

УДК 524.3

Основные научные достижения Лаборатории физики звезд и галактик

Р.Е. Гершберг

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 30 сентября 2008 г.

Широкую известность и высокую оценку в астрономическом мире получили выполненные в Симеизе еще в довоенные и первые послевоенные годы следующие исследования звезд и межзвездной среды:

- создание Г.А. Шайном и О. Струве методики определения скорости вращения звезд и оценки этих величин у многих десятков звезд разных спектральных классов;
- выполненные Г.А. Шайном и В.А. Альбицким высокоточные измерения лучевых скоростей сотен звезд;
- исследования Г.А. Шайна по молекулярным спектрам звезд, приведшие к обнаружению аномалии изотопного состава углерода в звездных атмосферах;
- открытие Г.А. Шайном и В.Ф. Газе в конце 40-х – начале 50-х годов нескольких сотен эмиссионных туманностей в нашей Галактике и в ближайших звездных системах;
- открытие Г.А. Шайном и В.Ф. Газе доминирования межзвездной среды по массе в комплексах газовых туманностей и молодых звезд в галактиках;
- пионерские работы Г.А. Шайна по изучению структуры диффузной среды и магнитного поля Галактики: ему принадлежит основной вклад в доказательство существования общего магнитного поля Галактики, первой оценки его напряженности и исследования его глобальной структуры.
- в ходе инициированных Г.А. Шайном исследований структуры Галактики, проведенных А.К. Алкснисом, Э.С. Бродской, Н.Б. Григорьевой, Р.Н. Ихсановым, И.М. Копыловым, Л.П. Метик, А.Б. Нумеровой, И.И. Проник, Р.М. Разник, В.Л. Страйжисом, П.Ф. Шайн и Г.Н. Шараповой, были созданы каталоги распределения поглощающей среды в 120 площадках Млечного Пути до 2–5 кпс от Солнца; анализ этих результатов заложил экспериментальные основы современной концепции рождения звезд из межзвездной среды.

За 13 лет работы в КраО С.Б. Пикельнер выполнил ряд фундаментальных работ:

- построил модель диссипации солнечной короны, обобщенную затем на звездные короны; построил гелиевый аналог водородных зон Стремгена;
- получил первоклассные спектры волокнистых туманностей на собранном и отлаженном им небулярном спектрографе;
- выяснил механизм свечения таких структур и заложил при этом основы радиационной космической газодинамики;
- построил статистическую модель флуктуаций яркости в условиях колмогоровской турбулентности в диффузных туманностях;
- предсказал существование галактического гало;
- объяснил вековое ускорение волокон Крабовидной туманности;

- предложил метод оценки напряженности магнитного поля в радиоисточниках по излому в спектре синхротронного излучения.

Э.Р. Мустель, занимавшийся исследованием звездных фотосфер, начал в 50-е годы формирование коллектива крымских астрофизиков-спектроскопистов, ориентированных на изучение звездных атмосфер и эволюции звезд.

И.М. Копылов разработал методы количественной спектральной классификации звезд и развил анализ химического состава звездных атмосфер, определил физические параметры атмосфер горячих звезд и звезд повышенной металличности, исследовал тонкую структуру диаграммы температура-светимость, выделил исходную главную последовательность, послужившую для изучения скоплений и определения шкалы расстояний, заложил основы исследования пространственного распределения звезд и ассоциаций в Галактике, сделал вывод о сходстве пространственного распределения и кинематики В-звезд и цефеид. И.М. Копылов и его группа (Р.Н. Кумайгородская, Т.С. Галкина, О.П. Голландский и Э.А. Витриченко) внесли важный вклад в понимание физических процессов в атмосферах сверхгигантов и эволюционной роли вращения звезд.

А.А. Боярчук обнаружил аномально большое содержание гелия в атмосфере заметно проэволюционировавшей звезды Бета Лиры – одно из первых экспериментальных свидетельств звездной эволюции за счет термоядерного горения водорода. Затем он решил загадку симбиотических звезд – объектов, в спектрах которых обнаруживались свойственные холодным звездам молекулярные полосы и присущие горячему газу эмиссионные линии высокоионизованных ионов. На основе собственных обширных спектральных наблюдений и фотометрических исследований Т.С. Белякиной он разработал современную концепцию таких звезд как закономерной стадии развития двойных систем с компонентами разных масс. Эта концепция входит сейчас в общепринятые представления об эволюции различных двойных звездных систем. Впоследствии Т.С. Белякина, Н.И. Бондарь и В.В. Прокофьева обнаружили нерадиальные пульсации у холодного и горячего компонентов симбиотических звезд.

В.И. Проник открыл градиент температуры вещества диффузных туманностей по мере удаления от возбуждающей звезды и по интенсивностям эмиссионных линий нашел распределение энергии в далеких ультрафиолетовых спектрах ядер Крабовидной и планетарных туманностей.

Р.Е. Гершберг и П.В. Щеглов (Москва) открыли сверхзвуковое истечение вещества из горячих звезд, возбуждающих диффузные туманности.

Исследование красных карликовых звезд было начато в КрАО в конце 50-х годов, когда вспышки этих небольших и сравнительно холодных объектов представлялись одними из наиболее загадочных явлений звездной переменности. П.Ф. Чугайнов и Н.И. Шаховская получили длительные ряды фотометрических наблюдений таких звезд и в совокупности с организованными КрАО аналогичными наблюдениями в 20 обсерваториях разных стран получили первые обширные банки данных по таким звездным вспышкам. После создания в КрАО ЭОПного спектрографа для ЗТШ в середине 60-х годов на нем впервые были получены спектры вспышек с высоким временным разрешением. Анализ этих данных подтвердил гипотезу Р.Е. Гершберга о появлении во время вспышек на таких холодных звездах горячих ионизованных газовых структур и позволил Р.Е. Гершбергу и С.Б. Пикельнеру выдвинуть идею о физической идентичности активности красных карликовых звезд и Солнца. Последующие внеатмосферные ультрафиолетовые и рентгеновские наблюдения полностью подтвердили эту идею, и сейчас она является общепринятой, одной из основ направления звездно-солнечной физики. В рамках этой концепции была изучена структура хромосфер таких звезд в спокойном состоянии и во время вспышек, на основе оригинальной методики определен общий характер запятненности звезд этого типа, исследованы многолетние циклы их активности, сходные с 11-летним солнечным циклом (И.Ю. Алексеев, Э.А. Барановский, Н.И. Бондарь, Р.Е. Гершберг, Н.И. Шаховская, Д.Н. Шаховской).

В 70-е годы Л.С. Любимков обнаружил систематическое обогащение атмосфер массивных звезд гелием и азотом, что потребовало включения механизма перемешивания вещества еще на стадии главной последовательности, то есть заметного пересмотра теории звездной эволюции. Исследования химического состава звездных атмосфер, выполненные Л.С. Любимковым с коллегами, привели к обнаружению избытка натрия у желтых сверхгигантов, избытка лития и урана у некоторых звезд с сильными магнитными полями, систематического расхождения в содержаниях элементов в атмосферах компонентов двойных звезд с повышенным содержанием металлов.

Н.С. Полосухина и участники организованного ею международного проекта “Литий в холодных CP-звездах” в результате многолетних спектральных наблюдений холодных химически пекулярных звезд открыли переменность профиля линии лития с вращением. Этот феномен был объяснен моделью наклонного ротатора с дипольным магнитным полем и литиевыми пятнами на магнитных полюсах, что указало на связь локальной структуры атмосферы в литии с конфигурацией магнитного поля.

А.Е. Тарасов и С.Л. Мальченко исследовали долю эмиссионных объектов среди В звезд в ряде открытых звездных скоплений разного возраста и показали, что феномен Ве звезд существует на сравнительно небольшом временном интервале в течение общей эволюции В звезд.

В.П. Гринин с сотрудниками открыл корреляцию блеска и поляризации излучения молодых звезд и предложил теоретическую модель этого эффекта, в которой решающая роль принадлежит околозвездным неоднородным пылевым структурам. Спектральный мониторинг таких звезд позволил выявить неоднородную структуру внутренних областей околозвездных дисков и обнаружить циклы активности у звезды MWC 480, наиболее вероятной причиной которых является перестройка внутренней структуры околозвездной газовой оболочки, вызванная присутствием маломассивного компаньона или планеты. Эти наблюдения заложили основу экспериментальных исследований протопланетных дисков (А.Н. Ростопчина-Шаховская, Д.Н. Шаховской, О.В. Козлова).

П.П. Петров и А.Г. Щербаков выдвинули концепцию магнитной активности молодых звезд типа Т Тельца задолго до обнаружения сильных магнитных полей на поверхности таких звезд. П.П. Петров и В.П. Гринин открыли асимметрию звездного ветра звезд типа Т Тельца, обусловленную магнитным полем. Совместно с зарубежными коллегами П.П. Петров исследовал процессы магнитосферной аккреции у молодых звезд солнечной массы: впервые был получен спектр вещества, падающего на звезду, и найдено распределение температуры газа вдоль аккреционного потока; обнаружены “хромосферные пятна” на поверхности звезды, вызванные аккрецией; обнаружено явление “звездных протуберанцев”; спектральные исследования объектов типа FU Ori показали, что они составляют особый класс молодых звезд, быстро вращающихся и интенсивно теряющих массу.

В 1975 году в созвездии Лебедя вспыхнула одна из ярчайших новых звезд XX века, впоследствии оказавшаяся первой магнитной новой. На ЗТШ в первую же ночь были получены спектры этой звезды. Звезда так быстро развивалась, что уже на следующий день в Японии был получен качественно иной спектр. Уникальные крымские снимки впервые позволили оценить содержание кислорода и углерода в оболочке новых звезд по абсорбционному спектру и предложить двухкомпонентную кинематическую модель оболочки (А.А. Боярчук, Т.С. Галкина, Р.Е. Гершберг, Т.М. Рачковская).

Фотометрическое изучение этой звезды в течение следующих 30 лет впервые выявило, что белый карлик этой двойной системы вращается асинхронно с орбитальным вращением и имеет место быстрая синхронизация вращений с характерным временем около 200 лет, причем синхронизация в первые 3–4 года после взрыва происходила со скоростью на два порядка большей, чем в последующие годы. В 1995–2006 годы на основании плотных наблюдений другого асинхронного поляра ВУ Жирафа впервые были найдены свидетельства существова-

ния у белого карлика этой системы сильного квадрупольного магнитного поля (Е.П. Павленко). Впервые была отождествлена в оптике во время вспышки 1992 года рентгеновская новая V518 Per, которая впоследствии оказалась тесной двойной системой, содержащей черную дыру (Е.П. Павленко, А.А. Шляпников и А. Кастро-Тирадо). У белого карлика, входящего в состав тесной двойной системы SDSS J080434.20+510349.2, впервые были обнаружены и исследованы нерадиальные колебания с основным периодом 12.6 минуты, вызванные аккрецией на белый карлик вследствие вспышки 2006 года, которая также была впервые зарегистрирована в КрАО (Е.П. Павленко).

С помощью изготовленных в КрАО звездных магнитометров А.Б. Северный, С.И. Плачинда, Е.С. Дмитриенко и В.В. Бутковская, С.И. Плачинда открыли колебания магнитных полей, синхронные со звездными пульсациями у конвективных сверхгигантов и у горячих пульсирующих звезд соответственно. С.И. Плачинда с коллегами открыл существование глобальных магнитных полей у конвективных звезд разных светимостей: от карликов до сверхгигантов. С.И. Плачинда и Т.Н. Тарасова впервые установили переменность глобального магнитного поля двух звезд солнечного типа с периодами осевого вращения. По прямым измерениям магнитного поля С.И. Плачинда впервые зарегистрировал всплывание и формирование магнитных активных областей на поверхности солнцеподобной звезды 61 Лебеда А. Он установил, что общее магнитное поле Солнца как звезды является третьей глобальной составляющей магнитного поля Солнца наряду с известными полоидальной и тороидальной составляющими.

Около 20 лет в КрАО проводилось исследование пекулярного объекта Кувано-Хонда. Когда этот объект вспыхнул, не ясно было даже, к какому типу он относится. Исследованиями в Крыму была установлена двойственность этого объекта, определена его физическая природа и эволюционный статус как предельно медленной новой звезды, проведен химический анализ атмосферы и прослежены основные этапы сброса внешних слоев, включающие формирование и распад плотной пылевой оболочки и появление признаков симбиотичности (Н.И. Бондарь, В.И. Бурнашев, Р.Е. Гершберг, Ю.С. Ефимов, В.И. Краснобабцев, П.П. Петров, И.С. Саванов, К.К. Чуваев, А.Г. Щербаков).

А.Г. Щербаков развил метод изучения хромосферной активности звезд с помощью наблюдений инфракрасной линии гелия, который позволил с единой точки зрения рассматривать некоторые процессы активности Солнца и звезд различной светимости.

Н.М. Шаховской впервые обнаружил и объяснил переменность поляризации излучения звезд разных типов и разработанные им методы исследования поляризации небесных объектов стали серьезным инструментом исследования физических процессов у переменных звезд и галактик.

Н.М. Шаховской и Ю.С. Ефимов исследовали переменность параметров оптической поляризации у многих галактик с активными ядрами и впервые обнаружили наблюдательные доказательства спиральной структуры релятивистских струй у объектов типа VL Ящерицы.

Ю.С. Ефимов открыл существенные вариации цвета и поляризации излучения звезд, связанные с формированием пылевых оболочек в околозвездном пространстве, что дало возможность прямого определения размера пылевых частиц.

В.И. и И.И. Проники, К.К. Чуваев и их коллеги накопили богатый спектральный и фотометрический наблюдательный материал по нескольким сотням активных и нормальных галактик и создали уникальный 30-летний банк данных. В.И. Проник предложил, ныне общепринятую, структурную модель газовых оболочек активных ядер как совокупность областей с разными характерными плотностями и кинематикой. И.И. Проник открыла и исследовала переменность широких эмиссионных линий в спектрах таких ядер на короткой временной шкале в месяцы и сутки. По данным многолетних пятицветных фотоэлектрических наблюдений И.И. Проник, Н.И. Меркулова и Л.П. Метик показали, что источники суточной и годичной переменности излучения ярких активных ядер различны. К.К. Чуваев исследовал

изменения спектров активных ядер галактик на временах до двух десятилетий и обнаружил обратимость перехода таких систем из состояния низкой активности с узкими спектральными линиями в состояние высокой активности с широкими линиями. Л.П. Метик, В.В. Прокофьева, И.И. Проник, К.К. Чуваев и Л.М. Шарипова нашли, что звездное население центральных областей активных галактик и галактик с перемычками моложе звездного населения нормальных галактик того же морфологического типа.

В ходе десятилетнего спектрального мониторинга активных ядер галактик В.И. Проник и С.Г. Сергеев открыли у всех изученных систем важное универсальное свойство: расщепление общей корреляции линейчатого и непрерывного излучения ядер на отдельные короткоживущие – порядка года – зависимости, что свидетельствует о пространственной или фазовой неоднородности внутренней структуры ядер. Получены конкретные результаты по структуре газового диска, ответственного за излучение широких водородных линий. С.Г. Сергеев и В.Т. Дорошенко заложили основы систематической фотометрии активных ядер галактик и исследовали внутреннюю структуру некоторых галактических ядер.

Многолетние исследования абсолютного распределения энергии в звездных спектрах В.И. Бурнашев с сотрудниками представил в виде “Сводного спектрофотометрического каталога”.

В.В. Прокофьева в начале 1990-х годов с помощью телевизионной колориметрии и фотометрии впервые обнаружила спутники у астероидов. В настоящее время под ее руководством создана и используется методика дистанционного определения размеров пятен на поверхностях безатмосферных тел Солнечной системы.

Астрофизические исследования в Лаборатории физики звезд и галактик велись и ведутся параллельно с разработкой оригинальной аппаратуры и методики наблюдений. Еще в начале 50-х годов при освоении 50-дюймового рефлектора в мастерских КрАО для него был изготовлен спектрограф, разработанный В.А. Альбицким. В.Б. Никонов заложил основы фундаментальной звездной фотометрии. Для Шайновского телескопа Г.А. Монин разработал один из первых звездных спектрографов с ЭОПом, который после замены ЭОПа на ПЗС-матрицу активно используется по сей день. И.М. Копылов и Н.В. Стешенко создали первый в стране астрономический эшелльный спектрограф, установленный в фокусе куде ЗТШ. На нескольких телескопах Лаборатории успешно работали фотоэлектрические фотометры, разработанные и изготовленные в КрАО. В.Б. Никонов и В.В. Прокофьева явились родоначальниками телевизионной астрономии, нашедшей широкое применение в КрАО и других обсерваториях при изучении слабых переменных звезд и различных тел Солнечной системы – планет, астероидов, комет, искусственных спутников Земли. Несколько звездных поляриметров для измерения поляризации излучения космических объектов от малых тел Солнечной системы до внегалактических объектов разработали Н.М. Шаховской и Ю.С. Ефимов.

С.И. Плачинда разработал и реализовал спектрополяриметр на ЗТШ для измерения слабых звездных магнитных полей. При решающем участии сотрудников Лабораторий физики звезд и галактик и экспериментальной астрофизики В.И. Проника, П.П. Петрова, А.Г. Щербакова, А.Б. Букача, Н.В. Стешенко и А.Ф. Лагутина в КрАО совместно с университетом Хельсинки был рассчитан, спроектирован и изготовлен эшелльный спектрограф СОФИН, установленный на 2.5-метровом Нордик телескопе на Канарских островах и успешно работающий уже около 15 лет.

Кроме многих сотен научных статей, опубликованных сотрудниками Лаборатории, широко известны и их монографические работы: “Атлас диффузных газовых туманностей” Г.А. Шайна и В.Ф. Газе, ряд глав и разделов Э.Р. Мустеля, А.Б. Северного и С.Б. Пикельнера в учебнике “Теоретическая астрофизика”, “Межзвездная среда” и “Основы космической электродинамики” С.Б. Пикельнера, “Вспышки красных карликовых звезд”, “Вспыхивающие звезды малых масс”, “Активность солнечного типа звезд главной последовательности” Р.Е. Гершберга, “Химический состав звезд” Л.С. Любимкова, “Запятненные звезды малых масс”

И.Ю. Алексеева; под редакцией А.А. Боярчука, В.Б. Никонова и Р.Е. Гершберга вышли три из пяти томов серии монографий “Нестационарные звезды и методы их исследования”, под редакцией В.Б. Никонова вышли два издания “Телевизионной астрономии”. Участие многих сотрудников Лаборатории физики звезд и галактик в эксперименте АСТРОН отражено в вышедшей под редакцией А.А. Боярчука монографии “Астрофизические исследования на космической станции АСТРОН”.