



ВСЕРОССИЙСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**«СОВРЕМЕННАЯ АСТРОНОМИЯ:  
ОТ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ  
ДО ЭКЗОПЛАНЕТ И ЧЕРНЫХ ДЫР»**

25-31 августа 2024 года

САО РАН

п. Нижний Архыз

Карачаево-Черкесская республика

*Сборник тезисов*

Нижний Архыз 2024

низких темпов аккреции,  $\dot{M} < 1 \cdot 10^{-8}$  масс Солнца в год, омический нагрев приводит к повышению температуры диска на 100 К вблизи его внутренней границы. Этот эффект обуславливает повышение потока излучения диска в среднем инфракрасном диапазоне. Следовательно, моделирование SED является полезным инструментом для исследования магнитной газодинамики аккреционных дисков молодых звезд. Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FEUZ-2020-0038).

### **Магнитная газодинамика аккреционных дисков молодых звезд с крупномасштабным магнитным полем**

*Хайбрахманов С. А.<sup>[1, 2]</sup>, Васюнин А. И.<sup>[3]</sup>, Кобозева В. А.<sup>[1]</sup>, Орлов А. К.<sup>[2]</sup>, Фрол Д. В.<sup>[3]</sup>*

*1 - Санкт-Петербургский государственный университет, 2 - Челябинский государственный университет, 3 - Уральский федеральный университет*

Представляется (1+1)-мерная магнитогазодинамическая (МГД) модель аккреционных дисков молодых звезд с крупномасштабным магнитным полем. В модели учитывается перенос углового момента посредством турбулентных напряжений и магнитных натяжений в плоскости диска. Вертикальная структура диска моделируется в предположении о магнитоэлектростатическом равновесии. Температура газа определяется с учетом турбулентного нагрева, диссипативных МГД-эффектов и нагрева внешними источниками. Магнитное поле рассчитывается из уравнения индукции с учетом омической и магнитной амбиполярной диффузии, магнитной плавучести и турбулентной диффузии. Степень ионизации рассчитывается с учетом тепловой и ударной ионизации. Уравнения ионизационного баланса включают реакции с участием основных атомарного и молекулярного ионов, а также однократно заряженных пылинок.

С помощью модели исследуется интенсивность и геометрия магнитного поля аккреционных и протопланетных дисков молодых звезд. Показывается, что имеющиеся наблюдательные данные о магнитном поле естественным образом объясняются в рамках теории остаточного магнитного поля. Области низкой степени ионизации, эффективной диффузии магнитного поля и подавленной турбулентности («мертвые» зоны) характеризуются повышенной плотностью газа и пониженной интенсивностью магнитного поля. Размер «мертвой» зоны уменьшается в течение эволюции диска. Основными носителями заряда внутри «мертвых» зон являются пылинки типичных размеров 0.1 мкм. Нагрев диссипативными МГД-эффектами приводит к повышению температуры газа на 100 К вблизи внутренней границы «мертвой» зоны, что обуславливает повышение потока излучения диска в среднем инфракрасном диапазоне. В условиях, когда пылинки вырастают до размеров 0.1 мм, «мертвая» зона отсутствует, на периферии диска генерируется динамически сильное магнитное поле, которое замедляет скорость вращения газа в диске и приводит к увеличению скорости радиального дрейфа пылинок.

Работа Хайбрахманова С.А. выполнена при финансовой поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «Базис» (проект 23-1-3-57-1). Васюнин А.И. и Фрол Д.В. благодарят за финансовую поддержку Министерство образования и науки Российской Федерации (проект FEUZ-2020-0038).

### **Исследование переменности излучения мазеров в областях образования массивных звезд**

*Хайбрахманов С. А.<sup>[1, 2]</sup>, Соболев А. М.<sup>[3]</sup>*

*1 - Санкт-Петербургский государственный университет, 2 - Челябинский государственный университет, 3 - Уральский федеральный университет*

В работе анализируются наблюдательные данные о вспышках мазеров метанола на частоте 6.7 ГГц в окрестностях массивных молодых звездных объектов (ММЗО). Рассматривается малоамплитудная короткопериодическая

переменность потока излучения мазеров на фазе спада вспышки. Используются опубликованные данные о переменности в объектах G33.641–0.228, G11.497–1.485 и G323.46–0.08, а также других объектах, для которых имеются свидетельства о таком типе переменности.

Для объектов S2551R NIRS 3, NGC6334I, G358.93–0.03, G24.33+0.14 и G323.46–0.08 установлена непосредственная связь между вспышками мазерного излучения на 6.7 ГГц и вспышками светимости ММЗО, вероятно вызванными эпизодической аккрецией вещества из околозвездного аккреционного диска. В рамках данного подхода высказывается гипотеза о том, что короткопериодическая переменность излучения мазеров на фазе спада вспышки связана с механическими колебаниями молодой звезды, которые индуцируются падением вещества из диска на поверхность звезды. Аналитические оценки периодов собственных колебаний звезды показывают, что данный механизм может быть причиной переменности с периодом порядка 1 дня, как в случае объекта G33.641–0.228. Переменность с периодами в несколько десятков дней, наблюдающаяся в объектах G323.46–0.08, G11.497–1.485 и др., может быть объяснена пульсационной неустойчивостью звезд, вызванной каппа-механизмом в слое частичной ионизации гелия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-12-00258).

### **Изучение ранних стадий образования массивных звезд с помощью молекулярных мазеров в миллиметровом диапазоне длин волн**

*Шахворостова Н. Н.<sup>[1]</sup>*

*1 - Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

Массивные звезды оказывают очень большое влияние на весь процесс звездообразования в нашей Галактике, однако детали рождения массивных звезд остаются во многом загадкой. Сложность заключается в том, что массивные протозвезды быстро эволюционируют, скрыты в плотных газопылевых облаках и расположены далеко от Солнца. Все это затрудняет их наблюдение и изучение, так что модельные представления о ранних стадиях эволюции массивных звезд проверялись на довольно ограниченной выборке объектов. Одним из наблюдательных инструментов исследования массивных молодых звездных объектов (MYSO) являются молекулярные мазеры. Они помогают обнаружить такие объекты, а также отслеживают аккреционные диски и истекающие от MYSO потоки вещества. Благодаря наблюдениям мазеров метанола и водяного пара было выявлено несколько вспыхивающих MYSO, в которых происходит дисковая аккреция вещества, сопровождаемая вспышками мазерного излучения. С помощью космического телескопа Spitzer было идентифицировано большое количество небольших темных молекулярных облаков (IRDC - Infrared Dark Clouds), которые считаются предшественниками скоплений молодых звезд. Эти облака содержат плотные молекулярные ядра, представляющие собой формирующиеся массивные звезды на ранних стадиях эволюции. В этих облаках часто наблюдаются различные мазеры, в связи с чем актуальной является задача установления связи мазеров и их свойств с последовательными этапами эволюции массивных протозвездных объектов. В докладе будут рассмотрены некоторые аспекты этой задачи на примере спектральных наблюдений нескольких объектов MYSO и выборки темных облаков IRDC в миллиметровом диапазоне длин волн.

### **Дифракционное и рефракционное рассеяние мазеров H<sub>2</sub>O в области звездообразования W49N**

*Шахворостова Н. Н.<sup>[1]</sup>*

*1 - Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

Пространственная структура мазерных пятен H<sub>2</sub>O в области звездообразования W49N была изучена с помощью космического радиointерферометра "Радиоастрон" с беспрецедентным разрешением около 25 угловых микросекунд.