

Отчет по НИР

«Комплексные исследования нестационарных звезд с газо-пылевыми оболочками в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра»

за период 1 января - 31 декабря 2023 г

Номер договора: госзадание ГАИШ 3.6

Номер ЦИТИС: АААА-А20-120012990067-3

Руководитель: Ламзин С.А.

Участники НИР в 2023 г.: Додин А.В., Корнилова Л.Н., Кравцова А.С., Пахомов Ю.В., Столяров А.В., Татарникова А.А., Шенаврин В.И.

Выполнен цикл исследований по программе изучения звезд разных типов с газо-пылевыми оболочками, включая звезды Вольфа-Райе, мириды, симбиотические мириды, новые звезды, звезды post-AGB и молодые звезды типа Тельца. Основа – многолетние ряды оптической и ИК (JHKLM) фотометрии, а также поляриметрические, спекл-интерферометрические и спектральные наблюдения. Интерпретация основана на численном анализе данных и компьютерном моделировании. Цель исследований — определение параметров звезд и их газо-пылевых оболочек, а также параметры и свойства околозвездной пыли.

Всего по теме «Комплексные исследования нестационарных звезд с газо-пылевыми оболочками в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра» в 2023 г опубликовано 5 статей и сделано 4 доклада (два устных и два приглашенных) на Всероссийских конференциях «Физика звезд: теория и наблюдения» (Москва, 26-30 июня 2023 г) и «Ультрафиолетовая Вселенная – 2023» (Москва, 16-19 октября 2023 г). Кроме того, члены коллектива НИР были соавторами еще 4 статей в смежных областях астрофизики, которые хотя и не относятся к отчетной теме НИР, но близки к ней.

По теме НИР получены следующие основные результаты:

- 1) На основании анализа фотометрических и спектральных наблюдений повторной новой T CrB, полученных в период с 2011 по 2023 г, определены эфемериды моментов минимумов блеска, соответствующих ситуации, когда красный гигант расположен между наблюдателем и горячим компонентом. Моделирование кривых блеска в ближнем ИК-диапазоне позволило получить параметры двойной системы: степень заполнения холодным компонентом полости Роша, отношение масс компонент и наклон плоскости орбиты к лучу зрения. Предсказано, что начало следующей вспышки произойдет в январе 2024 г. По результатам исследования опубликована статья: «Повторная симбиотическая новая T Северной Короны перед вспышкой», Масленникова Н.А., Татарников А.М., Татарникова А.А., Додин А.В., Шенаврин В.И., Бурлак М.А., Желтоухов С.Г., Страхов И.А. в журнале *Письма в Астрономический журнал: Астрономия и космическая астрофизика*, издательство ФГБУ "Издательство "Наука" (Москва), том 49, № 9, с. 589-604 (2023)
- 2) Проанализированы данные инфракрасных спектральных и фотометрических наблюдений двойной системы WR 137 (HD 192641) с периодом около 13 лет, состоящей из богатой углеродом звезды Вольфа-Райе (WC) и спутника спектрального класса Oe. Вблизи периастра ветры двух звезд сталкиваются и образуют углеродистую пыль. В спектре этой области обнаружена неотожествленная эмиссионная деталь в районе 6.3–6.4 мкм, интенсивность которой росла по мере увеличения выброса пыли и по мере приближения к периастру. Обсуждается природа этой детали. Показано, что рост пылевых частиц начинается при смешивании ветра компонента WC с диском компонента Oe. По результатам исследования опубликована статья: "FORCASTing the Spectroscopic Dust Properties of the WC+O Binary WR 137 with SOFIA", Peatt M.J., Richardson N.D., Williams P.M., Karnath N., Shenavrin V.I., Lau R. M., Moffat A.F.J., Weigelt G. в журнале *Astrophysical Journal*, издательство *University of Chicago Press (United States)*, том 956, № 2, с. 109-117 (2023)
- 3) Из анализа фотометрических и спектральных наблюдений повторной симбиотической новой T CrB найдено, что потоки в эмиссионных линиях H α , H β , He I λ 5876 меняются на 6–16%, а в линии He II λ 4686 примерно на 60% с характерными временами 20–60 минут. Кривые изменения потоков в линиях по наблюдениям 25 августа 2020 г. имеют форму, похожую на форму кривой блеска T CrB в фотометрической полосе B, но с задержкой по времени до 600 с для разных линий. Показано, что наблюдаемый спектр можно представить в виде суммы излучения компонент системы со

следующими параметрами: красный гигант спектрального класса M4 III, туманность с $T_e = 10^4$ К и мерой эмиссии $4 \times 10^{58} \text{ см}^{-3}$, аккреционный диск с $R_1 = 0.003 R_\odot$, $R_{\text{out}} \approx 1 R_\odot$ при наклоне $i = 57^\circ$. По результатам исследования опубликована статья: «Исследование спектральной быстрой переменности Т Северной Короны», Масленникова Н.А., Татарников А.М., Татарникова А.А. в журнале *Астрофизический бюллетень*, издательство САО РАН (Нижний Архыз), том 78, № 3, с. 338-346 (2023)

4) Изучена морфология и кинематика вещества в окрестности молодых звезд ZZ Tau и ZZ Tau IRS. Найдено, что эмиссионная туманность (H α -волокно), расположенная юго-западнее этих звезд, и проецирующийся на нее объект Хербига–Аро HH 393 удаляются от ZZ Tau и ZZ Tau IRS с лучевой скоростью около 50 км с^{-1} . На внутренней кромке западной части H α -волокна находится более холодное волокно, от которого зарегистрировано излучение в линии молекулярного водорода ($\lambda = 2.12 \text{ мкм}$) и излучение от пыли. В северо-восточной части исследуемой области обнаружен новый объект Хербига–Аро, которому был присвоен номер HH 1232. Заподозрено наличие еще нескольких новых эмиссионных туманностей. Электронная плотность в исследованных областях H α -волокна, а также HH 393 и HH 1232 $N_e \sim 100 \text{ см}^{-3}$. Приведены аргументы в пользу того, что запыленный дисковый ветер создал вокруг ZZ Tau IRS газопылевую туманность, вдоль оси симметрии которой находится джет, движущийся в направлении HH 393. По результатам исследования опубликована статья: «Морфология и кинематика межзвездного вещества в окрестности молодых звезд ZZ Tau и ZZ Tau IRS», Додин А. В., Желтоухов С. Г., Ламзин С. А., Потанин С. А., Сафонов Б. С., Страхов И. А., Татарников А. М., в журнале *Астрофизический бюллетень*, издательство САО РАН (Нижний Архыз), том 78, № 3, с. 380-388 (2023)

5) Струйные выбросы вещества (джеты) — характерная особенность молодых звезд с пылевыми оболочками. В нашей обзорной статье показано, как лабораторное моделирование позволяет существенно продвинуться в понимании основных физических процессов, ответственных за образование и устойчивость этих удивительных объектов. В частности, обсуждается возможность моделирования струйных выбросов в лабораторном эксперименте на установке ПФ-3 в Национальном исследовательском центре "Курчатовский институт". Многие свойства течений, полученных на экспериментальной установке, согласуются с основными характеристиками струйных выбросов, наблюдаемых в окрестности молодых звезд. Обзор «Лабораторное моделирование струйных выбросов из молодых звезд на установках с плазменным фокусом», В.С. Бескин, В.И. Крауз, С.А. Ламзин опубликован в журнале *Успехи физических наук* том 193, с. 345–381 (2023)

Наконец, в 2023 г А.В.Додин вел Специальный астрономический практикум кафедры Астрофизики и звездной астрономии «Внутреннее строение звезд и звездная эволюция» (обязательный, базовой части, практические занятия, 216 часов), а С.А.Ламзин читал курс лекций «Строение и эволюция звезд» (обязательный, вариативной части, 72 часа).

/С.А. Ламзин/