ($U-B$) и ($B-V$)) и одновременным поглублением в красной области. Такое поведение галактики очень напоминает то, что происходило во время локального минимума NGC4151.

5. Локальные минимумы на кривых блеска сейфертовских галактик чрезвычайно интересны. Именно во время фотометрического минимума наблюдалось изменение сейфертовского типа NGC4151 в 1984 г. [23]. Удивительное сходство цветовых изменений во время локальных минимумов, зарегистрированное нами у столь разных по классификации объектов NGC1275 и NGC4151, может свидетельствовать в пользу гипотезы, выдвигаемой Миллером и Антонуччи [24]. Изучение поляризации излучения в спектрах ядер сейфертовских галактик привело к модели, согласно которой ядра типа Sy1 скрыты затмевающей материей внутри классической галактики типа Sy2 в виде тора, ориентированного перпендикулярно к углу симметрии радиоизображения галактики. Поэтому ионизирующие оптические фотоны могут свободно покидать ядро только вдоль направлений радиоджетов [25].

6. Сделаем несколько замечаний, касающихся зависимостей типа блеск–блеск, блеск–цвет и цвет–цвет для обеих галактик. Все подобные зависимости достаточно хорошо изучены, особенно в системе UBV , и в общем наша работа подтверждает сделанные ранее выводы. Мы можем добавить, что галактика NGC4151 замедлила свой темп поглубления с поярчением, так как все наблюдения последнего сезона отклонились от прямых, проведенных по данным предыдущих сезонов, хотя тенденция к поярчанию сохранилась.

Размытие, или даже отсутствие, для галактики NGC1275 в эпоху ее длительного фотометрического минимума зависимостей, хорошо выраженных в случае галактики NGC4151, побудило нас поискать причину таких различий.

7. Подробное изучение кривых блеска галактики NGC1275 в течение отдельных ночей привело нас к обнаружению быстрых вспышек двух типов. Обнаруженные нами положительные и отрицательные вспышки I типа, когда наблюдаются максимальный подъем или падение блеска в фильтре U и минимальные изменения в фильтре I , очевидно, подобны фликкерингу, описанному для других активных объектов [4–6]. Вспышки II типа с максимальным подъемом блеска в фильтре I при постоянстве (в пределах ошибок наблюдений) или падении блеска в фильтре U совершенно не похожи на фликкер-шум. Нет сходства между ними и описанными в литературе "красными" вспышками [16] в первую очередь из-за совершенно других характерных времен. Вероятно, такие вспышки описаны нами впервые.

8. Мы предполагаем, что кривая блеска галактики NGC1275 в течение ночи представляет собой суперпозицию разных микровспышек. Причины их нам пока неизвестны, как неизвестны число и природа источников, их порождающих. Длительность зарегистрированных нами вспышек составляет 15–30 мин. В случае если эти вспышки порождены локальными источниками, то их характерные размеры должны быть менее 0,5 светового часа, или 10^{13} см. Вопросы, связанные с физическими причинами быстрой переменности сейфертовских галактик – фликкеринга, – обсуждаются, например, в [6].

9. Сложные и несинхронные изменения показателей цвета переменного ядра

галактики NGC1275 в ультрафиолетовой и красной областях спектра позволяют предположить, что в ядре есть по меньшей мере два переменных источника излучения.

В заключение авторы выражают свою благодарность И.И. Проник за полезные советы и замечания, Е.А. Лиморенко, В.Т. Жоголевой и Л.И. Филатовой за помощь в подготовке рисунков.

Декабрь. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теребиж В.Ю., Теребиж А.В., Бирюков В.В. // *Астрофизика*. 1989. Т. 31. С. 75.
2. Kinzel W.M., Dickman R.L., Predmore C.R. // *Nature*. 1988. Vol. 331. P. 48.
3. Carini M.T., Miller H.R., Goodrich B.D. // *Astron. J.* 1990. Vol. 100. P. 374.
4. Лютый В.М., Асланов А.А., Волков И.М. и др. // *Письма в "Астрон. журн."* 1989. Т. 15. С. 579.
5. Асланов А.А., Колосов Д.Е., Литунова Н.А., Лютый В.М. // *Письма в "Астрон. журн."* 1989. Т. 15. С. 1089.
6. Dultzin-Hacyan D., Schuster W.J., Parrao L. et al. // *Astron. J.* 1992. Vol. 100. P. 1769.
7. Peterson B.M., Cota S.A. // *Astrophys. J.* 1989. Vol. 330. P. 111.
8. Clavel J., Rechert G.A., Alloin D.F. et al. // *Astrophys. J.* 1991. Vol. 366. P. 64.
9. Меркулова Н.И., Метик Л.П. // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории*. 1993. Т. 87. С. 135–144.
10. Pirola V. // *Astron. Astrophys.* 1973. Vol. 27. P. 383.
11. Neckel Th., Chini K. // *Astron. Astrophys.* 1980. Vol. 39. P. 411.
12. Лютый В.М. // *Письма в "Астрон. журн."* 1980. Т. 6. С. 223.
13. Лютый В.М. // *Активные ядра и звездная космогония*. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 89.
14. Меркулова Н.И., Метик Л.П., Проник И.И. // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории*. 1993. Т. 88. С. 36–41.
15. Лютый В.М. // *Астрон. журн.* 1977. Т. 54. С. 1153.
16. Лютый В.М., Рахимов В.Ю. // *Письма в "Астрон. журн."* 1989. Т. 15. С. 205.
17. Лютый В.М. // *Астрон. журн.* 1979. Т. 56. С. 918.
18. Рахимов В.Ю. // *Бюл. Ин-та астрофизики АН ТаджССР*. 1989. № 78. С. 50.
19. O'Dell S.L., Puschell J.J., Stein W.A., Warner J.W. // *Astrophys. J. Letters*. 1977. Vol. 214. P. L105.
20. O'Dell S.L., Puschell J.J., Stein W.A., Warner J.W. // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1978. Vol. 38. P. 267.
21. Меркулова Н.И., Проник И.И. // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории*. 1985. Т. 71. С. 160.
22. Veron P. // *Nature*. 1978. Vol. 272. P. 430.
23. Penston M.V., Perez E. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1984. Vol. 211. P. 581.
24. Antonucci R.R.J., Miller J.S. // *Astrophys. J.* 1985. Vol. 297. P. 621.
25. Kinney A.L., Antonucci R.R.J., Ward M.J. et al. // *Space Telescope Science Inst. (prepr. ser.; N 530)*. Baltimore, 1991.

УДК 523

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА АЕ-ИНДЕКСА В ДИАПАЗОНЕ 4–24 ЧАСА

В.П. Бобова

В дополнение к ранее опубликованным работам [1–6] изучен недостающий участок спектра колебаний геомагнитного АЕ-индекса в диапазоне 4–24 ч, соединяющий полный спектр от 10 мин до 3 лет. Приведена таблица наиболее устойчивых колебаний в этом диапазоне, показаны общие свойства частотного спектра АЕ-индекса и наиболее характерные свойства изученных периодов.

Большая часть колебаний представлена мультиплетами с разным числом и интенсивностью компонент; структуры мультиплетов зависят от уровня солнечной активности, сезона года. Околосуточный период является чертой, разделяющей спектр на разные части, — почти шумовую, с отдельными, квазигармоническими периодами, и длиннопериодные колебания с четкими структурами и большим отношением сигнал/шум. Многие периоды расположены на эквидистантном расстоянии с шагом, кратным средней частоте вращения поверхностных слоев Солнца $\approx 0,43$ мкГц.

© В.П. Бобова, 1995

PECULIARITIES OF THE AE-INDEX SPECTRUM IN RANGE 4-24 HOUR, by V.P. Bobova. In addition to earlier publications [1-6] the missing part of the spectrum of geomagnetic AE-index oscillations in the range 4-24 hour, filling in the total spectrum from 10 min to 3 years has been studied. The table with the most stable oscillations in this range is given. General features of frequency spectra of AE-index and typical properties of most the investigated lines are shown.

The major part of oscillations is represented by the multiplets with different numbers and intensities of components. The structures of multiplets depend on the solar activity level and the season of the year. Daily periods the spectrum into different parts: nearly noisy with separate quasi harmonic periods and long periods oscillations with clear structures and high signal/noise ratio. Many periods are disposed at the equidistance intervals, with the step divisible to average frequency rotation of surface of the Sun layer $\approx 0.43 \mu\text{Hz}$.

Введение

В работах [1-4] исследован спектр наиболее устойчивых колебаний геомагнитного AE-индекса в диапазоне периодов 10-300 мин, в работах [5, 6] - в диапазоне от 1 сут до 3 лет. Необходимость спектрального исследования временных рядов была доказана и объяснена. Показано, что 85% выделенных колебаний в AE-индексе находят отражение в солнечных и сейсмических спектрах. Предлагаются возможные причины совпадений периодов. В геомагнитных индексах обнаружены почти все теоретически предсказанные моды солнечных колебаний - звуковые (*P*-моды), гравитационные (*g*-моды) и инерционные колебания (*r*-моды). Практически ни по каким данным не был изучен диапазон периодов 4-25 ч; восполнению этого пробела посвящена данная работа. Поэтому она является промежуточной между циклом начальных исследований и конечным обзором всего спектра.

1. ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

Анализировался непрерывный массив AE-индекса за 1966-1974 гг. (2,5 мин) и 1978-1984 гг. (1 мин), полученный в записи на МЛ из МЦД А (США). Данные усреднялись в зависимости от исследуемого диапазона частот по 20 мин - 4 ч. Обработывались как исходные данные, так и редуцированные с фильтрацией низкочастотной компоненты. Такой ряд представлен в виде отклонений от средних за месяц, нормированных на дисперсию данных за тот же месяц. Спектры редуцированного ряда имели большее отношение сигнал/шум.

Амплитудно-частотные спектры строились методом наложенных эпох с фурье-преобразованием, описанным ранее [1, 2]. Для выделения устойчивых колебаний на всем временном интервале получали большое количество спектров по отдельным отрезкам времени для последующего их сравнения. Было получено несколько сотен независимых спектров для рядов разной длительности - от месяца до нескольких лет - и суммарные за все 19 лет измерений. Шаг по частоте также изменялся в зависимости от длины анализируемого ряда и количества исследуемых частот.

Пример таких спектров приведен на рис. 1 для диапазона 760-1200 мин (шаг по частоте $8 \cdot 10^{-3}$ мкГц) по независимым трехлетним интервалам, соответствующим максимуму и спаду 20-го цикла солнечной активности.

Из каждого отдельного спектра выделялись пики, спектральные плотности которых превышали уровень шума на $\geq 3\sigma$. Это обычно $< 1\%$ всех исследуемых частот. Значения периодов, полученных по отдельным спектрам, фиксировались в промежуточных таблицах независимо для рядов сходной длительности. Как видно из рис. 1, многие периоды повторяются на разных спектрах или их величины несколько смещаются, например, 0147, 0152, 1175, 1180 мин. Таблицы далее переводились в графики частоты встречаемости исследуемых колебаний. Значения всех выделенных периодов заносились в машину, и вычислялись среднее значение периода для интервала $\Delta P = 4$ мин и число пиков, попавших в этот интервал. На рис. 2 приведен пример такого графика

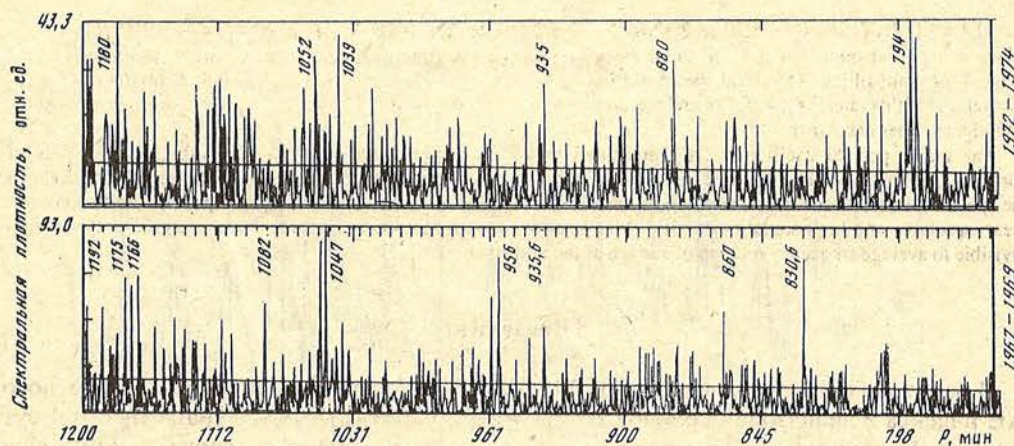


Рис. 1. Примеры независимых спектров редуцированного ряда АЕ-индекса для максимума и спада солнечной активности 20-го цикла

Цифрами указаны значения выделенных периодов (в минутах)

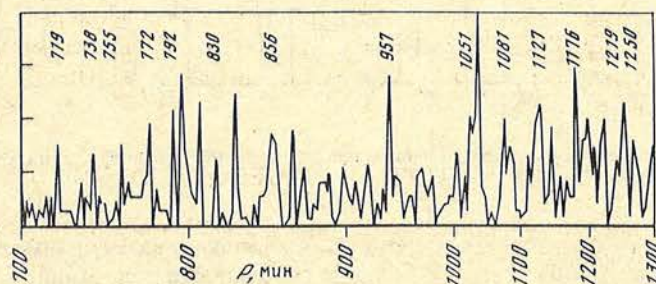


Рис. 2. Частота встречаемости периодов (цифры на спектре) на 120 независимых спектрах

По вертикальной оси – количество фиксированных периодов, по горизонтальной – значение периода (в минутах)

($\Delta P = 700 \div 1300$ мин) по 120 отдельным спектрам для рядов от 6 месяцев до 1 года. Число спектров в разных частотных диапазонах изменялось до 20%, из них было выделено независимо 1060 пиков. Исследование всех промежуточных таблиц и графиков частоты встречаемости периодов позволило составить таблицу наиболее часто встречаемых колебаний в АЕ-индексе за 19 лет измерений в диапазоне 200–1440 мин (см. таблицу). При необходимости более подробного анализа отдельного колебания исследовалась его "тонкая структура" по отдельным небольшим отрезкам времени; методом косинор-анализа (см. [2, 3]) определялись его амплитудно-фазовые характеристики в заданный интервал времени; строился профиль колебания также за разные временные интервалы.

2. НАИБОЛЕЕ УСТОЙЧИВЫЕ ПЕРИОДЫ В СПЕКТРЕ АЕ-ИНДЕКСА 200^м–1440^м

Устойчивые колебания диапазона периодов 200–1440 мин представлены в таблице. Линия 265^м,8, подробно рассмотренная в [3], вероятно, солнечного происхождения и, скорее всего, является гармоникой гравитационных осцилляций. Природа остальных периодов остается неизвестной. Их "отождествление" с какими-либо конкретными колебаниями (солнечными или геофизическими) требует детального исследования дина-

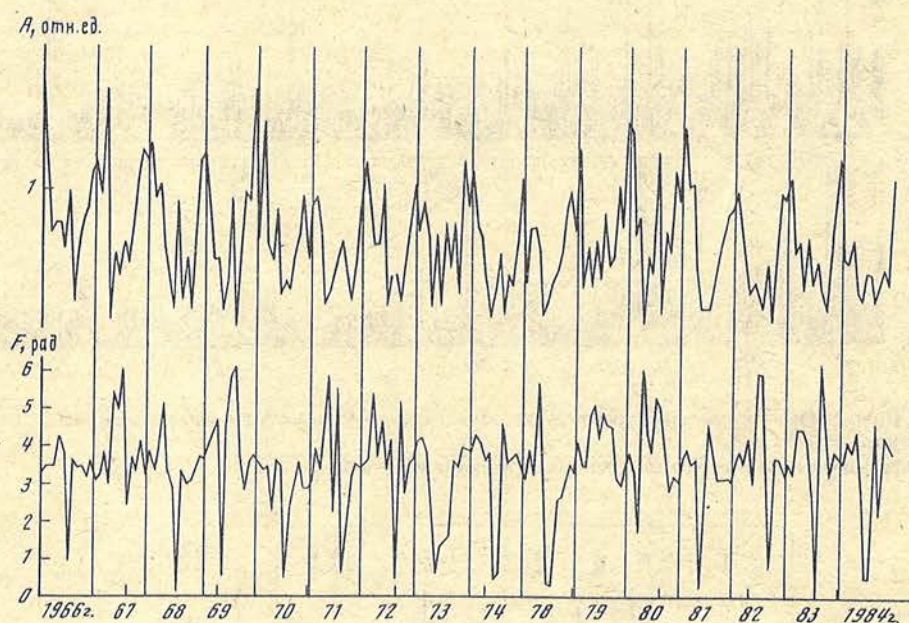


Рис. 3. Среднемесячные значения амплитуды и фазы для периода 1440 мин за 19 лет, полученные методом косинор-анализа

мики и свойств каждого конкретного периода, что должно быть предметом специальной работы. Ниже отмечены некоторые общие особенности колебаний.

Это можно сделать на примере мультиплета ≈ 1050 м (17,5 ч). Тонкая структура этого мультиплета меняется соответственно с активностью солнечного цикла (см. рис. 1). Близ максимума солнечной активности имеются две почти равных по амплитуде линии 1047 и 1050 мин. Значения их амплитуд в это время почти вдвое больше, чем для эпохи спада активности, когда происходит значительное увеличение числа линий в мультиплете. Аналогичные изменения происходят в зависимости от уровня солнечной активности для многих других периодов, в частности 1176, 923, 798 мин. Некоторые из приведенных в таблице периодов отличаются на кратные числа: $1080/537 \approx 2$, $1080/355 \approx 3$, $760/380 \approx 2$. В мультиплетах ≈ 400 и ≈ 800 мин заметна сезонная корреляция: зимой-весной эти периоды возрастают до 410–820 мин, однако аналогии в структуре мультиплетов не наблюдается.

Суточная вариация АЕ-индекса подвержена значительным циклическим изменениям в пределах года. В основном эти вариации обусловлены сезонными изменениями освещенной/неосвещенной полярной *E*-ионосферы [2]. Как видно из рис. 3, в летний интервал (для незаходящего Солнца) амплитуда суточной волны значительно уменьшается, фаза при этом не определена. Заметно некоторое увеличение амплитуды в максимумах солнечной активности (1969 и 1980 гг.).

Хотя в рассматриваемом диапазоне периодов, вероятно, присутствуют колебания чисто геофизической природы (приливные колебания, атмосферные внутренние гравитационные волны), возможно, что некоторые периоды помимо $265^m,8$ имеют солнечное происхождение. Из спутниковых измерений в коротковолновом диапазоне следует наличие периодов 5–8 ч и 10–14 ч [7].

Выделенные устойчивые колебания АЕ-индекса за 19 лет для периодов более 4 ч

№	Периоды АЕ, мин	№	Периоды АЕ, мин	Расчетные T_i , мин	n
1	265,8	18	737	734	26
2	301,3	19	766	763	24
3	330	20	798	794	22
4	356	21	856	—	—
5	380	22	923	926	15
6	404	23	957	—	—
7	420	24	999	997	12
8	460	25	1024	1024	11
9	480	26	1050	1051	10
10	507	27	1082	1080	9
11	537	28	1126	—	—
12	560	29	1176	1178	6
13	611	30	1250	1254	4
14	632	31	1290	1296	3
15	657	32	1340	1340	2
16	690	33	1390	1388	1
17	720	34	1440	$T_1 = 1440$	0

3. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА АЕ-ИНДЕКСА

Проанализированный спектр АЕ-индекса в диапазоне 10 мин – 3 года по своему виду как бы разделяется периодом в сутки на две части: 1) имеющие четкие структуры длиннопериодные, разделенные группы линий – 9, 13, 27 сут и 1, 2, 3, 5 лет – с большим отношением сигнал/шум; 2) близкие к шумам периоды менее суток, с большим количеством выделяющихся линий, со сравнимыми амплитудами и существенно меньшим отношением сигнал/шум.

Вероятно, такое различие характеристик спектра обусловлено разной природой колебаний. Суточный период имеет спектральную плотность 20–40% от периода 27 сут. Амплитуда колебаний с периодами несколько часов обычно не более 20% от A_{24} .

Другой особенностью почти всех изученных колебаний является их сложная структура; она свойственна как коротким, так и длинным периодам. Для выделенных устойчивых колебаний спектр, полученный по длинному временному ряду, представляет области повышенной спектральной плотности в виде многочисленных гармоник; мы их называем мультиплетами. Они состоят из разного числа линий, сменяющих одна другую, если строить такой же спектр по коротким, независимым временным отрезкам. Причины образования мультиплетной структуры колебаний, вероятно, определяются механизмом проявления циклической солнечной активности и, возможно, наличием сложной амплитудно-фазовой модуляции периодами большей длительности.

Модуляция с периодом ≈ 27 сут заметна в эквидистантном расположении частот колебаний. В таблице приведены значения периодов, вычисленных из соотношения $1/T_i = 1/T_1 + n/T_0$, где T_i – вычисленный период, $T_1 = 1400$ мин, $T_0 = 27,5$ сут, $n = 1, 2, 3 \dots$. Большинство периодов совпадает с точностью до полуширины мультиплета. При небольшом изменении значения T_0 происходит более точное совпадение других периодов таблицы.

Необходимо отметить одну из важнейших характеристик, также отмеченную у большинства изученных колебаний, – их временную нестационарность. Эта особенность, вероятно, также является причиной мультиплетности изучаемых процессов. Многие периоды, имеющие большую амплитуду, вдруг исчезают, а затем появляются вновь нередко с той же фазой колебания. Эта зависимость наиболее четко видна для разного уровня солнечной активности. В [4–6] о таких свойствах говорится подробнее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Закончено исследование всего частотного диапазона (10 мин – 3 года) спектра колебаний геомагнитного АЕ-индекса за 19 лет. Получены основные характеристики всего спектра, присущие большинству периодов.

1. Суточный период как бы разделяет спектр на две разные группы частот: менее и более суток. Малые периоды имеют на фоне шумового спектра ряд выделенных частот, обладающих квазигармоническими свойствами. Периоды более суток имеют четкие, разделенные структуры с большим отношением сигнал/шум.

2. Большинство периодов спектра АЕ-индекса представлено мультиплетами с разным количеством гармоник. Структуры их и спектральные плотности отдельных линий меняются в зависимости от солнечной активности и сезона года.

3. Получена таблица наиболее устойчивых колебаний АЕ-индекса на протяжении почти двух солнечных циклов. Тонкая структура и динамические изменения изучаемых периодов показывают, что большинство колебаний имеют нестабильную амплитуду, иногда уменьшаясь до исчезновения, а затем восстанавливая процесс, часто с той же самой фазой. Наиболее значительные изменения происходят с циклом солнечной активности.

4. Частоты колебаний спектра АЕ-индекса в большинстве случаев кратны средней величине скорости вращения поверхностных слоев Солнца ≈ 27 сут, что свидетельствует о наличии модуляции короткопериодных вариаций этим периодом.

5. Большинство периодов спектра АЕ-индекса имеет аналоги в солнечных и сейсмических колебаниях, совпадает более 80% периодов.

6. Наиболее важный результат спектрального исследования колебаний по длинным рядам геофизических изменений заключается в том, что, сравнивая характеристики земных и солнечных колебаний, можно изучать свойства и модели солнечных циклических процессов и солнечно-земных связей.

Автор благодарит Н.Н. Степанян, С.А. Зайцеву за интерес к работе и А.Г. Косовичева и М.И. Пудовкина за обсуждение результатов.

Ноябрь. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобова В.П., Владимирский Б.М., Пудовкин М.И. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1986. Т. 74. С. 121–131.
2. Бобова В.П. // Там же. 1987. Т. 77. С. 90–95.
3. Бобова В.П. // Магнитосферные исследования. М.: Наука, 1989. Т. 13. С. 38–47.
4. Бобова В.П., Владимирский Б.М., Зайцева С.А. и др. // Кинематика и физика небесных тел. 1989. Т. 7, № 1. С. 34–42.
5. Бобова В.П., Владимирский Б.М., Пудовкин М.И. // Магнитосферные исследования. М.: Наука, 1990. Т. 14. С. 86–95.
6. Бобова В.П. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1993. Т. 87. С. 34–41.
7. Иванов Е.В. // Физика солнечной активности. М.: Наука, 1983. С. 160–168.

ПРИВОДЫ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ АДАПТИВНОГО ТЕЛЕСКОПА: ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИЛИ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ?

Л.В. Дидковский, П.И. Борзяк, А.И. Долгушин, А.И. Елизаров,
В.С. Сирант, Н.В. Стешенко, В.В. Сычев

Приводятся результаты сравнительных испытаний пьезо- и магнитоэлектрических приводов с амплитудами перемещений до 6 мкм. Ступенчатые воздействия на частотах 4–12 Гц измерялись специально разработанным бесконтактным датчиком перемещений (точность ± 5 нм в диапазоне $\pm 0,5$ мм; частота измерений > 50 Гц) на экспериментальном стенде с реальным сегментом составного зеркала диаметром ≈ 40 см.

Зависимости перемещения в диапазоне 0–6 мкм от входного воздействия могут быть представлены параболлами (пьезопривод) или кривыми третьей степени (магнитоэлектрик) с ошибками $\pm 0,02$ мкм.

Результаты длительной (14 сут) непрерывной работы пьезопривода с частотой 10 Гц (всего $12 \cdot 10^6$ циклов) и с размахом перемещений $\approx 3,3$ мкм показывают незначительное ($\approx 4\%$) уменьшение амплитуды вибраций сегмента, связанное, по-видимому, с изменениями структуры керамики.

MICRO-MOTION ACTUATORS FOR ADAPTIVE TELESCOPE: MAGNETOSTRICTOR OR PIEZOELECTRIC? by L.V. Didkovsky, P.I. Borzyak, A.I. Dolgushin, A.I. Elisarov, V.S. Sirant, N.V. Steshenko, V.V. Sychev. Some results from comparative tests of piezoelectric and magnetostrictive actuators with values of amplitude in a range not exceeding 6 microns are given. Stepped input impacts on frequencies 4–12 Hz have been measured by specially designed non-contactable sensor of micro shifts (with precision of 5 nm in a range of ± 0.5 mm; frequency of measurements > 50 Hz) on specially prepared experimental stand including the real segment (diameter = 40 cm) of the main segmented telescope mirror.

Shifts in a range from 0 to 6 microns as functions of the input impact can be represented as parabolas (piezo-actuator) or as third order curves (magnetostrictors) with error values $\approx \pm 0.02$ microns.

The results of long (about 14 days) and continuous action of a piezo-actuator on 10 Hz frequency (total $12 \cdot 10^6$ cycles) with the value of shift = 3.3 microns show slight reduction (about 4%) of the segment vibration amplitude and this probably connected with some changes in structure of ceramics.

В работающих и в проектируемых адаптивных телескопах приводы микроперемещений должны обеспечивать в квазиреальном времени управление формой активного зеркала для уменьшения тепловых и механических деформаций и для коррекции искажений волнового фронта, прошедшего земную атмосферу. Наибольшее распространение получили электромеханические приводы [1, 2] и пьезоприводы [1, 3–5].

Электромеханические приводы обладают большими стабильностью и диапазоном перемещений, они удобны в эксплуатации и имеют значительный ресурс. К недостаткам этих приводов следует отнести малое быстродействие, что ограничивает их применение в адаптивном режиме.

Пьезоприводы (ПП) работают в широком спектре частот, обладают достаточным для адаптивного режима диапазоном перемещений, просты конструктивно, однако требуют для работы больших электрических напряжений, обладают значительными гистерезисом, ползучестью и остаточными деформациями, что усложняет схему управления.

У электроэлектрических приводов [6] практически отсутствуют гистерезис и остаточные деформации, но они имеют пока ограниченное применение.

Магнитоэлектрические приводы (МП) [1, 7] также работают в большом диапазоне частот, они долговечны и надежны, достаточно компактны, не требуют высоких напряжений. Применение материалов с гигантской магнитоэлектрической [8] позволяет увеличить диапазон перемещений по сравнению с пьезоприводами, имеющими ту же рассеиваемую мощность, при создании управляющего магнитного поля путем подключения электрического тока к обмоткам возбуждения. Управление перемещением с помощью постоянных магнитов может обеспечить удержание заданного положения привода без потребления мощности, но при этом снижается частотный диапазон.

Нашей задачей были стендовые испытания ПП и МП в условиях их работы, максимально приближенных к реальным для управления сегментами составного главного зеркала телескопа АСТ-1200 [9]. Такие испытания стали возможными после разработки в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) бесконтактного датчика микроперемещений, который может применяться для контроля в реальном времени заданной поверхности составного зеркала.

1. ДАТЧИК МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Бесконтактный датчик емкостного типа [2] с чувствительностью 5–10 нм был выбран нами в качестве прототипа для применения в сегментированном адаптивном телескопе. Однако мы имели в виду, что управление пьезоприводами сопряжено с подключением значительных электрических потенциалов, которые могут вносить ошибки в измерения емкостей (зазоров). Поэтому мы разработали бесконтактный (при необходимости он может быть переделан в контактный) датчик индуктивного типа. Основные требования к датчику при контроле заданного положения (зазора) связаны с необходимостью большой чувствительности к перемещениям и стабильности работы. Кроме того, для снижения числа юстировок важно также обеспечить значительный (доли миллиметра) диапазон измерений с чувствительностью не ниже 10 нм.

Принцип измерений и основные элементы конструкции датчика, обеспечивающие измерения с заданной чувствительностью были предложены и испытаны нами еще в 1978 г. Дальнейшие исследования были направлены на улучшение стабильности измерений и технологии изготовления.

Приведенные ниже характеристики получены при испытаниях двух образцов бесконтактных датчиков микроперемещений, изготовленных по одинаковой технологии. Компоненты электронных схем специальным образом не подбирались. Все детали датчиков (кроме корпусов и катушек индуктивности) – промышленного производства.

Диапазон измеряемых перемещений	1 мм
Чувствительность в диапазоне измерений	не менее 10 нм
Частота измерений	не менее 50 Гц
Среднеквадратичный шум в полосе частот 0,03–100 Гц	не более ± 10 нм
Потребляемая мощность	не более 0,5 Вт
Габаритные размеры (для телескопа АСТ-1200)	$198 \times 48 \times 16$ мм ³

2. СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПРИВОДОВ

Для проведения сравнительных испытаний ПП и МП в КрАО спроектирован и изготовлен специальный экспериментальный стенд (рис. 1). При проектировании стенда были учтены три основных требования:

- 1) свести к минимуму систематические погрешности при измерении перемещений;
- 2) максимально приблизить условия работы приводов и датчиков к условиям их работы в реальном телескопе;
- 3) обеспечить надежное гашение вибраций, вызываемых работой приводов.

Для удовлетворения первому условию оба датчика, применяемые для измерения перемещений – бесконтактный датчик микроперемещений конструкции КрАО и промышленный контактный индуктивный датчик, а также испытуемый привод, – размещены на одной вертикальной оси, близкой к нормали к рабочей поверхности зеркала.

Для удовлетворения второму условию экспериментальный стенд собран с применением реального сегмента составного зеркала телескопа АСТ-1200. Приводы и бесконтактный датчик, устанавливаемые на стенде, также разработаны для модернизации этого телескопа.

Основу стенда составляет чугунная плита 1 (рис. 1), при помощи специальных опор и демпферов установленная на лабораторном столе. К верхней полированной по-

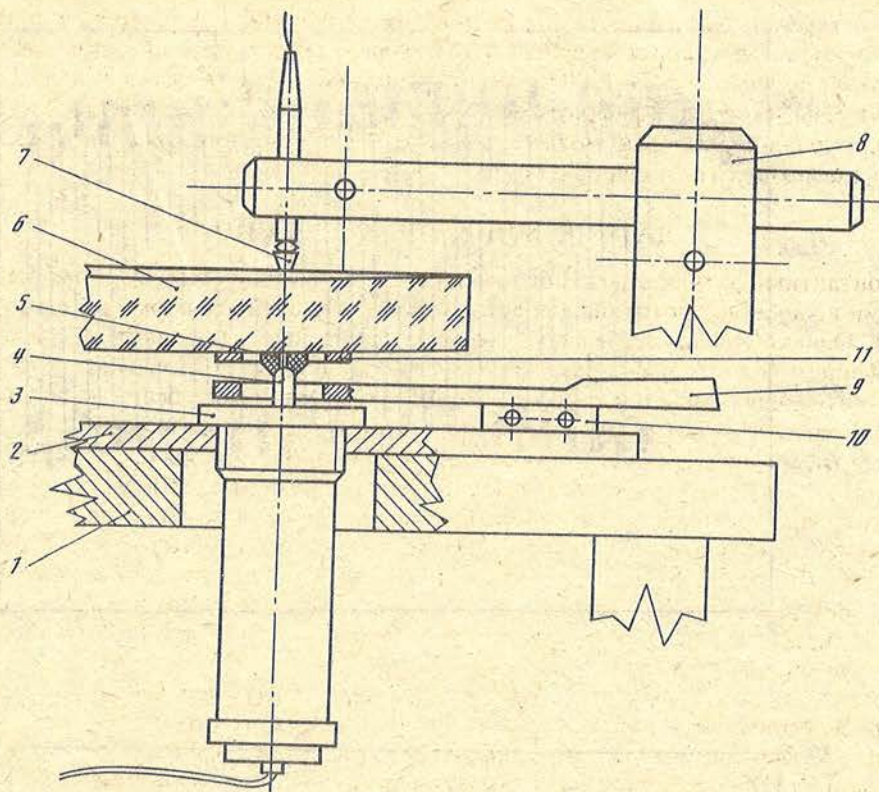


Рис. 1. Стенд для испытаний приводов

1 – плита; 2 – переходная пластина; 3 – испытуемый привод; 4 – шток привода; 5 – шайба; 6 – сегмент зеркала; 7 – щуп контактного датчика; 8 – кронштейн; 9 – бесконтактный датчик; 10 – опора; 11 – контролируемая зона

верхности этой плиты жестко прикреплена переходная пластина 2, в которой выполнено отверстие с резьбой $M56 \times 1,5$ для размещения и фиксации фланцевой части 3 испытуемого привода. Фланцевые части ПП и МП, а также выступающие из них стальные штоки 4, заканчивающиеся полированной сферой, унифицированы по размерам и форме, что позволяет быстро заменять приводы без дополнительной переделки и регулировки стенда.

Сферическая часть штока 4 посредством фторопластовой шайбы 5 воздействует на нижнюю неполированную поверхность зеркала 6. Шайба предназначена для равномерного распределения давления штока на зеркало, для компенсации перекосов штока и зеркала, а также для частичного демпфирования ударов и вибраций при большой частоте работы привода. Высокие антрифрикционные свойства фторопласта позволяют свести к минимуму радиальную составляющую усилия, действующего на шток привода и на зеркало при его наклоне.

Зеркало своей нижней поверхностью помимо штока привода опирается на две жесткие и неподвижные опоры со сферическими наконечниками, образующими ось качания зеркала при работе приводов, и расположенные так, что на каждую опору, включая шток, приходится $1/3$ веса зеркала. На верхнюю алюминированную поверхность зеркала опирается щуп 7 контактного индуктивного датчика, установленного строго над штоком привода. При такой установке величину перемещения щупа дат-

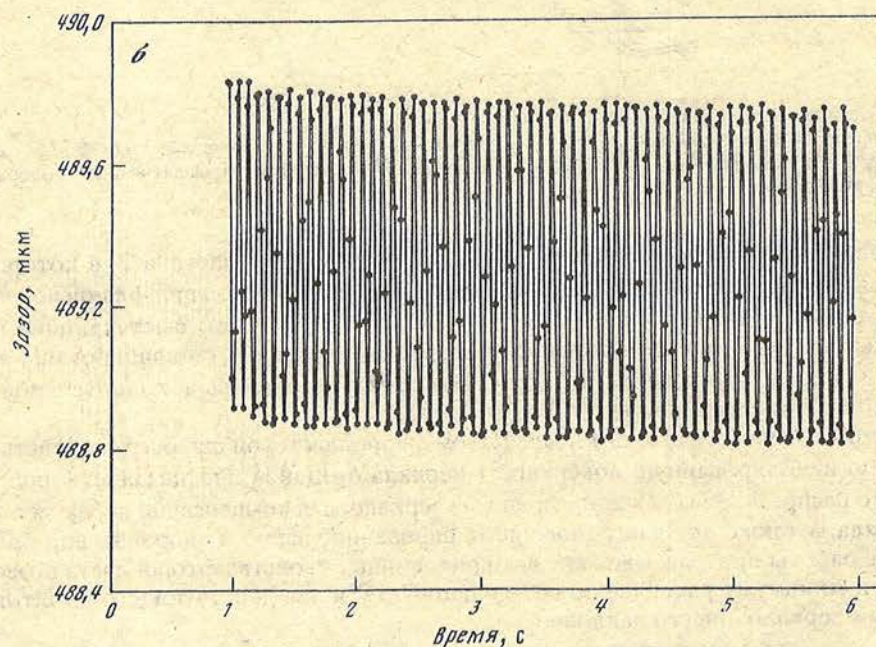
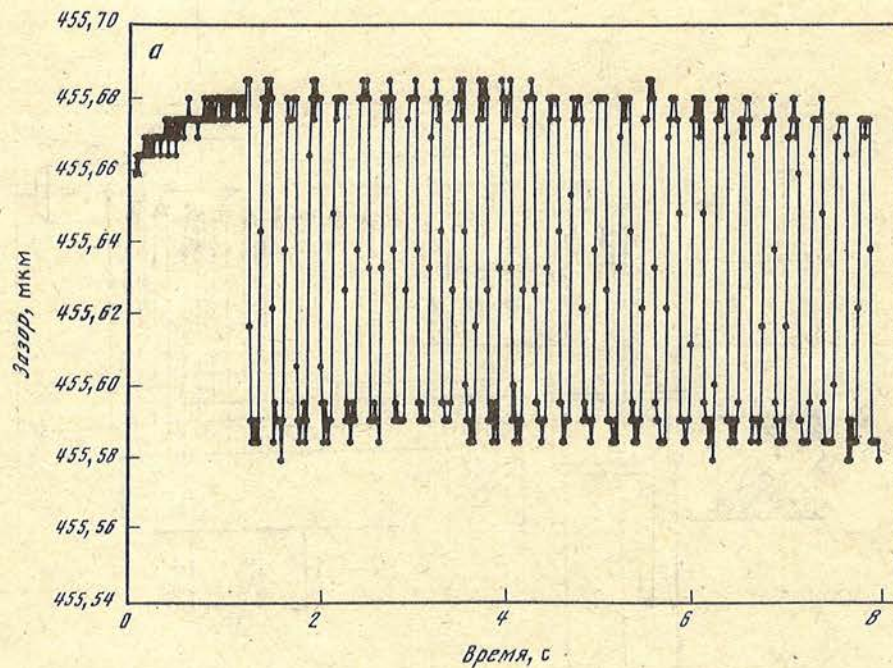


Рис. 2. Диаграммы периодических смещений зеркала при управлении пьезопроводом (а, б) и магнитострикционным приводом (в, г)

а - $F = 4$ Гц, $U_1 = 0$, $U_2 = 2$ В, $A_{1,2} = 0,101 \pm 0,002$ мкм; б - $F = 12$ Гц, $U_1 = 0$, $U_2 = 17$ В, $A_{1,2} = 0,923 \pm 0,013$ мкм; в - $F = 4$ Гц, $I = 0,06$ А, $A = 0,463 \pm 0,005$ мкм; г - $F = 12$ Гц, $I = 0,06$ А, $A = 0,471 \pm 0,007$ мкм

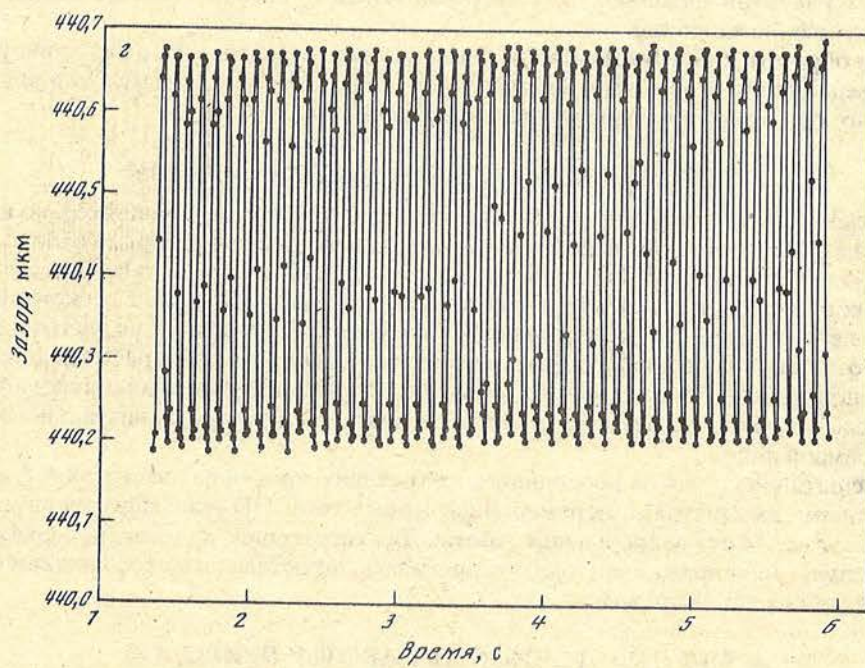
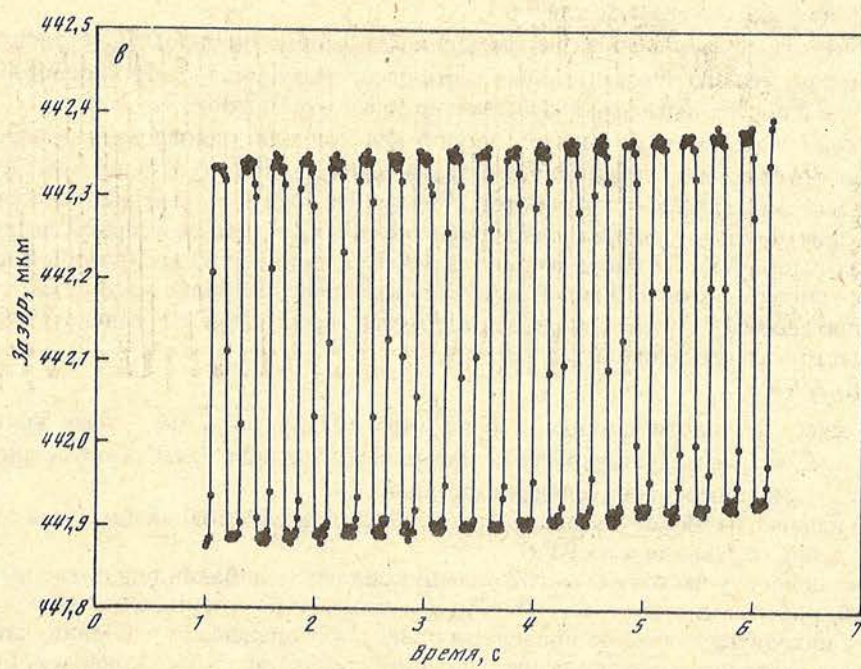


Рис. 2(продолжение)

чика можно считать идентичной величине перемещения штока привода во всем диапазоне изменений угла наклона зеркала. Корпус контактного датчика при помощи кронштейна 8 жестко связан с плитой 1.

Бесконтактный датчик микроперемещений 9 при помощи опоры 10 установлен под зеркалом так, что его чувствительная часть расположена под контролируемой зоной // на нижней поверхности зеркала аксиально со штоком привода 4.

Переходная пластина 2, являясь опорой для привода, одновременно выполняет функцию основного демпфирующего звена для гашения колебаний всей измерительной системы, вызываемых работой привода. Из этих соображений в качестве материала для пластины выбран алюминиевый сплав с высокой ударной вязкостью. Пластина выполнена из листа толщиной 10 мм и прикреплена к чугунной плите в четырех точках с базой 110 мм. Представив пластину как балку на двух опорах, нагруженную весом 1/3 части зеркала и пренебрегая весом самой пластины, можно определить частоту ее собственных колебаний:

$$\omega = (\delta m)^{-1},$$

где m – масса 1/3 части зеркала, а $\delta = l^3/(48E \cdot 2J)$; здесь l , мм – база крепления пластины, E , кПа – модуль упругости материала пластины, J , см⁴ – геометрический момент инерции поперечного сечения пластины.

Тогда низшая, наиболее опасная частота собственных колебаний пластины с учетом ее данных будет равна $\omega = 83,1$ Гц.

Сопоставляя эту частоту с частотой вынужденных колебаний или с максимальной частотой работы привода $\Omega = 20$ Гц, находим, что соотношение $\Omega/\omega > 4$, т.е. пластина находится далеко за пределами области резонансных колебаний, чем обеспечивается надежное демпфирование вибраций стенда при работе приводов. Без проверочных расчетов очевидно, что чугунная плита обеспечивает еще более существенное гашение вибраций.

Таким образом, конструкция стенда обеспечивает достоверность измерений, удобна для проведения экспериментов и создает близкие к оптимальным условия для сравнительных испытаний приводов микроперемещений.

3. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Комплекс электронной аппаратуры для испытания приводов дополнительно к показанному на рис. 1 датчикам перемещений состоял из генератора прямоугольных импульсов, ключевой схемы для коммутации напряжений (токов), стабилизированных источников питания и компьютера с интерфейсами ввода сигналов с бесконтактного датчика перемещений и с электронного термометра. Контактный индуктивный датчик, работающий на низких частотах, применялся для определения рабочей точки (исходного положения) бесконтактного датчика по записанной ранее калибровочной кривой. После этого его отсчеты не регистрировались, а служили для визуального контроля перемещений.

Все испытания приводов проводились на трех фиксированных частотах 4, 8 и 12 Гц с различными амплитудами перемещений. Кроме того, ПП испытывался на частоте 10 Гц в течение 14 сут непрерывной работы. Для устранения "подскоков" зеркала крутизна импульсов напряжения (тока) уменьшалась, но оставалась постоянной и одинаковой для обоих типов приводов.

4. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ПРИВодОВ

На рис. 2 показана временная диаграмма движения зеркала с частотами ≈ 4 Гц и ≈ 12 Гц при управлении ПП (а, б) и МП (в, г). Среднеквадратичные ошибки амплитуды перемещений определялись по экстремальным значениям отсчетов датчика, что позволило сопоставить стандартные ошибки, вычисленные на низкой и высокой

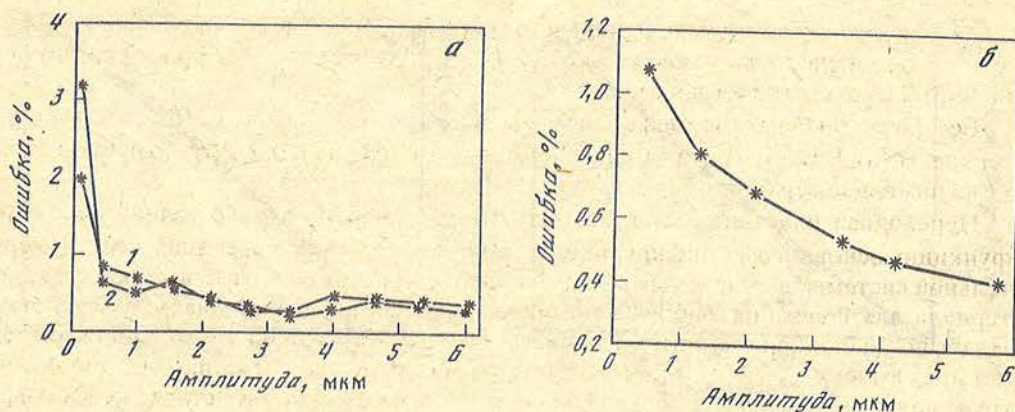


Рис. 3. Зависимость относительной ошибки перемещений от амплитуды для пьезопривода (а) и для магнитострикционного привода (б)
 а — $U_0 = 0$ (1), 30 В (2); б — $F = 4$ Гц

частотах работы, учитывая то обстоятельство, что на частоте 12 Гц уже практически отсутствуют "полочки" — время остановки зеркала в крайних положениях близко к времени движения из одного положения в другое.

Из рис. 2 видно, что оба типа приводов имеют некоторый дрейф, изменяющий зазор между тыльной стороной зеркала и датчиком перемещений. В то же время амплитуда перемещений зеркала остается практически постоянной со среднеквадратичными ошибками 2 нм (а), 13 нм (б), 5 нм (в) и 7 нм (г).

Для определения зависимости относительной ошибки работы привода (ошибки измерений нашего датчика значительно меньше, и мы ими пренебрегаем за исключением начального участка характеристик) от амплитуды перемещений на фиксированной частоте ≈ 4 Гц были вычислены и построены графики, показанные на рис. 3, для ПП с исходными напряжениями 0 и 30 В (а) и для МП (б). Из рис. 3 можно сделать вывод, что в диапазоне перемещений 3–6 мкм оба типа приводов имеют примерно одинаковые относительные ошибки $\approx 0,4\%$. Уменьшение точности на начальном участке зависимости, показанной на рис. 3, а, связано с тем, что при амплитудах перемещений $\approx 0,1$ мкм уже сказывается точность измерений датчика.

С увеличением частоты перемещений до 10–12 Гц стандартная ошибка измерений амплитуды также увеличивается (см. рис. 2б, г), что связано в основном с дискретностью работы датчика, когда на один период колебаний зеркала приходится всего 5–8 измерений.

5. РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИВОДОВ

Важным обстоятельством для построения оптимального алгоритма управления зеркалами в адаптивном режиме является возможность применения выходной (рабочей) характеристики данного привода для уменьшения времени перехода с одного положения зеркала в другое. Если такая характеристика будет записана в память компьютера, то необходимое приращение напряжения (тока) может быть вычислено и отработано за один прием.

При реальных наблюдениях приводы микроперемещений, как правило, образуют одну из ступеней (быструю) двухступенчатых комбинированных приводов. Медленная ступень должна устранять механические и/или тепловые погрешности формы зеркала. При этом быстрые приводы будут работать вблизи нулевых точек диапазонов перемещений. На рис. 4 приведены начальные участки рабочих характеристик для ПП (а) и для МП (б). Среднеквадратичные отклонения рабочих характеристик ПП и МП от

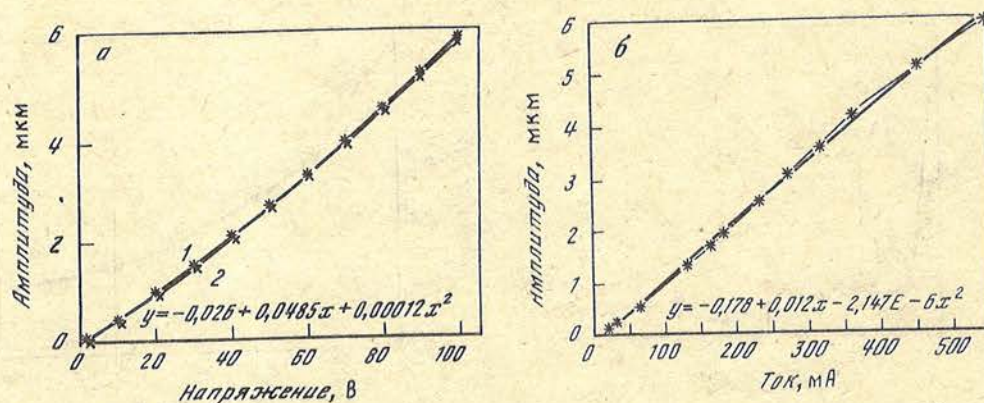


Рис. 4. Начальные участки рабочих характеристик пьезопьезода (а) и магнитострикционного привода (б)
а - $F = 4$ Гц, $U_0 = 0$ (1), 30 В (2); б - $F = 4$ Гц

парабол составляют $\approx 0,01$ и $0,07$ мкм соответственно, а при аппроксимации характеристики МП кривой третьей степени $\approx 0,02$ мкм.

Для МП уже начиная с амплитуды перемещений 4 мкм (импульсы тока ≈ 400 мА) замечен переход к режиму насыщения, когда растет энерговыделение и уменьшается коэффициент полезного действия. Следует отметить, что новые МП, разработанные Уфимским авиационным институтом, обеспечивают работу (при тех же нагрузках) в диапазоне до 8 мкм при вдвое меньшем потреблении тока. При этом они имеют меньшие габариты и массу.

Характеристика ПП, наоборот, начиная $\approx$ с 3 мкм становится более крутой, что позволяет сделать вывод о преимуществе ПП при перемещениях, превышающих ≈ 3 мкм. В диапазоне перемещений $\approx 0-4$ мкм оба типа приводов имеют близкие характеристики.

6. РЕСУРСНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОПРИВОДА

Пьезокерамика, из которой изготовлен ПП, имеет ограниченный ресурс работы, который обусловлен процессами старения керамики и изменения ее параметров при циклических расширениях и сжатиях. Имеющиеся в наличии паспортные данные ПП не содержат сведений о ресурсе данных ПП. Поэтому были проведены стендовые испытания одного из ПП для определения стабильности его выходной характеристики.

Режим работы ПП был выбран непрерывным в течение 14 сут с реальной нагрузкой. На ПП подавалось импульсное напряжение амплитудой 60 В, частотой 10 Гц. Каждый день на компьютер записывался файл измерений перемещений зеркала с помощью бесконтактного датчика. После окончания испытаний были вычислены амплитуды перемещений для каждого дня и стандартные их отклонения. Результат показан на рис. 5. Сплошная линия соответствует линейному тренду и проведена методом наименьших квадратов.

Из рис. 5 видно, что существует незначительное ($\approx 4\%$) уменьшение амплитуды перемещений за время испытаний. Рассмотрим возможные ошибки и погрешности измерений.

Изменение температуры за время измерений приводит к некоторому изменению ($\approx 0,2$ мкм/ 1°C) взаимного положения датчика и зеркала из-за неполной температурной компенсации штока привода и кронштейна закрепления датчика. Такие малые изменения рабочей точки датчика практически не изменяют его чувствительности, а значит, не сказываются при относительных измерениях (верх-низ) положения зеркала.

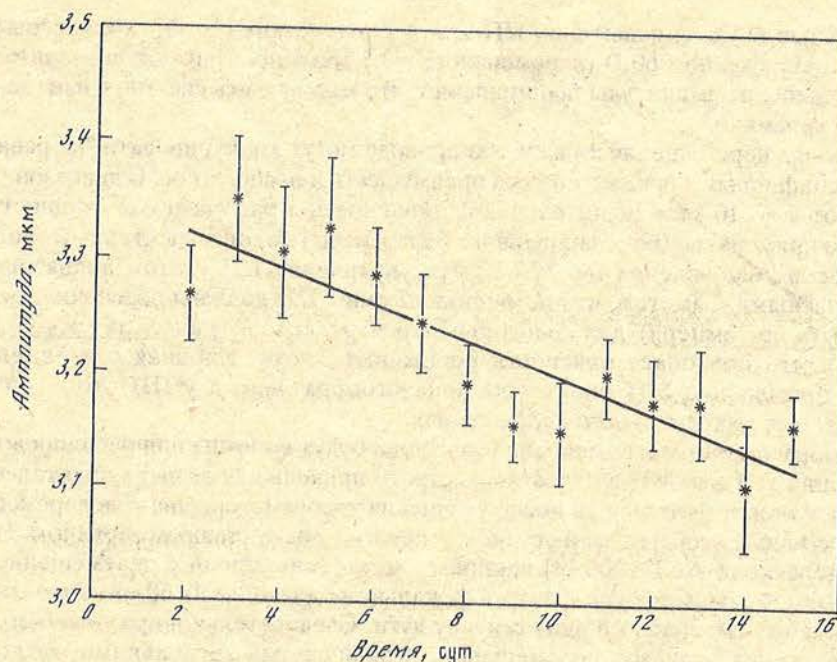


Рис. 5. Изменение амплитуды перемещений пьезопривода при длительной непрерывной работе $U_1 = 0$, $U_2 = 60$ В, $F = 10$ Гц. Линейная аппроксимация $Y = (-0,01156X + 3,35)$ мкм

Приработка привода и зеркала – расплющивание пылинок и уменьшение толщины фторопластовой шайбы (см. рис. 1) – также не сказывается при относительных измерениях.

Более существенное изменение чувствительности датчика может произойти при значительном (на миллиметры) сползании зеркала. Чтобы исключить (уменьшить) сползание, были приняты специальные меры: зеркало устанавливалось горизонтально, привод воздействовал на зеркало через прокладку, кроме того, контролировались зазоры между торцами зеркала и неподвижными поверхностями.

Таким образом, мы приходим к выводу, что приведенное на рис. 5 уменьшение амплитуды перемещений зеркала в основном связано с изменением характеристик пьезопривода.

7. ВЫВОДЫ

Разработанные в КрАО датчик микроперемещений и стенд для испытания приводов позволили выполнить сравнительный анализ пьезо- и магнитострикционных приводов для адаптивного телескопа.

Приводы испытывались с реальной нагрузкой на частотах 4–12 Гц, при которых наблюдаются значительные атмосферные искажения волнового фронта. По результатам испытаний можно сделать следующие выводы.

Точность измерений положения зеркала с применением оригинального бесконтактного датчика позволяет: а) поддерживать заданную форму составного зеркала; б) проводить прецизионные измерения работы приводов перемещений в диапазоне частот до ≈ 20 Гц.

Рабочие характеристики приводов могут быть аппроксимированы с точностью $\approx 0,01$ мкм кривыми второй или третьей степени и введены в память управляющего компьютера для ускорения перехода зеркала из одного положения в другое.

Длительные (14 сут) испытания ПП при периодических (10 Гц) импульсных воздействиях напряжением 60 В (перемещение $\approx 3,3$ мкм) показывают незначительное ($\approx 4\%$) уменьшение амплитуды перемещений, что может быть связано с изменениями структуры керамики.

В диапазоне перемещений ± 4 мкм оба привода могут конкурировать "на равных" с учетом специфичных для каждого типа преимуществ и недостатков. В диапазоне перемещений от 4 до 10 мкм значительная нелинейность и рассеиваемая мощность МП делают его применение (без специального охлаждения) малоперспективным. Большие электрические напряжения (до 300 В) для управления ПП в этом диапазоне становятся опасными. Заметим, что источники питания ПП должны обеспечивать большие токи (доли ампера) для быстрого перезаряда электрической емкости ПП (1–2 мкФ), что повышает опасность поражения током. Начиная с перемещений ≈ 10 мкм применение МП становится нецелесообразным, а у ПП это значение в ≈ 2 раза меньше максимального перемещения.

Таким образом, результаты наших испытаний будут полезны при решении вопроса о применении ПП или МП в качестве быстрого привода для адаптивного телескопа. Этот вопрос может быть решен после уточнения требуемого диапазона перемещений и конструктивных особенностей установки привода под составным зеркалом. Например, для телескопа АСТ-1200 [9] наклон сегмента, связанный с перемещением его края на 1 мкм, вызывает сдвиг звезды в фокальной плоскости на 60 мкм, что соответствует угловому смещению в одну секунду дуги. Следовательно, при обычном качестве изображения диапазон перемещений, ограниченный несколькими микрометрами, вполне достаточный.

Ноябрь. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прецизионные электроприводы и датчики малых перемещений: Сб. абстрактов науч.-техн. семинаров. Л., 1990.
2. Габор Дж. // Оптические и инфракрасные телескопы 90-х годов / Пер. с англ. под ред. А. Хьюит. М.: Мир, 1983. С. 36–51.
3. Von der Luhe O. // Solar interior and atmosphere / Ed. A.N. Cox et al. Tucson: Univ. Arizona press, 1991. P. 688–726.
4. Beckers J.M., Goad L.E. // Proceedings towards understanding galaxies at large redshift. Quebec. 1987. (NOAO prepr. ser.; N 93).
5. Атмосферная неустойчивость и адаптивный телескоп / Под ред. А.Х. Кумарева, В.С. Шевченко. Л.: Наука, 1988. 137 с.
6. Смоленский Г.А., Исупов В.А., Юшин Н.К. и др. // Там же. С. 38–39.
7. Грахов П.А., Кусимов С.Т., Тляев А.З. // Управляемые электрические цепи и электромагнитные поля. Межвуз. сб. Уфа: УАИ, 1992. С. 12–18.
8. Белков К.П., Левитин Р.З., Никитин С.А., Соколов В.И. Диплом № 225 СССР // Б.И. 1980. № 32.
9. Стещенко Н.В., Сычев В.В. / Атмосферная неустойчивость и адаптивный телескоп. Сб. статей / Под ред. А.Х. Кумарева, В.С. Шевченко. Л.: Наука, 1988. С. 5–10.

ОПЫТ КВАЗИОДНОВРЕМЕННОЙ ФОТОМЕТРИИ ЗВЕЗД НА КАНАЛЕ ПОДСМОТРА ТЕЛЕВИЗИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА

А.А. Шляпников

Описана возможность использования канала подсмotra телевизионного спектрометра для квазиодновременной фотометрии звезд. Оценена точность фотометрии по наблюдениям звезд – фотометрических стандартов. Для звезд 7^m-10^m она составляет $0^m,02$.

ON THE QUASI-SIMULTANEOUS PHOTOMETRY OF STARS WITH THE GUIDE CHANNEL OF THE TV SPECTROMETER, by A.A. Schlyapnikov. The guide channel of the TV spectrometer was used for the stellar magnitude measurements quasi-simultaneously with spectral observations. The accuracy of the photometry of stars 7^m-10^m is about $0^m,02$ using 0.5 – meter telescope.

Спектральные наблюдения большого класса объектов, как правило, нуждаются в фотометрической поддержке. Часто для выполнения таких работ используются различные инструменты с целью обеспечения квазиодновременности регистрации спектра и фотометрических измерений. Совмещение на одном светоприемнике спектральных и фотометрических наблюдений представляет большой интерес, так как позволяет проводить эти наблюдения на одном и том же инструменте в близких условиях.

Применение панорамных светоприемников для получения астрономической информации позволяет создавать приборы оригинальной конструкции. К таким приборам относится описанный в [1] телевизионный спектрометр с подсмотром щели на видео-контрольном устройстве, где на один и тот же приемник света проектируются изображение спектра исследуемого объекта и изображение входной щели спектрографа. Спектр регистрируется в режиме накопления потенциального рельефа на мишени передающей трубки ЛИ-804, а щель и изображение объекта на ней – в непрерывном режиме. Идея совмещения на одном панорамном светоприемнике изображения спектра наблюдаемого объекта и поля подсмotra, обеспечившая возможность дистанционного гидрирования на щели его изображения, создала, кроме того, возможность проводить фотометрические измерения блеска объекта при выводе его изображения на щелки щели и использовании того же измерительного тракта, что и при спектральных наблюдениях объекта. Последнее позволяет наряду с регистрацией спектра исследуемого объекта получать квазиодновременные оценки его блеска. На полуметровом телескопе был проведен опыт таких наблюдений, который кратко описан ниже.

Спецификой фотометрических наблюдений являются ограничения, связанные с выделением в поле светоприемника области цифровой регистрации изображения – строка. Поэтому на данном этапе работы запись спектра звезды и оценка ее блеска производятся последовательно. Сначала строб устанавливается на то место телевизионного кадра, куда проектируется спектр, а затем перемещается на изображение звезды. Оцифровка всего телевизионного кадра и замена входной щели спектрографа плоско-параллельной пластинкой позволяют одновременно проводить фотометрию и спектрофотометрию наблюдаемого объекта.

Исследование телевизионного спектрального комплекса, описанное в [2], показало возможность выполнения на нем фотометрических измерений с точностью в одном информационном канале не хуже 3%. Для оценки точности фотометрии звезд были проведены наблюдения фотометрических стандартов из NGC 7092 [3]. Диапазон звездных величин отобранных звезд находился в пределах от $7^m,33$ до $9^m,68$ и был ограничен специально для решения конкретной наблюдательной задачи. Более подробное описание фотометрии звезд на аналогичном телевизионном комплексе можно найти в [4–6].

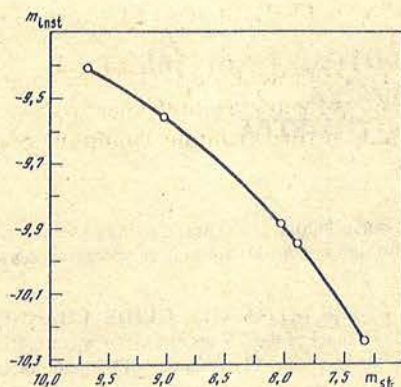


Рис. 1. Пример калибровочной кривой для учета чувствительности аппаратуры

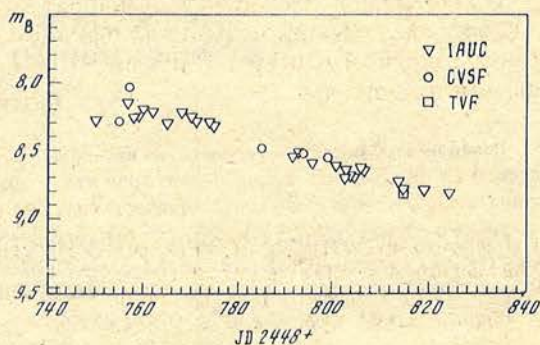


Рис. 2. Фрагмент кривой блеска Новой Лебеда 1992 г.

IAUC – фотоэлектрические наблюдения из [7–9]; CVSF – фотометр канала телевизионного подсмотра; TVF – телевизионный фотометр MTM-500 [4]

Одним из отличий нового фотометра от описанного в [4] является связь телевизионного комплекса с более современной ЭВМ, что позволяет производить оценки блеска в реальном времени.

При работе на фотометре с цифрового телевизионного комплекса в ЭВМ поступает отсчет $I(i)$, характеризующий интегральный уровень сигнала в i -м информационном канале. Для перехода к звездным величинам необходимо просуммировать отсчеты, соответствующие интенсивности в каналах светоприемника, перекрывающих изображения звезды:

$$S = \sum_{i=-d/2}^{d/2} I(i),$$

где d – диаметр условной диафрагмы, превышающей по размерам изображение звезды в поле светоприемника.

Инструментальные звездные величины определяются из соотношения

$$m_{\text{inst}} = -2,51 \log(S - N),$$

где N – величина, соответствующая среднему уровню фона, полученная при суммировании отсчетов $I(i)$ для двух площадок светоприемника, расположенных вблизи звезды.

Данные о звездных величинах звезд-стандартов m_{st} и инструментальные звездные величины этих звезд m_{inst} используются для построения калибровочной кривой. Пример приведен на рис. 1.

Звездная величина исследуемого объекта находится из уравнения

$$m = m_{\text{inst}} \cdot F(m_{\text{st}}, m_{\text{inst}}) + C,$$

где $F(m_{\text{st}}, m_{\text{inst}})$ – функция, описывающая чувствительность аппаратуры, C – постоянный член.

Значения ошибок, полученных из наблюдений звезд – фотоэлектрических стандартов – составляют в среднем не более $\pm 0^m,02$ для m от 7^m до 10^m и обусловлены прохождением сигнала от звезды через атмосферу и светоприемную аппаратуру.

На рис. 2 приведен фрагмент кривой блеска Новой Лебеда 1992 г., на которой,

наряду с фотоэлектрическими данными других авторов [7–9], присутствуют оценки, сделанные на новом приборе.

В заключение считаю долгом поблагодарить А.Н. Абраменко и В.В. Прокофьеву за поддержку идеи совмещения на одном светоприемнике изображений спектра и подсмотра щели, что открыло новые возможности для автоматизации гидирования и фотометрии звезд.

Декабрь. 1992 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абраменко А.Н. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1992. Т. 86. С. 194.
2. Шляпников А.А. // Там же. 1993. Т. 89.
3. Johnson H. // Astrophys. J. 1953. Vol. 117. P. 353.
4. Абраменко А.Н., Прокофьева В.В., Бондарь Н.И. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории. 1988. Т. 78. С. 182.
5. Прокофьева В.В., Бочков В.В., Павленко Е.П. // Там же. 1993. Т. 88. С. 110–119.
6. Прокофьева В.В., Демчик М.И., Карачкина Л.Г., Павленко Е.П. // Астрон. вестн. 1992. Т. 26, № 5. С. 3.
7. Hanzl D., Hroch F. // IAU Circ. 1992. N 5537.
8. Hanzl D., Neureiterova E. // IAU Circ. 1992. N 5552.
9. Kaiser D.H., Emerson G., Hanzl D., Neureiterova E. // IAU Circ. 1992. N 5571.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ КРЫМСКОЙ
АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Т о м 90

Утверждено к печати
Крымской астрофизической обсерваторией

Заведующая редакцией "Наука – математика,
физика, информатика" *В.П. Сироткина*
Редактор *А.А. Кудинова*
Художественный редактор *В.Ю. Яковлев*
Технические редакторы *О.В. Аредова, З.В. Павлюк*
Корректоры *Н.Л. Голубцова, Т.И. Шеповалова*

Набор выполнен в издательстве
на компьютерной технике

Н/К

Л.Р. № 020297 от 27.11.91

Подписано к печати 10.02.95
Формат 70 × 100 1/16. Гарнитура Таймс
Печать офсетная
Усл.печ.л. 17,55. Усл.кр.-отг. 17,8. Уч.-изд.л. 20,2
Тип. зак. **2482** Заказное

Издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90
Московская типография № 2 РАН
121099, Москва Г-99, Шубинский пер., 6