

О Т З Ы В

Официального оппонента о диссертации
Кирсановой Марии Сергеевны

На тему: МНОВОВОЛНОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И КИНЕМАТИКИ
ОБЛАСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ МАССИВНЫХ ЗВЕЗД

Представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия

Актуальность темы. Диссертация М.С.Кирсановой «Многоволновые исследования структуры и кинематики областей образования массивных звезд» посвящена проблеме структуры и эволюции областей образования массивных звезд и, в частности, областей НII. Исследование процессов звездообразования было, есть и всегда будет актуальным в астрофизике. Этому направлению посвящено большое число научных работ. Для изучения автором диссертации взяты области образования массивных звезд из спирального рукава Персея. В выборку также были включены объекты Барьер Ориона и RCW 120. Массивные звезды придают форму звездным и газовым структурам в галактиках посредством радиационного и механического воздействия на окружающую межзвездную среду и являются маяками звездообразования, в частности, на изображениях галактической плоскости в УФ, оптическом, ИК и радиодиапазоне.

До сих пор достаточно актуальной является роль расширяющихся областей НII в процессе образования звезд в их окрестностях. Не найдено примеров сферических областей НII, со всех сторон погруженных в молекулярные оболочки, чьи характеристики соответствовали бы классическим теоретическим моделям.

Все эти процессы в достаточно полной степени проанализированы и изложены в диссертации М.С.Кирсановой.

Научная новизна. В диссертации М.С.Кирсановой получен ряд совершенно новых научных результатов. Наиболее значительными из них и, безусловно, очень ценными, являются проведенные наблюдения в различных диапазонах волн и на различных инструментах, а также теоретическое моделирование расширяющихся областей НII.

Разработанная автором численная модель MARION, включающая в себя химико-динамическую эволюцию газа и эволюцию ансамбля пылевых частиц и ПАУ, не имеет мировых аналогов. В модели MARION было впервые объяснено слияние фронтов диссоциации молекул H_2 и CO по наблюдениям интерферометра ALMA. Применение этой модели позволило **впервые оценить** многие параметры областей НII. Например:

- оценить теоретические параметры слоя, сжатого ударной волной от расширяющейся области НII RCW120;
- получить распределения поглощающего вещества и электронной плотности по всей видимой поверхности областей НII S 235, S 255 и S 257 и определить расстояния между фронтами ионизации и диссоциации в S 255 и S 257;
- оценить скорости расширения протяженных областей НII S 235 (≈ 4 км/с), S 255 (≈ 1 км/с), а также компактной области S 235 A (до 1 км/с);

- определить трехмерную структуру областей НП, и показать, что области S 235 и S 257 являются структурами типа блистера, а S 255 окружена плотной нейтральной оболочкой;
- показать, что в областях фотодиссоциации с умеренным УФ-полем содержания молекул наследуются с предыдущей стадии плотного и холодного молекулярного облака.

Научная и практическая значимость диссертации заключается в комплексном использовании различных методов наблюдений молекулярных облаков, областей НП и областей фотодиссоциации. Для этого была использована многоволновая астрономическая информация. Автором предложен способ исследования, основанный на наблюдениях линий излучения ионизованного газа в широкополосных фильтрах с дополнением этих наблюдений архивными данными в дальнем ИК-диапазон. Это открывает возможность проведения комплексного исследования областей НП и других туманностей северного неба с помощью российских телескопов.

Широкоугольные изображения туманностей, полученные на телескопах Цейсс-1000 САО РАН и 2.5-м КГО ГАИШ МГУ, выложены в открытый доступ. Они могут и далее использоваться в организациях, где проводятся исследования областей звездообразования, молекулярных облаков и межзвездной среды в Галактике.

Диссертация М.С.Кирсановой состоит из введения, шести глав, заключения, списков литературы, рисунков и таблиц и 5 приложений.

Во введении обосновывается актуальность проводимых в диссертации исследований, проводится обзор научной литературы по проблеме звездообразования в гигантских молекулярных облаках Галактики. Рассмотрены процессы, происходящие в молекулярных облаках, где происходит процесс формирования массивных звезд. Сформулированы цели, и задачи работы. Характеризуется новизна полученных результатов и их апробация. Показана научная и практическая значимость выполняемой работы. Дается краткое изложение содержания диссертации и полученных результатов. Описан личный вклад соискателя в результаты работы.

Первая глава посвящена созданию выборке объектов, наиболее подходящих для сравнения наблюдений с результатами теоретических моделей. Объекты для исследования выбирались на основе обзора областей образования массивных звезд в линиях молекул из спирального рукава Персея. Также были включены объекты Барьер Ориона и RCW 12. Наблюдения проводились в радиолиниях молекул $^{13}\text{CO}(1-0)$ и $\text{CS}(2-1)$ на 20-м телескопе Космической обсерватории Онсала (Швеция) в 2005 и 2006 годах, а также в Эффельсберг (Германия) на 100-м радиотелескопе и АПЕХ (Чили) в миллиметровом и сантиметровом диапазонах волн. Был получен большой массив наблюдательных данных.

Вторая глава посвящена описанию разработанной под руководством автора диссертации химико-динамическая модель MARION, которая предназначена для расчета свойств расширяющейся области НП, окруженной газо-пылевым облаком. Приводятся результаты тестирования части модели, отвечающей за распределения содержания молекул и тепловой баланс областей фотодиссоциации. Показано, как эта модель объясняет особенности ФДО Барьер Ориона. Для этого рассмотрены: формирование сжатого слоя на границе ФДО, дрейф пыли под давлением излучения, слой повышенной плотности между нагретой ФДО и холодным молекулярным облаком под воздействием ударной волны, вытеснение пыли из ФДО давлением излучения массивных звезд и др.

Также показано, что наблюдаемые особенности этой области не воспроизводятся стационарной моделью и естественным образом появляются в динамической модели ФДО. Модель MARION была использована для химико-динамического исследования переходов $\text{HII}/\text{H I}/\text{H}_2$ и $\text{CII}/\text{C I}/\text{CO}$.

Третью главу автор посвятил, в основном, трехмерной структуре областей HII и связанным с ними областям фотодиссоциации. В этой главе представлены наблюдения в оптических линиях области HII S 235, а также областей HII из комплекса S 254--S 258 с помощью оптического фотометра с перестраиваемым фильтром MaNGaL на телескопе Цейсс-1000 в САО РАН. Большое внимание уделено исследованию областей S 255 и S 257. Наблюдения проводились в линиях $\text{H}\alpha$, $\text{H}\beta$, в двух линиях $[\text{S II}] \lambda 6716, 6731 \text{ \AA}$ и в линии $[\text{N II}]$ на $6583 \text{ \AA}$, а в комплексе S 254--S 258 также в линии $[\text{O III}]$ на $5007 \text{ \AA}$. Полученные данные позволили изучить структуру этих ионизованных областей, а привлеченные архивные данные – структуру их нейтральных оболочек.

Глава 4 полностью посвящена гигантскому молекулярному облаку G174+2.5 и расположенному в нем сложному комплексу звездообразования S 235. Приводятся результаты наблюдений гигантского молекулярного облака в радиолиниях молекул $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$, $\text{CS}(2-1)$ и ряда других на 20-м телескопе обсерватории Онсала. В облаке выделяется массивное молекулярное волокно WB673. Показано, что волокно может быть примером объекта, на формирование которого повлияли расширяющиеся оболочки: области HII S 231 и S 232 с одной стороны и ИК-туманность (которая может быть старым остатком сверхновой) с другой стороны.

В **Главе 5** на основе наблюдений на длине волны 2 мкм с использованием узкополосных фильтров для линий $\text{Br}\gamma$, H_2 и $[\text{Fe II}]$ на камере ASTRONIRCAM 2.5-м телескопа КГО ГАИШ МГУ анализируется структура и физические условия в областях фотодиссоциации S 255, S 257, S 140, NGC7358 и Барьера Ориона. Обсуждается взаимное расположение фронтов ионизации атомов H и диссоциации молекул H_2 , а также структур, связанных с образованием молодых звезд на периферии этих областей HII . Показано, что профили спектральных линий в S 255 и S 257 свидетельствуют о том, что происходит медленное расширение молекулярных оболочек этих областей HII со скоростью не более 1 км/с.

Глава 6 целиком посвящена исследованию молекулярной оболочке области HII RCW120 южного неба в линиях излучения молекул $^{13}\text{CO}(1-0)$, C^{18}O , CS и ряде других линий на телескопе АРЕХ в широком интервале частот от 200 до 690 ГГц. Исследуется геометрия этой оболочки по анализу линий CO низкого возбуждения (а именно, с вращательными квантовыми числами $J = 1, 2, 3$), которая на ИК-изображениях представляет собой почти идеальное кольцо.

В **заключении** диссертации автор подводит итоги проделанной работы и обсуждает план работы в будущем, основываясь на результатах, полученных в диссертации. Прежде всего, автором будут продолжены исследования структуры областей HII на оптических и ИК-телескопах. Для ряда ярких туманностей из спирального рукава Персея и более близких областей звездообразования на оптических телескопах САО РАН уже получен новый наблюдательный материал. Намечены новые наблюдения на 2 мкм в КГО ГАИШ МГУ.

Обсуждается влияние звездного ветра при формировании структур и кинематики газа в окрестностях молодых массивных звезд. Однако, параметры звездного ветра настолько неопределенны, что введение его в модель приводит к появлению дополнительных неизвестных и практически свободных параметров. Сделан обоснованный вывод, что обнаружение рентгеновского излучения, ассоциируемого со звездным ветром в областях НII, на изображениях, полученных, например, обзорным телескопом Спектр-Рентген-Гамма, и линий высокого возбуждения металлов на планируемом телескопе Спектр-УФ позволит ограничить параметры звездного ветра у массивных звезд.

В целом диссертация М.С.Кирсановой является законченным научным исследованием. Поставленные диссертантом задачи были выполнены.

Замечания по диссертации.

– Область W75N IRAS2 имеет структуру протопланетного диска, в котором формируется массивная звезда. Долговременные наблюдения мазерного излучения водяного пара показали, в некоторые эпохи происходил сброс оболочки (либо фрагментов оболочки). В другой области S255 в 2015 г. имела место вспышка аккреции и выброс вещества. При этом произошло внезапное увеличение излучения в континууме в широком диапазоне длин волн, от радио до инфракрасного излучения. Также наблюдалась значительная вспышка в линии метанольного мазера на частоте 6.7 ГГц и в мазерах водяного пара и гидроксила. Предполагается, что массовые аккреционные всплески являются обычным явлением в областях образования массивных молодых звездных объектов.

Могут ли перечисленные процессы (сброс оболочек или их фрагментов и вспышки аккреции с выбросами массы) как-то влиять на характер расширения и на структуру области НII? Эти процессы никак не были затронуты в диссертации.

– На рис. 6 (стр. 34) не указано, в каких единицах представлена карта.

– Имеются отдельные опечатки. Например, многократно повторяется название «комплекс S234-S257», видимо, вместо «комплекс S254-S257». Источник S234 находится в совершенно другой области неба, чем источники комплекса S254-S257. В главе 5 вместо NGC7538 написано NGC7358.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования М.С.Кирсановой.

Основные результаты диссертации опубликованы в 22 научных статьях в рецензируемых журналах, включенных ВАК в перечень ведущих периодических изданий и 4 в других изданиях. Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на российских и зарубежных конференциях и научных семинарах. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Уровень решаемых задач соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Диссертационная работа Кирсановой Марии Сергеевны «Многоволновое исследование структуры и кинематики областей образования массивных звезд» является завершенной научной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов соответствует требованиям, предъявляемым к

докторским диссертациям. Диссертант, Кирсанова Мария Сергеевна, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник
Государственного Астрономического
института им. П.К.Штернберга
Московского Государственного
Университета им. М.В.Ломоносова,
(e-mail: eelekht@mail.ru)
119234, Москва, Университетский проспект, д.13),
д-р физ.-мат. наук

Подпись Лехта Е.Е. удостоверяю

Начальник отдела канцелярии ГАИШ МГУ



Лехт
Евгений Евгеньевич
19.03.2025

Л.Н.Новикова