

**Исследования затменных двойных звезд в СССР
за период 1972 – 1975 гг.**

А.М.Черепашук

Приведен обзор работ, выполненных в СССР за период 1972 – 1975 г.г. по затменным двойным звездам. Успехи рентгеновской астрономии и достижения современной теории эволюции тесных двойных систем стимулировали резкое возрастание интереса к проблеме затменных двойных звезд за истекший период.

**Investigations of Eclipsing Binary Systems in the USSR
During the Period 1972–1975
by A.M.Cherepashchuk**

The review of investigations of eclipsing binary systems in the USSR during the period 1972 – 1975 is given. The successes of X-ray astronomy and the progress of the modern theory of evolution of close binary systems stimulated the increase of interest to the problem of eclipsing binary during the period considered.

За период 1972–75 г.г. в СССР выполнен значительный объем исследований затменных двойных звезд. Истекший период характерен резким возрастанием интереса к затменным двойным звездам. Этот интерес главным образом вызван таким выдающимся достижением современной астрофизики, как открытие компактных рентгеновских источников в тесных двойных системах. Методы и результаты исследований двойных звезд сослужили в данном случае важную службу релятивистской астрофизике при определении масс, светимостей и радиусов рентгеновских источников в составе тесных двойных систем, которые, по всей вероятности, являются аккрецирующими нейтронными звездами и, возможно, черными дырами (случай источника Лебедь X–1). Возрастание интереса к затменным двойным звездам стимулировали также успехи современной теории эволюции тесных двойных систем, которые позволяют понять многие особенности этих систем и их место в общей схеме звездной эволюции. Советские исследования внесли существенный вклад в решение вопросов, касающихся проблемы затменных двойных звезд. Это наглядно продемонстрировала Всесоюзная научная конференция "Тесные двойные звездные системы и их эволюция", состоявшаяся в мае 1974г. в Москве, в ГАИШ. Сборник трудов этой конференции выйдет из печати в конце 1975г.

1. Исследования рентгеновских источников в составе тесных двойных систем.

Оптические исследования рентгеновских двойных систем в СССР начались по инициативе Д.Я.Мартынова, который сообщил на Крымскую станцию ГАИШ сведения о звезде V1357 Лебеда сразу после отождествления ее с рентгеновским источником Лебедь X-1. Работы по отождествлению рентгеновских источников с оптическими двойными звездами были стимулированы И.С.Шкловским, который указал, что совпадение периодов и фаз рентгеновских и оптических изменений блеска доказывает достоверность идентификации (I.S.Shklovsky, A.M.Cherepashchuk, Yu.N.Efremov, Nature 236, 448, 1972). Исследование рентгеновских двойных систем стимулировали также работы И.С.Шкловского о природе источника Скорпион X-1, а также работы Я.Б.Зельдовича и его школы по теории аккреции вещества релятивистскими объектами. Эти работы появились задолго до "эпохи УХУРУ" и эффективно содействовали пониманию природы рентгеновских источников в составе тесных двойных систем.

В.М.Лютый (АЦ № 675; ПЗ 18, 417, 1972) открыл оптическую переменность звезды V1357 Лебеда, отождествленной с рентгеновским источником Лебедь X-1 — "кандидатом №1" в черные дыры. Н.Е.Курочкин (Circ. IAU № 2436, 1972; АЦ № 717, 1972) независимо от J.N. Bahcall, N.A. Bahcall и одновременно с ними отождествил двойную рентгеновскую систему Her X-1 с оптической переменной звездой NZ Her. Период и фаза оптических изменений блеска совпадают с рентгеновскими. А.М.Черепашук, Ю.Н.Ефремов, Н.Е.Курочкин, Н.И.Шакура, Р.А.Сюняев (IBVS № 720, 1972) независимо от J.N. Bahcall, N.A. Bahcall и одновременно с ними интерпретировали оптическую переменность NZ Her как эффект переработки рентгеновского излучения компактного объекта в фотосфере оптической звезды. В.М.Лютый, Р.А.Сюняев, А.М.Черепашук (АЖ 50, 3, 1973) впервые интерпретировали оптическую переменность V1357 Лебеда как эффект эллипсоидальности оптической звезды — сверхгиганта В0Ib, что позволило им оценить массу рентгеновского компаньона Лебедь X-1 $M_x > 5.6 M_\odot$. В этой работе авторы развили интерпретацию оптических изменений блеска NZ Her как эффект отражения и показали, что оптическая звезда в этой системе — субгигант, а отношение масс $M_v/M_x > 2$. Кроме того, в этой работе была заподозрена зависимость формы кривой блеска NZ Her от фазы 35-дневного периода (первые указания на возможность такой зависимости содержатся в работе А.М.Черепашука, Ю.Н.Ефремова, Н.Е.Курочкина, Н.И.Шакуры, Р.А.Сюняева, IBVS № 720, 1972). В дальнейшем эффекты эллипсоидальности и отражения были обнаружены у большинства рентгеновских двойных систем, эти эффекты стали весьма эффективным средством при идентификации рентгеновских двойных систем с оптическими системами и при исследовании характеристик рентгеновских источников. В.М.Лютый, В.И.Мороз, Г.С.Хромов (АЦ № 675, 1972) исследовали распределение энергии в спектре V1357 Лебеда в диапазоне $\lambda 3600 - 22000 \text{ \AA}$. Объект подобен ранней звезде В-А при полном межзвездном поглощении $A_v = 2.5 - 3. m^5$. Г.В.Зайцева и Е.А.Колотилова (АЦ № 675) исследовали линейчатый спектр V1357 Лебеда, в H_α

Колотиловым найдена переменная эмиссия. И.Н.Глушнев, В.Т.Дорошенко, Т.Фетисова (АЦ №675; АЖ 51, 526, 1974) исследовали абсолютное распределение энергии в спектрах V1357 Лебеда и X Персея. В.М.Лютый, Р.А.Сюняев, А.М.Черепашук (АЖ 51, 1150, 1974) обнаружили плато в главном минимуме блеска NZ Her длительностью ~ 2 часа, что свидетельствует о полном затмении оптического яркого объекта, расположенного около нейтронной звезды (по-видимому, это диск из аккрецирующего вещества). Показатели цвета для излучения всего диска равны: $U-V = -1^m$, $B-V = 0^m$. В минимуме блеска NZ Her имеет недостаток ультрафиолета в $0^m.2$ по сравнению со звездами главной последовательности. Для V1357 Лебеда отмечается различная глубина и ширина минимумов блеска в фазах 0 и 0P.5 и сильная иррегулярная переменность блеска. По амплитуде регулярной переменности ($0^m.06$) и отсутствию затмений сделан вывод, что видимая звезда заполняет более $2/3$ своей полости Роша. Использование расчетов атмосферы сверхгиганта B0Ib показано, что светимость видимой звезды не превышает $2.7 \cdot 10^{37}$ М/М_☉ эрг/сек. На основе этого результата показано, без каких-либо предположений об угле наклона орбиты, расстоянии до системы и массе видимой компоненты, что масса предполагаемой черной дыры Лебедь X-1 превышает $3.1 M_{\odot}$ (независимо от предположения о заполнении полости Роша видимой звездой). Расстояние до системы не превышает 2 кпс. А.М.Черепашук (АЖ 52, 883, 1975) показал, что вокруг нейтронной звезды в системе NZ Her существует протяженное оптическое образование, проявляющее себя как в излучении, так и в поглощении. Радиус этого образования, которое, по-видимому, является аккрецирующим образованием, составляет $3 \div 4 R_{\odot}$, оптическая светимость $\sim 10^{35}$ эрг/сек. Это образование существует во всех фазах 35-дневного цикла. Н.Е.Курочкин (IBVS № 753, 1973; ПЗ 18, 425, 1972) открыл проявление 35-дневного цикла рентгеновского излучения на оптических изменениях блеска NZ Her. О.Е.Мандель (АЦ №768, 1973) подтвердил обнаруженное Венцелем и Гесснером (IBVS №733, 1972) существование вторичного минимума на фотографической кривой блеска NZ Her. Ю.Н.Ефремов, Р.А.Сюняев, А.М.Черепашук (ПЗ 19, 407, 1974) провели поиск звезд типа NZ Her среди звезд, входящих в Общий Каталог Переменных Звезд. За исключением V1341 Лебеда, отождествленной с рентгеновским источником Лебедь X-2, ни одну из рассмотренных звезд нельзя с уверенностью отнести к типу NZ Her. В системе 2U1700-37, по-видимому, наблюдается отражение рентгеновского излучения. Отмечена возможность поиска нейтронных звезд и черных дыр по эллипсоидальным изменениям блеска. А.М.Черепашук, В.М.Коваленко, О.Н.Коваленко, А.В.Мионов (ПЗ 19, 305, 1974) выполнили UVV-фотометрию NZ Her и V1357 Лебеда. Х.Ф.Халиуллин (Письма в АЖ 1, 30, №3, 1975) выполнил UVV-фотометрию V1357 Лебеда. Н.Е.Курочкин (Письма в АЖ 1, 27, №7, 1975) обнаружил в оптическом излучении NZ Her периодическую составляющую с периодом $1^d.0977$. Выделены также периоды $0^d.87$ и $1^d.62$. О.С.Шулов, Е.Н.Копатская (Астрофизика 8, 621, 1972; 10, 120, 1974) исследовали круговую поляризацию объектов Скорпион X-1 и Лебедь X-1 и обнаружили круговую поляризацию, возрастающую в красную область спектра.

1977PZ 20 481C

А.Б.Северный, В.М.Кувшинов (АрJ 200, 13, 1975) исследовали круговую поляризацию объектов Скорпион X-1, Лебедь X-1, 3C 273. Обнаружена переменная поляризация. В.М.Лютый (Circ. IAU №2692, 1974) заподозрил периодическую составляющую в изменениях лучевых скоростей V1341 Лебеда (Лебедь X-2) с периодом $0^d.251451$. Б.М.Владимирский, А.М.Гальпер, В.Г.Кириллов-Угрюмов, А.В.Курочкин, Б.И.Лучков, Ю.И.Нешпор, А.А.Степанян, В.П.Фомин, Ю.Т.Юркин (Письма в АЖ 1, 25, №7, 1975) обнаружили переменное гамма-излучение от рентгеновского источника Лебедь X-3, которое имеет период 4.8 часа, совпадающий с периодом в рентгеновском и ИК-диапазонах. П.Р.Амнуэль, О.Х.Гусейнов (ПЗ 19,19, 1973) не обнаружили корреляции между дискретными галактическими рентгеновскими источниками и двойными звездами. Н.Г.Бочкарев, Е.А.Карицкая, Н.И.Шакура (Письма в АЖ 1, 12, №6, 1975) получили оценки масс рентгеновских источников Лебедь X-1 и Центавр X-3 из анализа эллипсоидальных изменений блеска с привлечением информации о длительности рентгеновского затмения (для источника Центавр X-3). Г.К.Ковальчук, Ф.И.Лукацкая (АЖ 50, 1174, 1973) получили автокорреляционные функции блеска Скорпиона X-1. Изменения блеска Скорпиона X-1 — чисто случайный процесс. А.Н.Абраменко, О.П.Голладский, В.В.Прокофьева (Изв. КРАО 49, 89, 1974) разработали методику телевизионных наблюдений ультракороткопериодических источников оптического излучения. О.Х.Гусейнов, Х.И.Новрузова, Ш.Ю.Рахамимов (АЖ 51, 782, 1974) осуществили поиск следов невидимых компонент в ряде двойных систем и указали, что система $61 \omega \text{ Eri}$ наиболее перспективна для поиска черной дыры. В.М.Лютый, Р.А.Сюняев, Н.И.Шакура (АЖ 51, 905, 1974) высказали гипотезу, что Скорпион X-1 — двойная система с периодом $3^d.931$. А.И.Пыган (АЖ 51, 1339, 1974) высказал гипотезу, что пульсар в крабовидной туманности входит в двойную систему. Д.К.Каримова, К.В.Куимов, Е.Д.Павловская (АЦ №883, 1975) исследовали собственное движение Суг X-1. Галактическая орбита Суг X-1 типична для представителей плоской составляющей. В.М.Григоревский исследовал на периодичность блеск Скорпиона X-1 и не обнаружил однозначного периода. Возможны 4 значения: $7^d.51565$, $3^d.80769$, $0^d.79260$, $0^d.47244$. Н.И.Шакура (АЖ 49, 921, 1972) впервые предложил модель дисковой аккреции газа релятивистским объектом в тесной двойной системе. Н.И.Шакура, Р.А.Сюняев (Astron. Aph. 24, 337, 1973) разработали теорию дисковой аккреции вещества в тесной двойной системе на релятивистский объект. Эти работы получили популярность в связи с открытием двойных релятивистских рентгеновских систем. Н.Г.Бочкарев, Н.И.Шакура (АЦ №853, 1975) предложили метод определения масс рентгеновских источников по длительности рентгеновского затмения в двойной системе и амплитуде регулярной оптической переменности. М.М.Баско, Р.А.Сюняев (Aph. Sp. Sci. 23, 71, 1973) разработали теорию взаимодействия излучения рентгеновского источника с атмосферой нормальной звезды в тесной двойной системе. М.М.Баско, Р.А.Сюняев, Л.Ж.Титарчук (Astron. Aph. 31, 249, 1974) развили теорию отражения и переработки рентгеновских лучей в атмосфере нормальной звезды в двойной системе. А.Ф.Илларионов, Р.А.Сюняев (Astron. Aph. 39, 185, 1975) показали, что рентгеновское излучение при дисковой аккреции в двойной

системе возникает лишь в том случае, если оптическая звезда заполняет большую часть своей полости Роша. Л.И.Снежко (Сооб. САО 6, 3, 1972) показал, что обмен масс в двойной системе и связанная с этим обменом убыль массы проэволюционировавшей звезды в ряде случаев не мешает образованию черной дыры. Л.А.Пустильник, Е.Ф.Шварцман (Symp. IAU №64, p.213, 1974) показали, что аккреция в двойной системе на релятивистские объекты должна быть магнитной и носить клочковатый характер. Ю.Н.Гнедин, Р.А.Сюняев (Astron. Aph. 25, 233, 1974) разработали теорию формирования диаграммы направленности рентгеновского пульсара при аккреции вещества в двойной системе на нейтронную звезду с магнитным полем. Г.С.Бисноватый-Коган (АЖ 50, 902, 1973) показал, что диаграмма направленности рентгеновского пульсара в двойной системе должна быть карандашной из-за анизотропии в распределении по импульсам электронов в сильных магнитных полях на магнитных полюсах нейтронной звезды. А.Ф.Илларионов, Р.А.Сюняев (Письма в АЖ 1, 11, 1975) отметили, что в разделенных двойных звездах мал удельный момент вещества, захватываемого черной дырой. Поэтому здесь не образуется диска и рентгеновского излучения. Однако флуктуации скорости и плотности звездного ветра могут приводить к кратковременному образованию диска и переменному рентгеновскому излучению. Г.С.Бисноватый-Коган, Б.В.Комберг (АЦ №784, 1973) по наблюдаемому ускорению вращения рентгеновского пульсара Her X-1 оценили магнитное поле нейтронной звезды. Г.С.Бисноватый-Коган, Б.В.Комберг (АЖ 52, 457, 1975) построили модель рентгеновской двойной системы Her X-1, основанную на идее о том, что оптическая звезда обладает сильным магнитным полем, и истечение вещества с нее происходит в основном с магнитных полюсов в виде струй. Движение нейтронной звезды относительно струй происходит из-за несинхронности осевого и орбитального вращения оптической звезды. Г.С.Бисноватый-Коган, Б.В.Комберг (АЦ №757, 1973) высказали гипотезу, что оптическая звезда в системе NZ Her — переменная типа RR Лиры. А.З.Долгинов, Ю.Н.Гнедин, Н.А.Силантьев (Aph.Lett. 13, 85, 1973) рассмотрели задачу о поляризации оптического излучения в магнитном поле рентгеновских звезд. И.С.Шкловский (АЖ 50, 233, 1973) показал, что картина рентгеновского излучения и 35-дневный цикл Her X-1 объясняются анизотропным механизмом излучения нейтронной звезды с ножевой диаграммой направленности. И.Д.Новиков (АЖ 50, 459, 1973) объяснил 35-дневный цикл рентгеновского излучения Her X-1 свободной прецессией деформированной нейтронной звезды. И.С.Шкловский (АЦ № 763, 1973) выдвинул гипотезу, что высокая галактическая широта NZ Her вызвана эффектом отдачи при асферическом взрыве сверхновой в двойной системе. В.А.Брумберг, Я.Б.Зельдович, И.Д.Новиков, Н.И.Шакура (Письма в АЖ 1, 5, 1975) предложили метод определения масс компонент и наклона орбиты в двойной системе, содержащей пульсар, по релятивистским эффектам. Л.М.Озерной, М.Рейнгардт (Письма в АЖ 1, 16, 1975) рассмотрели различные геометрические и физические ограничения на параметры двойной системы с радиопулсаром PSR 1913+16. С.А.Каплан, Ф.К.Лемб, Д.Пайнс, К.Дж.Петтик, В.П.Цы-

тович (АЖ 52, 64, 1975) рассмотрели роль плазменной турбулентности в излучении аккрецирующего газа. Плазменная турбулентность увеличивает КПД аккреции, ускоряет электроны до ультрарелятивистских энергий. Г.С.Бисноватый-Коган, Б.В.Комберг (АЖ 51, 373, 1974) рассмотрели проблему радиопульсаров в двойных системах. Высказана гипотеза, что причиной отсутствия радиопульсаров в двойных системах является затухание магнитного поля нейтронной звезды при аккреции на нее вещества. В 1974 г. вышла из печати монография "Явления нестационарности и звездная эволюция", "Наука", М., в которой, в частности, имеются главы: М.А.Свечников, Л.И.Снежко, "Характеристики и эволюция тесных двойных систем", А.М.Черепащук, "Звезды Вольфа-Райе в тесных двойных системах", С.В.Рублев, А.М.Черепащук, "Некоторые замечания об эволюции звезд Вольфа-Райе", Р.А.Сюняев, Н.И.Шакура, "Рентгеновские источники в двойных системах".

2. Исследования тесных двойных систем с оптическими компонентами.

1. Наблюдения.

В.Г.Каретников (АЖ 49, 1188, 1972) исследовал RZ Sct с низкодисперсными спектрограммами. Т.М.Рачковская (Изв. КРАО 46, 35, 1972; 48, 23, 1973; 50, 106, 1974; 52, 35, 1974) выполнила спектрофотометрическое исследование, определила спектральные классы, абсолютные звездные величины, скорости вращения и ряд других характеристик следующих систем: EM Ser, Z Vul, IM Mon, λ Tau, RS Vul, V822 Aq1, USge, RX Her, EE Peg, CC Cas, RZ Cas, RR Lyn. М.Б.Бабаев (ПЗ 18, 389, 1972, Цирк. ШАО № 35, 1974; ПЗ 19, 377, 1974) выполнил спектрофотометрическое исследование V566 Oph, AR Lac, исследовал быструю переменность в спектре AR Lac. Эта работа представляет значительный интерес в связи с открытием в последнее время переменного радиоизлучения от AR Lac. М.Б.Бабаев, С.М.Азимов (Изв. АН АзССР №4, 104, 1974) выполнили исследование непрерывного спектра UV Vir. М.И.Кумсишвили (АЦ №791, 1973) выполнила фотоэлектрическое исследование X Tri. В.Г.Каретников, С.М.Перекрестный (Пробл. Космич. Физ. №8, 159, 1973) провели спектрофотометрическое исследование V367 Лебедя. И.Пустыльник, В.Малута (Публ. Тарт.АО 41, 165, 1973) выполнили фотоэлектрические наблюдения AO Cas. Т.А.Карташева (ПЗ 18, 459, 1972) провела трехцветные фотоэлектрические наблюдения SQ Ser. Н.Л.Магалашвили, Я.И.Кумсишвили (Бюлл. Абаст. Астроф. Obs. №45, 37, 1974) выполнили электрофотометрические наблюдения 32 Лебедя, а также SU Тельца (Бюлл. Абаст. Астрофизич. Obs. №45, 45, 1974). Д.Я.Мартынов (Сообщ. ГАИШ №185, 1973) опубликовал фотоэлектрические наблюдения HS Her и RU Mon. В.А.Ощепков (Бюлл. Абаст. Астрофизич. Obs. № 45, 51, 1974) обнаружил переменную собственную поляризацию YY Eri. Л.Соргсепп, Х.Албо (Публ. Тарт. АО 42, 103, 1974) выполнили фотоэлектрические наблюдения VW Ser. Х.Албо,

Л.Соргсепп (Публ. Тарт. АО 42, 166, 1974) выполнили фотоэлектрические наблюдения ϵ Возничего вне затмений. А.М.Черепашук, Х.Ф.Халиуллин (ПЗ 18, 321, 1972; АЖ 50, 516, 1973; АЦ №680, 1972) выполнили пятицветные узкополосные фотоэлектрические наблюдения V444 Лебеда в континууме ($\lambda\lambda$ 4244–7512). А.М.Черепашук, В.М.Лютый, Х.Ф.Халиуллин (АЖ 50, 1105, 1973) сконструировали узкополосный электрофотометр на счете фотонов с интерференционными клиновыми фильтрами, позволяющий плавно перестраивать рабочую длину волны. А.М.Черепашук (Астрофизика 11, 49, 1975) выполнил фотоэлектрические узкополосные наблюдения CV Ser в эмиссионных линиях CII–CIV, NIII 4653, HeII, H $_{\alpha}$ 6563 и континууме. А.М.Черепашук (АЖ 52, 255, 1975) выполнил узкополосные фотоэлектрические наблюдения спектрально-двойных звезд типа Вольфа-Райе: HD 211853, 190918, 192641 в эмиссионных линиях HeII 4686, CII, CIV, NIII 4653 и континууме. Х.Ф.Халиуллин, А.М.Черепашук (ПЗ 20, №1, 1975) выполнили узкополосные фотоэлектрические наблюдения V444 Лебеда в эмиссионных линиях HeI 4686, HeII, H $_{\alpha}$ 6563, NIV 7112. М.Ю.Скульский (АЦ №707, 1972) предложил модель системы β Лиры как тройной системы, выполнил количественный анализ спектра β Лиры (Изв. КраО 45, 135, 1972; ПЗ 18, 609, 1973), отождествил следы линий второй компоненты (АЦ №741, 1972; АЖ 52, 710, 1975), привел наблюдательные свидетельства в пользу существования и вращения диска вокруг второй компоненты (АЦ №765, 1973; №766, 1973; №769, 1973; №827, 1974). Масса яркой компоненты (B9) $3.8M_{\odot}$, масса слабой компоненты $14.6M_{\odot}$. В.Я.Алдусева (ПЗ 18, 595, 1973) определила температуру второй компоненты системы β Лиры $6000-6500^{\circ}\text{K}$, исследовала гравитационное потемнение в системе (АЖ 50, 975, 1973), обнаружила и интерпретировала долгопериодические изменения в системе (АЖ 51, 403, 1974). А.Н.Дадаев (АЦ №839, 1974) выполнил спектроскопическое исследование β Лиры. В.П.Цесевич (АЦ №882, 1975) показал, что CX Ser является затменной и, возможно, бывшей новой. С.Ю.Шугаров (АЦ №887) заподозрил AN UMa как бывшую новую.

2. Методы решения кривых блеска затменных систем звезд с тонкими атмосферами.

М.И.Лавров (Изв. Астрон. Obs. им. Энгельгардта №38, 533, 1972; Труды Гор. Каз. Obs. №39, 52, 1973, ПЗ 18, 343, 1972, ПЗ 18, 529, 1973) рассмотрел методы машинного анализа кривых блеска на малых ЭВМ. Рассмотрены обратные методы, прямой метод, в том числе для модели "шар-эллипсоид" и для нелинейного закона потемнения. Им предложен новый метод вычисления функции $a(k, p)$, дано обобщение этого метода на случай модели "шар-эллипсоид" (АЦ №677, 1972). М.И.Лавров, Н.В.Лаврова (АЦ №881, 1975) провели ревизию элементов фотометрической орбиты TVCas. В.М.Табачник (АЖ 49, 544, 1972) развил метод решения кривой блеска, применив обобщенный метод наименьших квадратов. А.М.Шульберг, В.П.Мурникова (АЦ №835, 1974) предложили метод вычисления ошибок решения при определении элементов затменных переменных методом Рессела-Меррилла. Д.Я.Мартынов, М.И.Лавров (ПЗ 18, 269, 1972) определили абсолютные размеры системы NS Her. Д.Я.Мартынов (АЖ 51, 107, 1974) определил новые фотометрические элементы орбиты системы RU Mon с вращающейся линией апсид. Проб-

лема определения элементов орбиты без предварительной ректификации кривой блеска рассматривалась И.Б.Пустыльниковом (Post.Astron. 22, 171, 1974; 22, 329, 1974), который указал, что применение теории Фон Цейпеля ко внешним слоям звездной атмосферы необосновано. И.Б.Пустыльников вывел новую формулу, описывающую распределение интегрального лучистого потока по поверхности несферической звезды. А.М.Шульберг (АЖ 50, 981, 1973) рассчитал таблицы фотометрических фаз при нелинейном потемнении для покрытия и прохождения. Нелинейность потемнения к краю при современной точности наблюдений вряд ли возможно определить из кривой блеска. И.Е.Лендерман (ПЗ 19, 97, 1973) развила экспрессный метод В.П.Цесевича (Пробл. Космич. Физ. 2, 13, 1967) с учетом потемнения к краю, вычислила соответствующие таблицы, облегчающие пользование методом. М.Е.Чудновский, А.М.Шульберг (АП №754, 1973) выполнили сравнение теоретических и эмпирических коэффициентов потемнения к краю. Отличие физических коэффициентов потемнения от наблюдаемых коэффициентов меньше, чем математических. Эффекты близости компонент рассматривались в следующих работах. В.П.Мерёжин (АП №695, 1973; Тр. Каз. Гор. Астр.Обс. 39, 29, 1973) рассмотрел монохроматический эффект фазы в затменных переменных типа Алголя. Учет несферичности компонент улучшает согласие теории с наблюдениями. И.Б.Пустыльников, Л.Томасон (ПЗ 19, 279, 1973) рассмотрели эффект отражения в линиях.

3. Методы решения кривых блеска затменных систем звезд с протяженными атмосферами.

А.М.Черепашук, А.В.Гончарский, А.Г.Ягола (АЖ 49, 533, 1972) определили структуру стратификации излучения в различных эмиссионных линиях в оболочке затменно-двойной звезды типа Вольфа-Райе V444 Лебедя. Для ионов с потенциалами ионизации более 60 э-в оболочка подобна малой планетарной туманности. Х.Ф.Халиуллин (АЖ 49, 777, 1972) получил узкополосные фотозлектрические кривые блеска CQ Сер в эмиссионных линиях HeII 4686 и HeII, H α 6563 и континууме. Им предложена интерпретация аномального поведения с фазой интенсивностей эмиссионных линий в этой системе, основанная на идее о том, что система CQ Сер обладает общей селективно поглощающей оболочкой. Т.А.Карташева (Изв. САО 11, 1974) определила элементы орбиты системы CQ Сер, разделив кривую блеска на "звездную" и "оболочечную". А.М.Черепашук, А.В.Гончарский, А.Г.Ягола (ПЗ 18, 535, 1973, АЖ 51, 776, 1974) опубликовали алгоритм и программу для ЭВМ решения кривой блеска затменной системы с протяженной атмосферой новым методом, основанным на решении обоих минимумов кривой блеска и предположении, что структура диска пекулярной компоненты описывается произвольной монотонной неотрицательной функцией. А.М.Черепашук (АЖ 50, 879, 1973; 51, 542, 1974; ПЗ 19, 227, 1973) опубликовал подробное изложение нового метода решения кривой блеска, который является прямым, т.е. решение выбирается только по минимуму невязки между теоретической и наблюдаемой кривыми блес-

ка. Единственное модельное предположение в методе — сферичность компонент. А.М.Черепашук (АЦ №739, 1972; АЖ 52, 81, 1975) с помощью нового метода определил фотометрические элементы орбиты V444 Лебеда. Радиус ядра звезды Вольфа-Райе $2.2-2.6 R_{\odot}$, истечение в оболочке ускоренное. Звезда Вольфа-Райе — гелиевая звезда на конечной стадии эволюции после стадии главной последовательности. А.М.Черепашук, Х.Ф.Халиуллин (АЦ №739, 1972; АЖ 52, №6, 1975) восстановили структуру оболочки звезды Вольфа-Райе в двойной системе V444 Лебеда, используя свои многоцветные узкополосные наблюдения в континууме $\lambda\lambda 4244-7512$. Температура поверхности ядра звезды Вольфа-Райе превышает $70000-100000^{\circ}$; истечение в оболочке ускоренное; радиус "тела" (ядра) звезды Вольфа-Райе $\sim 2.6 R_{\odot}$, болометрическая светимость близка к эддингтоновской критической; для атмосферы звезды Вольфа-Райе наиболее приемлема модель Билса.

4. Движение линии апсид.

Д.Я.Мартынов (АЖ 51, 107, 1974) опубликовал новые данные по RU Единорога. Период обращения испытал дальнейшее сокращение, уменьшилась светимость компонент, подтвержден период поворота линии апсид около 285 лет. Д.Я.Мартынов, М.И.Лавров (ПЗ 18, 269, 1972) заподозрили вращение линии апсид в системе HS Her с периодом $110-130$ лет. М.И.Лавров, Н.В.Лаврова (АЦ №756, 1973) рассмотрели возможность поворота линии апсид в системе XX Ser. Эта возможность не проходит. Скорее всего, причиной цикличности в изменениях периода является световое уравнение, хотя третье тело в системе фотометрически себя не проявляет.

5. Моменты минимумов.

Моменты минимумов определялись в следующих работах: В.П.Цесевич (АЦ №698, 1972), В.П.Цесевич, В.Г.Каретников (АЦ №757, 1973), Г.В.Зайцева, В.М.Лютый, Н.Б.Перова, А.С.Шаров (АЦ №878, 1975), Л.П.Суркова (АЦ №882, 1975).

6. Изменения периода.

М.А.Свечников, Л.П.Суркова, В.М.Данилов (ПЗ 18, 273, 1972) исследовали изменения периодов систем U Ser и RZ Cas; потеря массы $\sim 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$. М.А.Свечников, Л.П.Суркова (ПЗ 18, 261, 1973; ПЗ 18, 571, 1973) исследовали изменения периодов ST Per, WUMa, i Boo, потеря массы $\sim 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$. Н.Е.Курочкин (АЦ №688, 1972; №713, 1972) исследовал периоды U Ser, XZ And. Л.П.Суркова (ПЗ 18, 589, 1973) вывела зависимость изменения периода от угла приливного запаздывания компонент. Для пар с конвективными оболочками запаздывание прилива по фазе может объяснить наблюдаемые изменения периода. В.В.Радзиевский, Л.П.Суркова (АЖ 50, 1200, 1973) рассмотрели эволюцию орбитальных элементов в двойной системе в модели двух тел переменной массы. З.Ф.Сеидов (ВАС 23, 123, 1972) произвел расчет элементов орбиты двойной звезды после быстрой потери массы. М.И.Лавров, Н.В.Лаврова (Тр. Каз. Гор. Астр. Obs. 39, 83, 1973) ис-

следовали изменения периода XX Сер. Х.Ф.Халиуллин (АЖ 51, 395, 1974) обнаружил изменение периода V444 Лебеда 0.22 сек/год; поток массы с поверхности звезды Вольфа-Райе $10^{-5} M_{\odot}$ /год. Это наиболее надежная оценка потери массы звездой Вольфа-Райе.

7. Статистические исследования.

Л.Ф.Истомин, М.А.Свечников (АП №693, 1972) построили зависимость "цвет-радиус" для звезд типа WUMa и указали на возможность оценивать их абсолютные элементы по фотометрическим данным. М.Ю.Волянская (Астрометрия и Астрофизика №15, 96, 1972) опубликовала собственные движения 122 затменных переменных, а также средние параллаксы и абсолютные звездные величины затменных переменных (ПЗ 18, 511, 1972). М.А.Свечников (ПЗ 18, 525, 1973) оценил суммарную потерю массы тесными двойными системами. Э.Ф.Бражникова, М.М.Дадаев, В.В.Радзиевский (АЖ 52, 546, 1975) исследовали ориентацию линий апсид спектрально-двойных звезд по каталогам Бечваржа и Бэттена. Установлена преимущественная ориентация за картинной плоскостью периастров звезд с периодами более 20 дней и отрицательными лучевыми скоростями. Обнаружено наличие галактической ориентации линий апсид этих звезд. Дана интерпретация этого эффекта как результата взаимодействия звезд с межзвездной средой.

3. Исследования эволюции и динамики затменных двойных звезд.

Л.Р.Юнгельсон (АЖ 49, 1059, 1972) рассчитал эволюцию двойных систем с потерей массы из системы. Для данного отношения масс избытки светимости и периоды меньше, чем в случае сохраняющейся массы системы, и лучше согласуются с наблюдениями. Доля вещества, покидающего систему, составляет 20–50% от массы, потерянной главной компонентой. А.В.Тутуков, Л.Р.Юнгельсон (Научные информации Астросовета АН СССР 27, 1973) рассчитали эволюцию тесных двойных систем звезд большой массы. Учет потери вещества и углового момента улучшает согласие теории с наблюдениями. Рассмотрена возможность образования звезд Вольфа-Райе в тесных двойных системах. Учет "собственной" потери массы гелиевого остатка увеличивает его эффективную температуру до $\sim 10^5$ град. Рассмотрена эволюция двойной системы вплоть до конечной конфигурации из двух релятивистских объектов. Исследована эволюция вторичных компонент двойных систем. Е.М.Дробышевский, Б.И.Резников (Acta Astr. 24, 189, 1974) рассчитали эволюцию магнитных двойных звезд с потерей массы и учетом магнитного поля. М.Кумсиашвили, Л.Юнгельсон (Научные информации Астросовета АН СССР 23, 74, 1972) исследовали эволюционную стадию V448 Лебеда. Т.Галкина, Ж.Родионова, Л.Юнгельсон (Научные информации Астросовета АН СССР 23, 82, 1972) исследовали эволюционную стадию AO Cas, HD 47129, α Vir, HD 190918, HD 193793. Д.Я.Мартынов (УФН 108, 701, 1972) опубликовал обзор проблемы тесных двойных систем. Современные расчеты эволюции тесных двойных систем с обменом масс позволяют понять многие особенности компонент тесных двойных систем, в частности, значитель-

ные избытки светимости субгигантов, звезды Вольфа-Райе, белые карлики и релятивистские объекты в соседстве со звездами главной последовательности. Обзор современного состояния теории эволюции двойных звезд и статистический материал по двойным звездам опубликован в монографии "Явления нестационарности и звездная эволюция", "Наука", М., 1974 — глава V, написанная М.А.Свечниковым и Л.И.Слежко.

А.З.Долгинов (АЖ 51, 388, 1974) рассмотрел генерацию магнитного поля в двойной системе приливными потоками во вращающихся несинхронно компонентах, когда оси вращения наклонены к орбитальной плоскости на угол, отличный от 90° . Винтовая симметрия приливных течений в этом случае благоприятствует формированию и усилению магнитного поля. Ю.Н.Гнедин, Н.А.Силантьев (Письма в АЖ 1, 17, 1975) рассмотрели поляризацию излучения в тесной двойной системе с рентгеновским источником. Излучение становится линейно поляризованным в результате рассеяния на электронах горячего пятна и дискообразной оболочке вокруг рентгеновского источника. Ю.Н.Гнедин, Н.А.Силантьев (АП №851, 1974) рассмотрели поляризационные эффекты источника Sco X-1. Е.М.Дробышевский (Symp. IAU №66, 206, 1974) интерпретировал аномалии содержания химических элементов в Ар-звездах как результат эволюции магнитной двойной звезды с очень большим периодом. Е.М.Дробышевский (Astron. Aph. 36, 409, 1974) предложил гипотезу происхождения тесных двойных звезд. В протозвезде, обладающей дифференциальным вращением, вследствие переноса момента вращения наружу, создается неустойчивость, отрыв материи и образование кольца, из которого образуется второй компонент, масса его продолжает расти в дальнейшем. Ю.Г.Хабазин (АЖ 52, 57, 1975) показал, что если взрыв сверхновой в двойной системе близок к сферической симметрии, то орбиты после вспышки близки к круговым, поскольку взрывается менее массивная компонента. Полученные эксцентриситеты орбит близки к наблюдаемым у рентгеновских двойных систем. В.Г.Горбацкий (АЖ 49, 42, 1972; АЖ 50, 19, 1973) рассмотрел проблему формирования корональных линий в спектрах Новых. Корональные линии формируются в ударной волне, движущейся в околозвездной оболочке. Исследована кинетика процессов в нагретом ударной волной газе. В.Г.Горбацкий (Письма в АЖ 1, 23, 1975) предложил модель вспышки звезды типа U Блинецов. Вспышка — следствие энергетической неустойчивости спутника. Возрастание блеска спутника сопровождается значительным возрастанием потока вещества, втекающего в дискообразную оболочку главной звезды, в результате чего излучение диска, и особенно его центральных частей, оказывается преобладающим в максимуме блеска. В.Г.Горбацкий (АП №707, 1972) предложил модель системы βЛир, интерпретировал короткопериодические колебания блеска бывших Новых и новоподобных звезд в рамках теории В.И.Таранова, как результат колебания фронта стоячей ударной волны (ПЗ 18, 521, 1973). В.Г.Горбацкий опубликовал монографию "Новые и новоподобные звезды", "Наука", М., в которой собрано большое число исследований, особенно теоретических, значительная часть которых принадлежит автору и его ученикам. В.И.Таранов (Астрофизика 8, 567, 1972) рассмотрел проблему образования ударных волн в газовых пото-

ках в тесных двойных системах звезд — карликов. Предложено объяснение быстрых колебаний блеска таких систем как результат колебания фронта стоячей ударной волны в газовом потоке при столкновении его с дискообразной оболочкой. Л.Н.Иванов (Вестник ЛГУ №13, 125, 1972) рассмотрел нестационарную конвекцию в звезде — компоненте двойной системы. Получен важный вывод о возможности вековой неустойчивости конвективного потока энергии в периодически меняющемся поле тяжести. Ю.П.Коровяковский (Изв. САО 4, 115, 1972; 7, 27, 1975) применил теорию динамических приливов к двойным системам и показал, что истечение из звезды, вращающейся несинхронно с орбитальным обращением, может происходить даже в том случае, если звезда не полностью заполняет свою полость Роша. Ю.П.Коровяковский, Ю.В.Сухарев (Изв. САО 7, 19, 1975) рассмотрели в терминах газодинамики движение газа в системе V444 Лебеда с учетом лучевого давления как от звезды Вольфа-Райе, так и от спутника. При больших скоростях истечения оболочка остается квазисферичной до расстояний, больших половины радиуса орбиты. "Transit — time effect" пренебрежимо мал.

Государственный Астрономический
институт им. П.К.Штернберга,
Москва.

Поступила в редакцию
16 декабря, 1975 г.

Заказ № 94

Тираж 500 экз.

Типография Астросовета Академии Наук СССР
Москва, ул. Пятницкая, д. 48.



Борис Васильевич Кукаркин

(1909 – 1977)