

Всероссийская конференция
**«Нестационарные процессы в протопланетных дисках и
их наблюдательные проявления»**

Тезисы

11-17 сентября 2022 г., Научный

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ГРАВИТАЦИОННОГО КОЛЛАПСА ПРОТОЗВЕЗД И ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКОВ	4
<i>Вибе Д. З.</i>	
ГРАВИТАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКОВ И ЕЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ	5
<i>Воробьев Э. И.</i>	
ОСОБЕННОСТИ МАГНИТОСФЕРНОЙ АККРЕЦИИ В СЛУЧАЕ МОЛОДЫХ ЗВЕЗД МАЛЫХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ МАСС	6
<i>Гранкин К.</i>	
ХАОТИЧЕСКИЕ ПЛАНЕТНЫЕ ЗОНЫ В ПЛАНЕТЕЗИМАЛЬНЫХ ДИСКАХ	7
<i>Шевченко И. И.</i>	

ОБЗОРНЫЕ ДОКЛАДЫ

МОЛОДЫЕ ЭРУПТИВНЫЕ ЗВЕЗДЫ: ФУОРЫ, ЭКСОРЫ И РОЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОБЪЕКТОВ	8
<i>Магакян Т. Ю.</i>	
ТРАНЗИЕНТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИИ: ВАЖНОСТЬ ДАЛЬНЕГО ИНФРАКРАСНОГО, МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ	9
<i>Соболев А. М.</i>	

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТО-ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ДИСКОВЫХ ВЕТРОВ	10
<i>Альбрант М. А., Гринин В. П.</i>	
НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ ХЕРБИГА-АРО, СВЯЗАННЫЕ С IRAS-ИСТОЧНИКАМИ	11
<i>Мовсесян Т., Магакян Т., Рейпурт Б., Андреасян А.</i>	
НОВАЯ(ЫЕ) ЭРУПТИВНАЯ(ЫЕ) ПЕРЕМЕННАЯ(ЫЕ) В ОБЛАСТИ RAFGL 7009S III	12
<i>Никогосян Е., Азатян Н., Андреасян Д., Капер Л., Самсонян А., Егикян А., Багдасарян Д., Арутюнян Н.</i>	
О ПРИРОДЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЛОДОЙ ЗВЕЗДЫ V2492 Cyg	13
<i>Архаров А., Giannini T., Munari U., Antonucci S., Lorenzetti D., Dallaporta S., Rossi A., Traven G., Климанов С. А., Ефимова Н. В.</i>	
ПЕРЕМЕННЫЕ ТИПА UX ORI В СКОПЛЕНИИ IC 348: РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	14
<i>Барсунова О. Ю., Гринин В. П., Сергеев С. Г., Шугаров С. Ю., Ефимова Н. В., Назаров С. В.</i>	
ОБЛАЧНАЯ АККРЕЦИЯ КАК ИСТОЧНИК КРУПНОМАСШТАБНОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗД ТИПА UX ORI И РОДСТВЕННЫХ ИМ ОБЪЕКТОВ	15
<i>Гринин В., Демидова Т., Тамбовцева Л., Барсунова О.</i>	
НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОБЛАЧНОЙ АККРЕЦИИ НА ОКОЛОЗВЕЗДНЫЙ ДИСК	16
<i>Демидова Т. В., Гринин В. П.</i>	
ПАРАМЕТРЫ МАГНИТОФЕРЫ ЗВЕЗДЫ ТИПА UX ORI RZ Psc ВО ВРЕМЯ ВСПЫШКИ ЕЕ АККРЕЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ	17
<i>Дмитриев Д. В., Ермолаева Т. А., Гринин В. П.</i>	
МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ КЛОЧКОВАТОСТИ ПЫЛЕВОГО ОКОЛОЗВЕЗДНОГО ОКРУЖЕНИЯ “НА ПРОСВЕТ”	18
<i>Додин А. В.</i>	
ЛИНИИ ЖЕЛЕЗА В ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРАХ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКОВ	19
<i>Ермолаева Т. А., Альбрант М. А., Гринин В. П.</i>	
О РЕЗУЛЬТАТАХ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗВЕЗДЫ ТИПА WTTS V715 Per В МОЛОДОМ СКОПЛЕНИИ IC348	20
<i>Еселевич М. В., Гринин В. П., Потравнов И. С.</i>	
ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДЫ Ae ХЕРБИГА V517 Cyg В ОПТИЧЕСКОЙ И БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА	21
<i>Ефимова Н. В., Архаров А. А., Гринин В. П., Ларионов В. М., Климанов С. А., Горшанов Д. Л.</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ КООПЕРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗВЕЗД ТИПА UX ORI, ПРОВОДИМЫХ ИНСТИТУТОМ АСТРОФИЗИКИ АН ТАДЖИКИСТАНА И КРАО В 1986-1991 ГГ.	22
<i>Киселев Н. Н., Гринин В. П., Миниколов Н. Х.</i>	

СПЕКТРАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ АЕ ЗВЕЗДЫ ХЕРБИГА НА РАЗНЫХ ВРЕМЕННЫХ ШКАЛАХ	23
<i>Козлова О. В., Погодин М. А., Алексеев И. Ю., Павловский С. Е.</i>	
О КОНВЕКЦИИ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКАХ	24
<i>Курбатов Е. П., Павлюченков Я. Н.</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗВЕЗД Т ТЕЛЬЦА ZZ TAU И ZZ TAU IRS	25
<i>Ламзин С., Белинский А., Бурлак М., Емельянов С., Иконникова Н., Потанин С., Сафонов Б., Татарников А.</i>	
ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДЖЕТОВ МОЛОДЫХ ЗВЕЗД	26
<i>Ламзин С. А., Крауз В. И., Харрасов А. М., Додин А. В., Мялтон В. В., Ильичев И. В.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ПРОТОПЛАНЕТНОМ ДИСКЕ	27
<i>Максимова Л. А.</i>	
МНОГОСТОРОННЕЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ИСТЕЧЕНИЙ И ЭРУПТИВНЫХ ЗВЕЗД В ОБЛАСТИ MON 2	28
<i>Мовсесян Т. А., Магакян Т. Ю., Балли Дж., Андреасян А. Р., Моисеев А. В.</i>	
ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ В ДИСКОВОМ ВЕТРЕ ЗВЕЗД ТИПА Т ТЕЛЬЦА	29
<i>Петров П. П., Гранкин К. Н., Артеменко С. А., Бабина Е. В., Горда С. Ю.</i>	
СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗОВОЙ ОБОЛОЧКИ АЕ/ВЕ ЗВЕЗДЫ ХЕРБИГА HD37806 ПО ДАННЫМ СПЕКТРОСКОПИИ	30
<i>Павловский С. Е., Погодин М., Бескровная Н. Г., Козлова О. В., Алексеев И. Ю.</i>	
ПЕРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ВЕТРА И ДЖЕТА ЗВЕЗДЫ ТИПА Т ТЕЛЬЦА ВР Psc, КАК ИНДИКАТОР НАЛИЧИЯ МАЛОМАССИВНОГО КОМПАЬОНА	31
<i>Потравнов И. С., Шаховской Д. Н., Ховричев М. Ю., Артеменко С. А.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОЙ МАГНИТОСФЕРНОЙ АККРЕЦИИ В ЗВЕЗДАХ ХЕРБИГА	32
<i>Рыспаева Е., Холтыгин А., Лютиков М.</i>	
ДВУХЖИДКОСТНЫЙ ПОДХОД ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГАЗО-ПЫЛЕВОЙ СРЕДЫ ПАКЕТОМ GADGET-2	33
<i>Савватеева Т.А., Демидова Т.В., Аношин С.А., Стояновская О.П.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБОЛОЧКИ RW Aur A ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ С ВЫСОКИМ УГЛОВЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ	34
<i>Сафонов Б. С., Додин А. В.</i>	
ОСОБЕННОСТИ ВСПЫШЕК СВИТОМОСТИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМАХ	35
<i>Скляреский А. М., Воробьев Э. И.</i>	
ЛИНИЯ H α В МИНИМУМАХ ВЛЕСКА ЗВЕЗД ТИПА UX Ori. МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ	36
<i>Тамбовцева Л. В., Гринин В. П.</i>	
СТРУКТУРА ПРОТОПЛАНЕТНОГО ДИСКА ЗВЕЗДЫ V719 Per ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКИХ И ИНФРАКРАСНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ	37
<i>Федорова Е. И., Гринин В. П.</i>	
ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ «ДИППЕРОВ» – СРАВНЕНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ AA TAU В ЕЕ ЯРКОМ СОСТОЯНИИ И LkCa15	38
<i>Шаховской Д. Н., Садыков Р. В., Гранкин К. Н., Артеменко С. А.</i>	
ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗД АЕ ХЕРБИГА CQ TAU, SV Ser И WW Vul В БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ	39
<i>Шенаврин В. И., Ростопчина-Шаховская А. Н., Гринин В. П., Шаховской Д. Н.</i>	
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ОТКЛИК ЗВЕЗД ТИПА UX Ori НА КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКОВ	40
<i>Шульман С.Г., Гринин В.П.</i>	

ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

Начальные стадии гравитационного коллапса протозвезд и формирования протопланетных дисков

Вибе Д. Э.

Институт астрономии РАН

В докладе будет представлен обзор современных представлений о ранних стадиях эволюции маломассивных протозвёзд и формирования протопланетных дисков вокруг них. Будут описаны результаты наблюдений и современные модели этих объектов. Особое внимание будет уделено химической эволюции протозвёзд и её связи с молекулярным составом протопланетных дисков.

Гравитационная неустойчивость протопланетных дисков и ее наблюдательные проявления

Воробьев Э. И.

Южный федеральный университет

Протопланетные диски на ранних стадиях эволюции подвержены развитию гравитационной неустойчивости, приводящей к формированию спиральных волн плотности. Гравитационные моменты сил, связанные со спиральными рукавами, традиционно рассматриваются как один из основных механизмов переноса массы и углового момента в молодых дисках. При этом крайним проявлением гравитационной неустойчивости является гравитационная фрагментация диска, приводящая к формированию газопылевых сгустков – эмбрионов планет-гигантов. В докладе будет выполнен обзор влияния гравитационной неустойчивости и фрагментации на динамическую и химическую эволюцию протопланетных газопылевых дисков, а также затронута возможность наблюдательного детектирования проявлений данного феномена.

Особенности магнитосферной аккреции в случае молодых звезд малых и промежуточных масс

Гранкин К.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

konstantin.grankin@crao.crimea.ru

Магнитосферная аккреция – сложный динамический процесс, при котором ионизованное вещество внутренних областей протопланетного диска взаимодействует с магнитным полем молодой звезды. Результаты такого взаимодействия зависят от величины и структуры магнитного поля звезды, радиуса магнитосферы, радиуса коротации, соотношения между угловым вращением звезды и внутреннего диска, коэффициента эффективной диффузии вещества на границе диск-магнитосфера и других свойств звезды и аккреционного диска. Современное трехмерное (3D) магнитогидродинамическое (МГД) моделирование процесса взаимодействия вещества протопланетного диска с магнитосферой звезды показало, как это вещество движется к звезде в случае простого наклонного диполя и в случае более сложной топологии магнитного поля. 3D МГД моделирование позволило восстановить сложную структуру потока аккрецирующего вещества, а также положение и форму горячих пятен. Было показано, что в зависимости от радиуса коротации и радиуса магнитосферы, аккреция может осуществляться в различных режимах: неустойчивом, устойчивом и в режиме «пропеллера». Важнейшим результатом трехмерного моделирования стало предсказание таких динамических явлений как повторяющаяся инфляция силовых линий магнитного поля, так и формирование волн плотности и деформации внутреннего края диска в случае наклонной магнитосферы.

Мы сравниваем предсказания 3D МГД моделирований с недавними результатами интенсивных фотометрических и спектрополяриметрических наблюдений двух молодых звезд: LkCa 15 и V807 Tau. Обсуждаются непрерывные 80-ти суточные фотометрические наблюдения космической обсерватории Кеплер и спектрополяриметрические наблюдения, полученные с помощью спектрополяриметра ESPaDOnS, установленного на 3.6-м Канадо-Франко-Гавайском телескопе. Спектроскопическая и фотометрическая переменность этих объектов на временной шкале от суток до недель удивительно похожа на поведение AA Tau, которая стала прототипом периодических дипперов. Другими словами, источником фотометрической и спектральной переменности этих объектов является деформация внутреннего края аккреционного диска. При этом внешние области диска сильно наклонены по отношению к наблюдателю ($\sim 44^\circ$ для LkCa 15 и $\sim 53^\circ$ для V807 Tau). Таким образом, имеет место значительное рассогласование между внутренним и внешним дисками этих систем. Обе звезды имеют сильное, в основном полоидальное, крупномасштабное поле, достигающее ~ 2 кГс на поверхности звезды, с дипольной составляющей ~ 1 кГс. Радиус магнитосферы сравним с радиусом коротации, и оба объекта, вероятно, находятся в режиме «пропеллера», который способствует эффективному торможению вращения сжимающихся звезд.

Хаотические планетные зоны в планетезимальных дисках

Шевченко И. И.

Санкт-Петербургский государственный университет
Институт прикладной астрономии РАН

i.shevchenko@spbu.ru

В докладе рассмотрены условия формирования и наблюдательного проявления планетных хаотических зон (люков Уиздома), а также и иных хаотических и резонансных структур в планетезимальных дисках экзопланетных систем. Обсуждаются методы аналитического описания хаотических планетных зон, оценивания их радиальных размеров и основных временных шкал хаотической динамики в этих зонах – ляпуновских времен и времен хаотической диффузии. Рассмотрены зависимости этих величин от массового параметра системы «звезда – планета», они сопоставлены с данными численных экспериментов. Обсуждаются относительно новое понятие феномена «широкой хаотической зоны» планеты и условия его проявления.

Работа поддержана в рамках гранта РФФ 22-22-00046.

ОБЗОРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Молодые эруптивные звезды: фуоры, эксоры и роль промежуточных объектов

Магакян Т. Ю.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

Среди большого количества открытых к настоящему времени молодых звезд малой и средней массы в разной степени активности выделяются объекты с исключительными эрупционными проявлениями: фуоры и эксоры. Допускается, что, несмотря на свою редкость, подобные вспышки являются характерной эволюционной стадией всех молодых звезд; однако существуют и мнения об уникальности условий, необходимых для их появления. В данном обзоре рассматриваются выявленные в последнее время объекты, которые одновременно сочетают в себе те или иные особенности, характерные и для фуоров, и для эксоров. По мере роста числа подобных «промежуточных» объектов, становится понятным, что данные звезды имеют довольно широкий спектр характеристик и не являются еще одной какой-то особой группой.

В данном обзоре будут представлены новые сведения о промежуточных объектах (иногда именуемых эмнорами), появившиеся за последние 5 лет – в том числе результаты исследований уже известных звезд и данные о новых обнаруженных эрупциях. Возможно, важным фактом является то, что заметная доля предполагаемых эмноров глубоко погружена в темные облака. Последние наблюдения уже известных необычных переменных звезд (PV Cep, V1180 Cas, V2492 Cyg, V899 Mon, HOPS 383, V350 Cep, V1318 Cyg S) также позволяют переосмыслить их как промежуточные объекты.

Основной гипотезой, объясняющей эруптивную активность молодых звезд, является предположение о резком усилении магнитогидродинамической аккреции в результате тех или иных нестационарностей в околозвездном диске. Несмотря на неплохое в целом согласие с фактами, основным вопросом остается возможность объяснить одним и тем же механизмом все широкое разнообразие и масштаб наблюдаемых проявлений подобной активности. Не исключено, что именно исследование промежуточных объектов, показывающих самые разнообразные сочетания эруптивной активности, позволят продвинуться в понимании и теоретическом объяснении этого явления.

Транзиентные явления в звездообразовании: важность дальнего инфракрасного, миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов

Соболев А. М.

Уральский федеральный университет

Обширные современные обзоры установили, что большинство молодых звёзд проявляет переменность в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. Однако молодые звёздные объекты на самых ранних стадиях своей эволюции обычно глубоко погружены в родительское вещество и могут наблюдаться только в дальнем инфракрасном, субмиллиметровом и миллиметровом диапазонах. Поэтому такие наблюдения имеют большое значение для астрофизики. Кроме того, особенность исследования переменности в этих диапазонах состоит в том, что они дают в основном информацию об изменениях светимости, а не об эффектах непрозрачности. Мониторинг областей образования звёзд малой массы в рамках JCMT Transient Survey на 850 мкм установил, что на временных шкалах месяцев и лет происходят повсеместные изменения, связанные с изменениями темпов аккреции. Обнаружена также стохастическая аккреционная переменность. Это очень ценная информация для изучения явлений аккреции. JCMT Transient Survey также обнаружил одно краткосрочное событие, которое было связано с пересоединением магнитного поля. Исследования таких событий являются потенциальным инструментом для изучения физических процессов в масштабах от внутренних частей аккреционного диска до поверхности звезды. Последние несколько лет отмечены захватывающими открытиями ярких вспышек аккреции у массивных молодых звездных объектов в S255IR, NGC6334I, G358.931-0.030, G24.33+0.14 и др. Примечательно, что эти события сопровождались вспышками мазерного излучения, в том числе в субмиллиметровом и миллиметровом диапазонах. Важную роль в этих сложных исследованиях играет Организация по Мониторингу Мазеров (M2O).

Вот некоторые из полученных результатов: Наблюдения показывают, что структура околозвездных дисков массивных молодых звездных объектов существенно неоднородна. Эти диски содержат когерентные структуры размером до 1000 а.е. Аккреция вещества на молодую звезду происходит вдоль протяжённых структур, которые могут иметь форму спиралей. Вещество аккреционных структур состоит из сгустков, аккреция которых на молодую звезду приводит к вспышкам различной интенсивности. В аккреционных дисках присутствует большое количество вещества высокой плотности, что приводит к значительному замедлению распространения света в плоскости диска. В объектах S255IR, NGC6334I, G358.931-0.030, где вспышки происходят редко, после аккреционной вспышки физико-химическое состояние вещества диска изменяется и не возвращается к прежнему. В объекте G24.33+0.14, где вспышки происходят с периодичностью около 8 лет, физико-химическое состояние диска изменяется с такой же периодичностью. Аккреционные вспышки в молодых звездных объектах обычно удается выявить только в субмиллиметровом и миллиметровом диапазонах.

Исследования поддержаны министерством науки и высшего образования РФ (проект 075-15-2020-780, договор 780-10).

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

Оптические характеристики магнито-центробежных дисковых ветров

Альбрант М. А.^{1,2}, Гринин В. П.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

В докладе приводятся оптические характеристики магнито-центробежного дискового ветра, рассчитанные на основе МГД-моделей Сафье (1993). Для темпа истечения в интервале $10^{-10} - 10^{-7} M_{\odot}$ в год рассчитаны критические углы, на которых ветер становится непрозрачным по пыли в оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском участках спектра. От этих углов зависит освещенность звездой внешних областей протопланетных дисков, участвующих в создании фотоиспаряющегося ветра. Показано, что на ранних стадиях эволюции звезд типа Т Тельца дисковый ветер способен полностью экранировать периферийные области дисков. Рассчитана также доля излучения звезды, поглощаемая пылевой компонентой ветра. Показано, что при темпе истечения $> 10^{-9} M_{\odot}$ в год доля излучения звезды, поглощаемая ветром, может достигать 0.5. Это делает дисковый ветер потенциально важным источником инфракрасного излучения молодых звезд.

Новые объекты Хербига-Аро, связанные с IRAS-источниками

Мовсесян Т., Магажян Т., Рейпурт Б., Андреасян А.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

В Бюраканской обсерватории проводится узкополосный обзор областей звездообразования (Byurakan Narrow Band Imaging Survey: BNBIS) с помощью 1-м телескопа системы Шмидта. Одним из направлений обзора является поиск истечений типа Хербига-Аро (HH) в окрестностях ярких инфракрасных источников в темных облаках. Одним из исследуемых полей является область звездообразования Mon R1. В работе представлены истечения, возможно происходящие от некоторых объектов этой области. Об этом и многом другом пойдет речь в данной работе.

Новая(ые) эруптивная(ые) переменная(ые) в области RAFGL 7009S III

Никогосян Е., Азатян Н., Андреасян Д.¹, Капер Л., Самсомян А., Егикян А., Багдасарян Д.,
Арутюнян Н.

¹Бюраканская астрофизическая обсерватория

derenik.andreasyan@gmail.com

Целью данной работы является представление двух новых высокоамплитудных переменных молодых звездных объектов (YSO) (J183421.85-055951.0 и J183421.39-055937.7), найденных в базе данных UKIDSS GPS. Объекты расположены в области образования массивных звезд RAFGL 7009S. Мы получили архивные инфракрасные и миллиметровые фотометрические и спектральные изображения и данные из обзора галактической плоскости UKIDSS, а также из баз данных Spitzer IRAC, многообъектного спектрографа К-диапазона (KMOS) и ALMA. Нами обнаружена новая эруптивная переменная UKIDSS-J183421.85-055951.0 на стадии эволюции класса I/II. Блеск объекта увеличился в К-диапазоне на $\sim 2.7^m$, а в диапазоне [3.6] мкм на $\sim 2.5^m$. Вспышка произошла между 2007 и 2011 гг. Спектр в К-диапазоне показывает полосу CO, Br γ , Mg I в поглощении и H $_2$ в эмиссии. Объект связан с широкоугольным истечением, обнаруженным в миллиметровом диапазоне, в основном в линиях SiO, HCO $^+$ и HCN. Мы классифицировали UKIDSS-J183421.85-055951.0 как эруптивную переменную типа FUors. Следующий звездный объект UKIDSS-J183421.39-055937.7 показывает высокоамплитудную переменность только в К-диапазоне ($\Delta K \sim 2.0^m$). Цветовые индексы указывают на то, что это YSO с ранней эволюционной стадией. Нет очевидных доказательств наличия оттока, связанного с YSO. Из-за отсутствия информации об объекте UKIDSS-J183421.39-055937.7 трудно сделать однозначные выводы о характере его изменчивости.

О природе фотометрической активности молодой звезды V2492 Cyg

Архаров А.¹, *Giannini T.², Munari U.², Antonucci S.², Lorenzetti D.², Dallaporta S.²,
Rossi A.², Traven G.², Климанов С. А.¹, Ефимова Н. В.¹*

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

²Римская обсерватория

Эруптивные переменные – это молодые звезды, которые демонстрируют эпизодические изменения яркости: вариации EXors/FUors обычно связаны с усиленными вспышками аккреции, происходящими с периодичностью в месяцы/годы (EXors) и десятилетия/столетия (FUors). Вариации, которые могут быть приписаны переменной экстинкции вдоль луча зрения, классифицируются как UXors.

Молодая эруптивная звезда V2492 Cyg, обнаруженная как переменная в августе 2010 г., первоначально была отнесена к классу FUors. Дальнейшие фотометрические и спектральные наблюдения дали весомые аргументы в пользу принадлежности звезды к классу EXors. Благодаря значительному интересу к этому объекту в течение нескольких лет были проведены интенсивные исследования, в т.ч. в рамках многоволновых наблюдений, от оптического до радио диапазона. На основе полученных данных был сделан вывод о комбинированном влиянии на переменность объекта как аккреционных, так и экстинкционных событий. Анализ всех известных классических EXors показал, что разница спектральных распределений энергии (SED) в периоды вспышек и спокойных состояний может быть хорошо согласована с одним абсолютно черным телом, если бы во время фазы вспышки появлялась дополнительная тепловая составляющая в виде плотного околос звездного вещества с температурой 1500 – 4000 К.

На основе новых данных, полученных из исследования структуры молекулярного облака, в котором находится V2492 Cyg, установлено, что кривые блеска на разных длинах волн близки по форме и что наблюдаемая переменность связана с одним физическим процессом, скорее всего, переменной экстинкцией. Предполагается, что центральный источник эпизодически закрыт плотным пылевым облаком во внутреннем диске, и, основываясь на неизменности потоков в дальнем инфракрасном диапазоне, предполагается, что это долгоживущая, а не временная структура. Этот вывод говорит в пользу принадлежности V2492 Cyg к классу UXors.

Но этому противоречит вывод, сделанный из анализа архивных фотопластинок, из которого следует, что прежний уровень активности был существенно ниже, чем за последние десятилетия. Следовательно, недавно наблюдаемые явления аккреции могут быть связаны с эпизодами вспышек, а не с повторяющимся затемнением.

Итак, вопрос принадлежности звезды V2492 Cyg к классу EXors / UXors остается открытым, хотя поведение V2492 Cyg можно интерпретировать как вызванное циклами усиленной аккреции диска, сопровождающимися уменьшением экстинкции. В любом случае наблюдаемая переменность блеска этой звезды является ярким свидетельством крупномасштабных возмущений во внутренних областях ее протопланетного диска.

Переменные типа UX Ori в скоплении IC 348: результаты многолетнего фотометрического мониторинга

Барсунова О. Ю.¹, Гринин В. П., Сергеев С. Г., Шугаров С. Ю.,
Ефимова Н. В., Назаров С. В.

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

В докладе будут представлены результаты длительного (17 лет) фотометрического мониторинга пяти звезд типа Т Тельца в полосах VRI. Все исследуемые объекты являются членами молодого скопления IC 348 и демонстрируют переменность типа UX Ori, обусловленную изменениями околозвездной экстинкции. Три из них (V712 Per, V716 Per, V909 Per) являются классическими звездами типа Т Тельца (CTTS), другие два (V695 Per, V719 Per) – звезды типа Т Тельца со слабыми эмиссионными линиями (WTTS). Их кривые блеска демонстрируют большое разнообразие: как комбинацию двух разных типов активности, состоящей из стохастической переменности типа UX Ori и периодических колебаний блеска, похожих на те, которые наблюдаются у звезд типа AA Tau; так и переменность блеска, вызванная лишь флуктуациями околозвездной экстинкции на разных характерных временах.

Облачная аккреция как источник крупномасштабной фотометрической активности звезд типа UX Ori и родственных им объектов

Гринин В.^{1,2}, Демидова Т.³, Тамбовцева Л.¹, Барсунова О.¹

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

²Санкт-Петербургский государственный университет ³Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Показано, что крупномасштабные затмения звезд типа UX Ori и родственных им объектов могут быть вызваны падением на околозвездный диск газопылевых сгустков из остатков протозвездного облака. Возникающие в результате этого вспышки аккреционной активности сопровождаются усилением дискового ветра, способного поднимать мелкую пыль над плоскостью диска. При наблюдениях таких объектов под небольшим углом к плоскости диска такие события будут сопровождаться глубокими и продолжительными минимумами блеска, вызванными поглощением излучения звезды при прохождении сквозь запыленный дисковый ветер. Расчеты показывают, что при падении в окрестности звезды достаточно массивного облака ($> 0.1 M_{Jup}$) внутренняя часть диска наклоняется относительно периферии и начинает прецессировать. В таких случаях спокойное состояние звезды может смениться бурной фотометрической активностью и наоборот. Это позволяет понять, почему у фотометрически малоактивных молодых звезд типа AV Aug в далеком прошлом наблюдалась переменность, характерная для звезд типа UX Ori.

Наблюдательные проявления облачной аккреции на околозвездный диск

Демидова Т. В.¹, Гринин В. П.^{2,3}

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

³Санкт-Петербургский государственный университет

В работе исследуется развитие возмущений в околозвездных дисках звезд до главной последовательности, вызванных аккрецией сгустков вещества из остатков протозвездного облака. Методом SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) выполнено трехмерное моделирование газодинамики дисков, возмущенных недавним падением на диск сгустка газа. Показано, что одним из результатов этого события является вспышка темпа аккреции на звезду, по форме напоминающая вспышку фуора. Ее амплитуда и характерные времена подъема и затухания зависят от массы сгустка и расстояния от места падения до звезды. В результате возмущения в диске формируются волны плотности. После нескольких оборотов они трансформируются в туго свернутые спирали и кольцевые структуры, подобные тем, которые наблюдаются на изображениях дисков в миллиметровом диапазоне. В области падения сгустка образуется неоднородное газовое кольцо, наклоненное относительно внешнего диска. В течение нескольких оборотов вокруг звезды это кольцо объединяется с внутренним диском и образует наклонный диск. Таким образом, результаты моделирования показывают, что облачная аккреция на протопланетные диски позволяет объяснить практически весь комплекс крупномасштабных возмущений, наблюдаемых у молодых звезд и окружающих их дисков.

Параметры магнитоферы звезды типа UX Ori RZ Psc во время вспышки ее аккреционной активности

Дмитриев Д. В.^{1,2}, Ермолаева Т. А.¹, Гринин В. П.^{1,3}

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

²Крымская астрофизическая обсерватория РАН

³Санкт-Петербургский государственный университет

На основе спектра RZ Psc, полученного в работе Punzi et al. (2018) во время всплеска аккреционной активности звезды, рассчитаны модельные спектры магнитосферной аккреции. Определены основные параметры магнитосферы: ее радиус и темп аккреции, а также угол наклона оси магнитосферы к лучу зрения. Это удалось сделать, ограничив температурный режим в магнитосфере с помощью линий резонансного дублета натрия и ИК триплета кальция. Получено, что темп аккреции увеличился примерно на порядок по сравнению с нормальным состоянием звезды.

Метод изучения клочковатости пылевого околозвездного окружения “на просвет”

Додин А. В.

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ

Одной из причин ослабления блеска у молодых звезд является покрытие диска звезды пылевым экраном. Пространственная неоднородность этого экрана приводит к искажениям вращательных профилей спектральных линий. В докладе рассматриваются принципы построения двумерного распределения поглощения в затмевающем экране по серии спектров высокого разрешения. Метод позволяет не только охарактеризовать неоднородность облаков в картинной плоскости, но и установить направление и скорость их движения относительно оси вращения звезды. Возможности метода демонстрируются на искусственных наблюдениях.

Линии железа в оптических спектрах протопланетных дисков

Ермолаева Т. А.¹, Альбрант М. А.^{1,2}, Гринин В. П.^{1,2}

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

²Санкт-Петербургский государственный университет

В докладе приводятся результаты моделирования излучения атмосферы протопланетного диска в линиях металлов. Предполагается, что газовая атмосфера диска нагрета и ионизована оптическим излучением звезды, а также ультрафиолетовым и рентгеновским излучением, образующимся в аккреционных пятнах и активных областях молодых звезд. Параметры излучающих областей выбраны на основе моделей фотоиспаряющихся ветров из статьи Эрколано и др. (2009). Расчеты выполнены на основе вычислительного комплекса CLOUDY. Показано, что линии нейтрального и ионизованного железа могут наблюдаться в оптических спектрах звезд типа UX Ori во время глубоких минимумов блеска. Расчеты показали, что линии железа могут образовываться также в условиях, характерных для дискового ветра молодых звезд.

На сегодня известна одна звезда типа UX Ori – RR Tau –, в спектре которой, полученном с низким спектральным разрешением в глубоких минимумах, наблюдались эмиссионные линии 42-го мультиплета FeII. Для диагностики дисковых ветров представляет большой интерес проведение подобных наблюдений с высоким спектральным разрешением.

О результатах спектральных наблюдений звезды типа WTTS V715 Per в молодом скоплении IC348

Еселевич М. В.¹, Гринин В. П.², Потравнов И. С.¹

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Звезда V715 Per принадлежит к подтипу WTTS и является членом молодого скопления IC348. Особенностью этого объекта является уникальная кривая блеска, сочетающая переменность с периодом осевого вращения звезды и изменяющейся амплитудой, а также глубокие алголеподобные ослабления блеска, характерные для звезд типа UX Ori. Многолетние фотометрические наблюдения V715 Per показали систематический рост амплитуды периодической компоненты в период с 2004 по 2022 гг., а также внезапное прекращение алголеподобных минимумов в 2011 году. Данные единовременных спектральных наблюдений V715 Per показали увеличенное значение эквивалентной ширины линии H α в эпоху малой амплитуды периодической компоненты, указывающее на повышенную аккреционную активность звезды.

Мы представляем результаты спектрального мониторинга V715 Per на Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН в течение сезона 2021-2022 гг. Среднее значение эквивалентной ширины линии H α в этот период составило EW(H α \approx 2.7 \AA), что согласуется с интерпретацией текущей эпохи, как минимума аккреционной активности V715 Per. Обнаруженная модуляция EW(H α) в определенном диапазоне фаз осевого вращения звезды, вероятно, является следствием переменного экранирования эмиссионной области искривленным краем внутреннего диска – т.н. «эффекта AA Tau».

Фотометрическая активность звезды Ae Хербига V517 Cyg в оптической и ближней инфракрасной областях спектра

*Ефимова Н. В.*¹, *Архаров А. А.*, *Гринин В. П.*, *Ларионов В. М.*, *Климанов С. А.*,
Горшанов Д. Л.

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Звезда V517 Cyg (LkH α 371) находится в скоплении NGC 7000 “Северная Америка” / IC 5070 “Пеликан”. Алгоподобные ослабления с амплитудой до 2.5^m, характер цветового поведения, наличие эмиссии в линии H α с центральной абсорбцией, инфракрасный (ИК) избыток излучения и переменная поляризация позволяют причислить данную звезду к типу UX Ori. Целью нашей работы было изучение фотометрической активности V517 Cyg в ИК области спектра и сравнение ее с оптической переменностью звезды. Инфракрасные наблюдения (полосы JHK Джонсона) были получены на Пулковском телескопе АЗТ-24 в 2003 - 2017 гг. в обсерватории Campo Imperatore (Италия); оптические кривые блеска были взяты из литературы и открытых баз данных. Анализ переменности показал, что, как в оптической, так и в ИК области спектра главной причиной переменности звезды являются флуктуации экстинкции в окружающем звезду диске. Однако отсутствие корреляции между полосами J и K говорит о том, что за изменение блеска в этих полосах отвечают разные механизмы: в полосе K уже существенен вклад не только экстинкции на луче зрения, но и вклад переменности ИК излучения самого диска. Сложный характер и большие амплитуды изменений блеска V517 Cyg в ИК полосах свидетельствуют о сильных возмущениях во внутренней области протопланетного диска, причиной которых может быть образование планетной системы звезды.

Результаты кооперативных исследований звезд типа UX Ori, проводимых Институтом астрофизики АН Таджикистана и КрАО в 1986-1991 гг.

Киселев Н. Н.¹, Гринин В. П.^{2,3}, Миниккулов Н. Х.⁴

¹Крымская астрофизическая обсерватория

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН ³Санкт-Петербургский государственный университет

⁴Институт астрофизики НАН Республики Таджикистан, Душанбе, РТ

Изучение протопланетных дисков и обнаружение внесолнечных планетных систем (экзопланет) является одним из приоритетных направлений современной астрофизики. Возможность прямого зондирования газопылевых оболочек в оптическом диапазоне предоставляют молодые звезды с непериодическими алголеподобными ослаблениями блеска, известные также в современной литературе как звезды типа UX Ori. Звезды этого типа являются эволюционными предшественниками β Pic и звезд типа Веги, у которых уже обнаружены экзопланеты. Основные свойства звезд типа UX Ori в настоящее время изучены достаточно хорошо. Еще в 1969 году Венцель [1] предположил, что непериодическая переменность блеска этих звезд является результатом затмений звезд околозвездными пылевыми облаками. Но эта гипотеза не объясняла особенности изменений показателей цвета звезд в минимумах блеска. Спустя двадцать лет решение этой проблемы было найдено одним из авторов настоящего доклада [2]: была предложена модель, в которой источником голубого излучения Ae/Be звезд Хербига в минимумах блеска является свет, рассеянный пылевыми частицами протопланетных дисков. Это излучение доминирует в минимумах блеска, когда излучение звезды экранируется от наблюдателя непрозрачным экраном – пылевым сгустком. Модель предсказывала рост линейной поляризации звезд в минимумах блеска. По инициативе В. П. Гринина и Н. Н. Киселева на 1-м телескопе обсерватории Санглок и на 1.25-м телескопе КрАО с 1986 г. по 1991 г. проводилась совместная программа патрульных поляриметрических и фотометрических наблюдений ряда Ae/Be звезд Хербига с целью поиска изменений параметров поляризации во время минимумов блеска. В программу наблюдений были включены звезды UX Ori, WW Vul, RZ Psc, BF Ori, SV Sep, VX Cas, CO Ori, V586 Ori. В докладе представлены некоторые итоги начального этапа поляриметрических исследований этих звезд, которые успешно продолжаются в КрАО по сей день.

[1] Wenzel W. Extremely young stars, In “Non-periodic Phenomena in Variable Stars” // Ed. L. Detre. – Budapest: Acad. Press (Hungary), 1969. – P. 61-73.

[2] Гринин В.П. О происхождении голубой эмиссии, наблюдаемой в глубоких минимумах молодых неправильных переменных звезд // Письма в АЖ. – 1988. – Т. 14, 65-69.

Спектральная активность Ae звезды Хербига на разных временных шкалах

Козлова О. В.¹, Погодин М. А., Алексеев И. Ю., Павловский С. Е.

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН

Приводятся результаты многолетних высокодисперсионных ($R=20000$) спектральных наблюдений Ae звезды Хербига AB Aur. Наблюдения проводились в Крымской астрофизической обсерватории с 2009 по 2022 год в области эмиссионных линий $H\alpha$ (110 спектров), HeI 5876 (55 спектров) и D Na I (55 спектров). Эти линии интересны тем, что формируются в околозвездной газовой оболочке и несут информацию о процессах происходящих как в непосредственной близости от звезды, так и на значительном расстоянии от нее.

В целом, результаты наших наблюдений показывают очень сложную картину спектральной переменности AB Aur, в которой можно выделить несколько временных шкал, начиная от времени порядка нескольких месяцев и заканчивая временем, превышающем весь период спектральных наблюдений. Речь идет об изменении интенсивностей и эквивалентных ширин эмиссионных линий, лучевых скоростей абсорбционных компонент и др. параметров.

Обнаруженные изменения сравниваются с данными по фотометрической активности звезды в видимой и ИК областях. Большой интерес представляет согласие временных шкал в области 120-130 суток и около 3000 суток, наблюдаемых как в спектральной переменности, так и в изменениях ИК блеска звезды. Полученные результаты анализируются в рамках процессов, происходящих в околозвездном газопылевом диске AB Aur.

О конвекции и гидродинамической турбулентности в протопланетных дисках

Курбатов Е. П., Павлюченков Я. Н.

Институт астрономии РАН

Численное моделирование показывает, что в протопланетных дисках возникают условия для развития конвективной неустойчивости. Конвекция является одним из источников турбулентности. Мы исследовали вклад гидродинамической турбулентности, порождённой конвекцией, в баланс тепловой, турбулентной энергии и энергии вращательного течения газа на примере согласованной модели протопланетного диска. Были рассмотрены два состояния диска: режим спокойной аккреции и вспышки. Мы показали, что в рамках нашей модели конвекция и ГД турбулентность вместе не обеспечивают темп потери углового момента в диске, соответствующий наблюдаемому темпу аккреции, а также темп энерговыделения, достаточный для того, чтобы конвекция была самоподдерживающейся.

Результаты исследования звезд Т Тельца ZZ Tau и ZZ Tau IRS

*Ламзин С., Белинский А., Бурлак М., Емельянов С., Иконникова Н., Потанин С.,
Сафонов Б., Татарников А.*

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ

Представлены результаты исследования молодой маломассивной двойной системы ZZ Tau, окруженной протопланетным диском, а также еще одной звезды типа Т Тельца – ZZ Tau IRS, диск которой виден почти с ребра. Показано, что ZZ Tau и ZZ Tau IRS, скорее всего, не являются физически связанными, хотя на небе расстояние между ними всего 25". Обсуждается вопрос о морфологии остатков родительского протозвездного облака в окрестности рассматриваемых звезд.

Лабораторное моделирование структуры джетов молодых звезд

*Ламзин С. А.¹, Крауз В. И.², Харрасов А. М.², Додин А. В.¹, Мьялтон В. В.²,
Ильичев И. В.²*

¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ

¹НИЦ «Курчатовский институт»

Сообщается о результатах лабораторного моделирования джетов молодых звезд на установке плазменный фокус ПФ-3 в НИЦ «Курчатовский институт». Изучался вопрос о причинах, приводящих к различию в пространственной структуре плазменных выбросов при разряде в газах разного химического состава – неон, гелий и гелий с примесью неона. Найдено, что наиболее структурированным является поток в случае чистого неона: передняя кромка выброса состоит из многочисленных уплотнений, что по внешнему виду делает его весьма похожим на уплотнения в джетах молодых звезд, так называемых объектах Хербига–Аро. Наименее структурированным выглядит выброс в случае чистого гелия, однако при добавке к гелию всего 1% неона существенно меняется форма головной части выброса, в нем становится заметной мелкомасштабная структура. Оценки показывают, что эти особенности могут быть связаны с различием эффективности охлаждения исследуемых газов как в самом плазменном выбросе, так и в ударной волне, возникающей при его движении через фоновый газ. Сделано предположение, что основной причиной появления неоднородностей в плазменном сгустке, как и в случае объектов Хербига–Аро, являются различного рода неустойчивости, которые развиваются при наличии эффективного радиационного охлаждения. Кроме того, было найдено, что в ряде случаев плазменный выброс может состоять из нескольких почти параллельно летящих сгустков, которые возникают уже на стадии пинчевания плазмы. Столкновение ударных волн, порождаемых каждым из сгустков, приводит к возникновению уплотнений, что также способствует формированию кружевной структуры плазменного выброса.

Моделирование тепловых поверхностных волн в протопланетном диске

Максимова Л. А.

Институт астрономии РАН

Теоретические модели предсказывают, что затенение звездного излучения неоднородностями на поверхности протопланетного диска может вызывать самозарождающиеся волны, бегущие по направлению к звезде. Однако при моделировании этого процесса обычно используется $1 + 1D$ подход, ключевые приближения которого – вертикальное гидростатическое равновесие диска и вертикальная диффузия ИК излучения – могут искажать картину. Мы представляем двумерную радиационную гидродинамическую модель эволюции аксиально-симметричного газопылевого диска. В рамках этой модели, но с использованием упрощенных предположений из $1 + 1D$ моделей, мы воспроизвели самопроизвольное зарождение и распространение тепловых поверхностных волн. Ключевым выводом нашей работы является то, что учет двумерной гидродинамики и диффузии ИК излучения подавляет самопроизвольное возникновение и развитие тепловых волн, наблюдавшихся в $1 + 1D$ приближении. Поиск возможности существования поверхностных тепловых волн необходимо продолжить, исследуя проблему для различных параметров протопланетных дисков.

Многостороннее исследование новых истечений и эруптивных звезд в области Mon 2

Мовсесян Т. А.¹, Магакян Т. Ю., Балли Дж., Андреасян А. Р., Моисеев А. В.

¹Бюраканская астрофизическая обсерватория

Данная работа посвящена исследованию новых объектов Хербига-Аро и коллимированных истечений в южной части ассоциации Mon R2, обнаруженных в рамках узкополосного обзора млечного пути (BNBIS), проводимого с помощью 1-м телескопа Шмидта Бюраканской обсерватории.

Широкоугольные оптические изображения, полученные на телескопе Шмидта, позволили обнаружить узкую эмиссионную струю вблизи эруптивной переменной V899 Mon, спиральную цепочку объектов Хербига-Аро вблизи IRAS 06068-0643, а также дугообразное истечение от 2MASS 06084223-0657385. Все эти объекты и их окружение были дополнительно исследованы в ближнем инфракрасном диапазоне с помощью 3.5-метрового телескопа ARC обсерватории Apache Point. Во время этих наблюдений были обнаружены новые сгустки и истечения (МНО), излучающие в линии молекулярного водорода. Часть из них отождествляется с оптическими объектами, другие же связаны с яркими инфракрасными источниками.

Дальнейшие спектральные наблюдения с длинной щелью и со сканирующим интерферометром Фабри-Перо, проведенные с помощью 6-метрового телескопа САО РАН, подтвердили биполярную природу дугообразного потока от инфракрасного источника 2MASS 06084223-0657385. Более того, длиннощелевая спектроскопия выявила новый эмиссионный сгусток около источника, расположенный по осиконусообразной отражательной туманности вблизи данной звезды. Все эти данные подтверждают наличие активного процесса звездообразования не только в ядре, но и в южной части ассоциации Mon R2.

Волны плотности в дисковом ветре звезд типа Т Тельца

Петров П. П.¹, Гранкин К. Н.¹, Артеменко С. А.¹, Бабина Е. В.¹, Горда С. Ю.¹

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН

²Уральский федеральный университет

Наблюдения показывают, что у некоторых звезд типа Т Тельца, видимых под большим углом наклона оси вращения к лучу зрения, присутствует периодическая составляющая в изменениях поглощения в коротковолновом крыле линии $H\alpha$ на определенной лучевой скорости. У звезд RY Tau и SU Aur период таких колебаний, лучевая скорость, на которой они происходят, и масса звезды связаны законом Кеплера. Мы предполагаем, что в дисковом ветре существуют волны плотности, вызванные неоднородной структурой протопланетного диска. Дискový ветер «помнит» структуру протопланетного диска до тех пор, пока не выйдет за пределы радиуса Альвена. Предлагается метод доплеровского картирования протопланетных дисков молодых звезд.

Структурные особенности газовой оболочки Ae/Be звезды Хербига HD37806 по данным спектроскопии

Павловский С. Е.¹, Погодин М.¹, Бескровная Н. Г., Козлова О. В., Алексеев И. Ю.

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Анализируются спектры Ae/Be звезды Хербига HD37806, полученные с 2009 по 2019 гг. в области линий $H\alpha$, $H\beta$, He I 5876, Fe II 4923 и DNa I. Наблюдения проводились на 2-х обсерваториях: КраО и OAN SPM (Мексика). Всего за 11 лет было получено 280 спектров высокого разрешения в течение 48 наблюдательных ночей. Из всего многообразия наблюдаемой спектральной переменности мы в этом докладе остановимся на трех ее видах:

1. Изменения отношения максимальной интенсивности фиолетового (V) и красного (R) эмиссионных пиков профиля $H\alpha$ на временном масштабе месяцы - годы. Предлагается интерпретация этой переменности в рамках модели изменения широтного распределения ветра по обе стороны от экваториального аккреционного диска.

2. Появление на фиолетовом эмиссионном компоненте профиля линии $H\alpha$ локальных абсорбционных деталей, смещающихся в сторону нулевой лучевой скорости с характерным временем 1 сутки. Показано, что такую переменность можно объяснить в рамках кинематической модели истекающей струи, вращающейся в зоне ветра. Сделаны оценки расстояния, на котором подобная струя должна пересекать луч зрения в различные даты. Они хорошо соответствуют модели дискового ветра в области, удаленной от звезды, где истечение вещества происходит с замедлением с параболической кеплеровской скоростью ($V(r) \sim r^{-0.5}$).

3. Наблюдение в отдельные даты так называемых аккреционных эпизодов, когда на профилях линий $H\beta$, He I 5876 и Fe II 4923 появлялись красные абсорбционные компоненты, характерные для аккреционных потоков со скоростями, достигающими +300 – 400 км/с. Продолжительность подобных эпизодов составляло несколько дней, что превышает ожидаемый период вращения звезды вместе с ее гипотетической магнитосферой (порядка 1.5 суток) и исключает вращательную модуляцию профилей, как возможную причину их изменений. Сделан вывод, что наблюдаемое явление может быть связано с локальными кратковременными изменениями темпа аккреции в диске.

Переменная динамика ветра и джета звезды типа Т Тельца ВР Psc, как индикатор наличия маломассивного компаньона

Потравнов И. С.¹, Шаховской Д. Н.², Ховричев М. Ю.³, Артеменко С. А.²

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН

²Крымская астрофизическая обсерватория РАН

³Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

ВР Psc является активной звездой типа Т Тельца, расположенной изолировано на высокой галактической широте $b = -57^\circ$. ВР Psc окружена оптически-толстым околозвездным диском, ориентированным к лучу зрения практически с ребра ($i \approx 75^\circ$) и является источником коллимированного биполярного джета.

В докладе будут представлены результаты фото-поляриметрического мониторинга ВР Psc, а также исследования структуры и кинематики её джета. Показано, что одна из компонент фото-поляриметрической переменности обусловлена медленными годовыми изменениями осесимметричной компоненты рассеивающей обложки – запыленного дискового ветра. При этом, структура и динамика джета свидетельствуют о существовании прецессионной волны с периодом ~ 54 года. Оба эти результата могут быть интерпретированы при предположении о наличии в системе субзвездного компаньона на некомпланарной орбите с массой порядка $\approx 30M_{Jup}$, чье приливное возмущение вызывает модуляцию нестационарных процессов во внутренних областях её диска.

Исследование возможной магнитосферной аккреции в звездах Хербига

Рыспаева Е.¹, Холтыгин А.², Лютиков М.³

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Purdue University, West Lafayette, USA

e.ryspaeva@yandex.ru

Мы проанализировали архивные рентгеновские наблюдения 15 звезд Ae/Be Хербига, выполненные на спутниках «ХММ-Newton» и «Chandra». Были извлечены рентгеновские спектры звезд в диапазоне энергий 0.2-8 кэВ и аппроксимированы различными моделями. Для исследования теплового рентгеновского излучения рассмотренных звезд использовались модели излучения горячего газа, в котором атомы ионизируются электронным ударом (тепловые модели), для поиска возможного нетеплового рентгеновского излучения в модельный спектр добавлялась степенная компонента. Исследовались возможные зависимости между найденными характеристиками рентгеновских спектров звезд и параметрами звезд. Для интерпретации полученных результатов использовалась модель магнитосферной аккреции. Было установлено, что рентгеновские спектры звезд Хербига могут быть описаны тепловыми моделями с температурой плазмы до кТ~3.5 кэВ или тепловыми моделями с добавлением степенной компоненты со спектральным индексом $\Gamma \sim 3-5$. При этом рентгеновская светимость исследованных звезд увеличивается с ростом радиуса и массы звезд. Последняя корреляция подобна аналогичной для звезд Т Тельца, но не является ее продолжением. Вычисленные в рамках теории магнитосферной аккреции магнитные потоки звезд оказались близки к измеренным величинам. Таким образом, можно заключить о том, что доминирующим процессом формирования рентгеновского излучения звезд Хербига является взаимодействие их магнитных полей с околозвездными дисками, по крайней мере для магнитных звезд Хербига.

Двухжидкостный подход при моделировании газо-пылевой среды пакетом Gadget-2

Савватеева Т.А.^{1,2}, Демидова Т.В.³, Аношин С.А.¹, Стояновская О.П.^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, Новосибирск

³Крымская астрофизическая обсерватория РАН

ta-savvateeva@ya.ru

Исследование протопланетных дисков играет важную роль для развития теории возникновения планетных систем вблизи одиночных и кратных звезд. Наблюдения формирующихся планет затруднены поглощением излучения в плотной газо-пылевой среде протопланетного диска. Однако присутствие в дисках массивных тел может быть обнаружено по косвенным признакам. Например, в дисках могут присутствовать крупномасштабные неоднородности: спиральные волны плотности и ударные волны, полости, сгущения вещества, изгибы и скручивания диска. Возникновение таких структур предсказаны газодинамическими расчетами и наблюдаются в виде структур на изображениях протопланетных дисков и циклических колебаний на кривых блеска звезд типа UX Ori, диски которых наблюдаются под небольшим углом к лучу зрения.

Первые модели учитывали только динамику газа в протопланетном дисках молодых звезд, считалось, что пылевая компонента хорошо перемешана с газовой и повторяет движение последней. Такое приближение оправдано для мелкой пыли, однако более крупные пылинки движутся отличным от газа образом, взаимодействуя с ним с помощью гравитации и сил трения. Несмотря на то, что пыль в молодых дисках составляет всего 1% от общей массы вещества, она играет важную роль в тепловом балансе всей системы и непосредственно участвует в формировании твердых планет и ядер планет гигантов. Поэтому задач расчета динамики пыли в газовой среде крайне актуальна.

Был описан ряд алгоритмов для включения пылевых частиц в газодинамические расчеты. Важной особенностью таких алгоритмов является наличие временного масштаба t_{stop} (stopping time). Это время скоростной релаксации, за которое скорость пылевой частицы убывает в e раз в результате трения о газовую среду. Оно накладывает ограничение на временной шаг интегрирования основных уравнений газодинамики $\tau < 2t_{stop}$. Для мелких пылинок размером ~ 1 мкм $t_{stop} \approx 100$ секунд, тогда как характерных времена расчетов динамики протопланетных дисков сотни и тысячи лет. Таким образом двухжидкостный подход может быть применим для расчетов динамики крупной пыли ~ 1 мм, а для мелкой без учета влияния пылевой компоненты на скорость газа.

В работе [1] предложен экономичный и точный метод численного моделирования газопылевых сред на основе двухжидкостного подхода для газодинамики сглаживания по частицам (для метода SPH). Данный метод был реализован в текущей работе в модифицированной версии программного кода Gadget-2. Результаты расчетов, выполненных с помощью данного алгоритма сравниваются с классическим подходом из работы [2]. Работа метода продемонстрирована на ряде задач для газопылевой среды с аналитическим решением - одномерной задаче о распространении акустических колебаний, одномерной задаче о распаде произвольного разрыва, а также на трехмерной задаче о разлете шара из газа и пыли в вакуум.

[1] *Stoyanovskaya O.P., Glushko T.A., Snytnikov N.V., Snytnikov V.N.* Two-Fluid Dusty Gas in Smoothed Particle Hydrodynamics: Fast and Implicit Algorithm for Stiff Linear Drag. // *Astronomy and Computing*, 25:25-37 (2018)

[2] *Monaghan J.J., Kocharyan A.* SPH simulation of multi-phase flow. // *Computer Physics Communications*, 87:225-235 (1995)

Моделирование оболочки RW Aur A по данным наблюдений с высоким угловым разрешением

Сафонов Б. С., Додин А. В.

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ

Мы представляем результаты моделирования наблюдений пылевой оболочки RW Aur A с разрешением 0.07-0.1" на спекл-поляриметре 2.5-м телескопа. Моделирование выполнялось с помощью программы расчета переноса излучения методом Монте-Карло MC3D (Wolf et al, 2003). Двухкомпонентная модель, состоящая из протопланетного диска и конуса, количественно объясняет ослабление потока и вид разрешенной оболочки. Типичный размер пылевого конуса 5-10 а.е., такой конус может являться запыленным дисковым ветром. Трудности возникают с интерпретацией большой интегральной поляризации источника.

По материалам статьи Сафонов, Додин, Письма в Астрон. Журнал, 2022, том 48, No 6, с. 445-454.

Особенности вспышек светимости во взаимодействующих протопланетных системах

Скляревский А. М., Воробьев Э. И.

Южный федеральный университет

При изучении протопланетных дисков, одними из самых ярких и интересных объектов являются фуоры. Это особый класс объектов, характеризующихся резким повышением светимости центральной звезды в десятки и сотни раз на масштабах времён порядка 100 лет. В настоящее время выделяется несколько основных вероятных механизмов возникновения таких вспышек светимости: магниторотационная неустойчивость, падение массивных сгустков на центральную звезду и близкий пролёт внешнего объекта (суб-)звёздной массы. Сам FU Orionis – объект, лёгший в основу класса – представляет собой систему из двух удалённых друг от друга звёздных объектов: центрального и возмущающего. При моделировании близких пролётов, зачастую вспышки происходят именно на возмущающем объекте, хотя в FU Orionis светимость повышается у центральной звезды. В докладе представлены результаты моделирования эволюции протопланетного диска подверженного близкому пролёту массивного объекта. Показано, что вследствие пролёта в системе может реализоваться вспышка светимости на центральной звезде за счёт развития магниторотационной неустойчивости.

Линия $H\alpha$ в минимумах блеска звезд типа UX Ori. Модельные предсказания

Тамбовцева Л. В.¹, Гринин В. П.^{1,2}

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

¹Санкт-Петербургский государственный университет

Спектральная переменность звезд типа UX Ori, наблюдаемая во время глубоких минимумов блеска, представляет большой интерес как для изучения природы затмений этих звезд, так и для исследования физических свойств излучающих областей, ответственных за образование эмиссионных спектров. В нашем докладе после краткого описания имеющихся в настоящее время наблюдений приводятся результаты численного моделирования переменности параметров линии $H\alpha$ в ходе затмений. Показано, что по изменениям таких характеристик, как эквивалентная ширина линии $H\alpha$ и лучевые скорости ее деталей, можно оценить характерные размеры пылевых фрагментов околосредного диска, вызывающих затмения, и направление их движения. Спектральная переменность во время затмений зависит также от пространственно-кинематических характеристик эмиссионной области, что позволяет наложить ограничения на ее параметры.

Структура протопланетного диска звезды V719 Per по данным оптических и инфракрасных наблюдений

Федорова Е. И.^{1,2}, Гринин В. П.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Звезда V719 Per (Sp M1.25) принадлежит молодому скоплению IC 348 и является одной из самых холодных из известных сегодня переменных типа UX Ori. Несмотря на низкую температуру звезды, в ее фотометрической активности не обнаружено никаких следов излучения горячих аккреционных пятен, что свидетельствует о низком темпе аккреции. На это же указывает и слабая эмиссия в линии H α , на основании которой V719 Per отнесена к семейству звезд типа WTTS. В нашей работе на основе имеющихся в литературе данных оптических и инфракрасных наблюдений рассчитано спектральное распределение энергии звезды в предположении, что оно состоит из фотосферного излучения звезды, ослабленного экстинкцией, и излучения окружающего ее протопланетного диска. В отличие от опубликованных ранее моделей мы исключили из рассмотрения фотометрические данные, относящиеся к ослабленным состояниям звезды. Расчеты выполнены методом Монте Карло с использованием программного комплекса RADMC3D. За основу принята модель flared диска с оптическими константами пыли из базы данных «Jena». Расчеты подтвердили наличие в диске звезды центральной полости радиусом около 0.3 а.е. слабо заполненной веществом. Возможной причиной появления такой полости является начавшийся процесс формирования внутренних планет в околозвездном диске V719 Per. Это обстоятельство, по-видимому, и является причиной низкой аккреционной активности звезды.

Поляриметрическая активность «дипперов» – сравнение переменности AA Тау в её ярком состоянии и LkCa15

Шаховской Д. Н., Садыков Р. В., Гранкин К. Н., Артеменко С. А.

Крымская астрофизическая обсерватория

Дипперы – недавно выделенный класс звезд типа Т Тельца с быстрой квазипериодической переменностью блеска, которая интерпретируется как переменная околозвездная экстинкция газо-пылевыми структурами на границе магнитосферы и диска. Характеристики и геометрия этих структур являются пока в основном предметом численного моделирования с очень ограниченным объемом наблюдательных данных. Мы представляем первые результаты поляриметрического мониторинга LkCa15 в сравнении с историческими наблюдениями прототипа класса дипперов AA Тау в период до длительного глубокого ослабления блеска, приведшего к исчезновению характерной для этого класса переменности. В результате можно выделить параметры поляризационной переменности, которые, видимо, характерны для класса в целом – амплитуда степени поляризации порядка 1%, позиционный угол плоскости собственной поляризации согласующийся с доминированием рассеяния в диске, слабая антикорреляция блеска и степени поляризации.

Фотометрическая активность звезд Ae Хербига CQ Tau, SV Сер и WW Vul в ближней инфракрасной области спектра по данным многолетних наблюдений

Шенаврин В. И.¹, Ростопчина-Шаховская А. Н.², Гринин В. П.^{3,4}, Шаховской Д. Н.²

¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ

²Крымская астрофизическая обсерватория РАН

³Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

⁴Санкт-Петербургский государственный университет

Звезды CQ Tau, SV Сер и WW Vul принадлежат семейству неправильных переменных звезд типа UX Ori. Фотометрическая активность таких звезд в оптической области спектра обусловлена изменениями околозвездной экстинкцией и является отражением нестационарных процессов в окружающих их протопланетных дисках. Характерные времена таких процессов у исследуемых звезд составляют от нескольких дней до десяти и более лет. Поэтому для их изучения необходим длительный фотометрический мониторинг. В нашем докладе представлены результаты инфракрасных наблюдений этих трех звезд в полосах JHKLM на временном интервале около 20 лет. В изменениях ИК излучения CQ Tau отчетливо виден длительный тренд на повышение блеска, наблюдавшийся в течение 20 лет. Наблюдаемая в оптике квази-периодическая компонента с характерным временем около 10 лет в ИК области спектра отсутствует или выражена в очень слабой форме. В ИК наблюдениях SV Сер отчетливо видна волна, с амплитудой до 0.5^m в полосе K. Она наблюдается во всех четырех полосах и напоминает затухающий процесс. В ИК наблюдениях WW Vul также видна волна с периодом 6-7 лет. Интересно, что этот период близок к $1/2$ периода между продолжительными затмениями, наблюдавшимися у этой звезды в оптическом диапазоне длин волн. Полученные результаты свидетельствуют о крупномасштабных возмущениях в окружающих молодые звезды околозвездных дисках, имеющих, по-видимому, разную природу.

Поляризационный отклик звезд типа UX Ori на крупномасштабные возмущения протопланетных дисков

Шульман С.Г.¹, Гринин В.П.^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Изучаются затмения звезд типа UX Ori крупномасштабными возмущениями протопланетных дисков. Рассмотрены две модели диска: flared диск и диск с утолщением в зоне сублимации пыли. Исследованы изменения звёздной величины звезды, её степени линейной поляризации и позиционного угла линейной поляризации при вращении крупномасштабного возмущения диска вокруг звезды. Параметры крупномасштабного возмущения варьировались в широком диапазоне. Моделирование проведено как для симметричного по азимуту возмущения, так и для вытянутого. Показано, что во время такого затмения и после него параметры линейной поляризации могут заметно изменяться. Возможно отклонение поляризационного угла линейной поляризации порядка 60 градусов. Подобные отклонения наблюдались во время некоторых особенно продолжительных и глубоких минимумов блеска UX Ori и WW Vul.