

Отзыв официального оппонента В.П. Гринина о диссертации М.С. Кирсановой «Многоволновые исследования структуры и кинематики областей образования массивных звезд», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация Марии Сергеевны Кирсановой посвящена изучению областей образования массивных звезд в нашей Галактике. Благодаря высоким светимостям, эти звезды оказывают сильное влияние на окружающую среду и, тем самым, влияют на процессы звездообразования менее массивных звезд в их окрестностях. Это обстоятельство делает тему диссертационной работы М.С. Кирсановой весьма актуальной и важной.

Диссертация состоит из Введения, шести глав, Заключения, нескольких Приложений и обширного списка цитированной литературы. Во Введении дан краткий обзор работ по физике межзвездной среды, описаны методы ее исследования, сформулированы цели работы и результаты, выносимые на защиту, отмечена их новизна и практическая значимость, указан также вклад автора диссертации в совместные работы.

В главе 1 представлена подробная информация о наблюдениях, использованных в диссертации и описана выборка источников, являющихся объектами исследования. Эти источники содержат области H II, образованные молодыми массивными звездами, а также мазеры метанола, которые являются индикаторами возраста молодых звездных объектов. Часть наблюдений выполнялась на российских инструментах (Цейсс-1000, БТА САО РАН и 2.5-м телескопе ГАИШ), часть – на радиотелескопах других обсерваторий. В диссертации также использованы имеющиеся в открытом доступе научные архивы обсерваторий Herschel, AKARI, Spitzer и ряд других. Построены карты объектов в радиолиниях молекул ^{13}CO (1–0) и CS (2–1). Показано, что в рукаве Персея преобладают области звездообразования, в которых доминируют мазерные источники со скоростями, смещенными в красную сторону относительно тепловых линий. По результатам наблюдений отобраны объекты наиболее перспективные для многоволновых исследований, обсуждаемых в последующих главах диссертации.

Глава 2 начинается с краткого обзора теоретических работ, посвященных моделированию областей H II. Далее приводится подробное описание алгоритма MARION, разработанного при активном участии автора диссертации для численного моделирования областей звездообразования. Важной особенностью этого алгоритма является наличие производной по времени в уравнениях, определяющих концентрации атомов и молекул в исследуемых областях. Это позволяет рассчитывать динамические модели в условиях сильных отклонений от ионизационного и диссоциативного равновесия, характерных для ряда объектов в областях звездообразования. При расчете динамики пылевой компоненты среды учитывается как световое давление излучения звезд, так и столкновения пылинок с газом. Рассчитывается также заряд пылинок. Приводятся результаты тестирования части модели, отвечающей за распределения содержания молекул и тепловой баланс фотодиссоционных областей (далее ФДО). При расчете теплового баланса учтены основные механизмы нагрева и охлаждения газа. При моделировании полей излучения в диссертации используется метод *escape probability*. Этот метод был впервые введен в теорию переноса излучения в работах В.В. Соболева и используется как в движущихся, так и в неподвижных средах, но при этом по-разному зависит от параметров среды. Хотелось бы узнать, какой из них был использован при расчетах.

При выборе химического состава ФДО автор использует со ссылкой на программу Ферланда CLOUDY химсостав зон H II. Здесь было бы уместно отметить, как сильно такой химсостав отличается от стандартного (солнечного) и есть ли связь между химсоставом зон H II и H I и присутствием в них пыли.

К этой главе есть еще одно замечание: в ней (и в диссертации в целом) не учитывается влияние межзвездного магнитного поля на структуру и динамику исследуемых областей звездообразования. В то же время, начиная еще с пионерских работ Г.А. Шайна известно, что магнитное поле Галактики способно влиять на динамику газопылевых облаков, выстраивая их вдоль магнитных силовых линий. Хотелось бы услышать комментарий автора диссертации по этому вопросу.

Глава 3 и последующие главы диссертации посвящены исследованию трехмерной структуры областей H II и связанных с ними молекулярных областей. Представлены наблюдения области H II S 235, а также областей H II из комплекса S 234-S 258 в

частотах линий H α , H β , [S II] λ 6716 А и ряда других. Наблюдения выполнялись на телескопе Цейсс-1000 САО РАН с помощью оптического фотометра с перестраиваемым фильтром MaNGaL. В комплексе S 234-S 258 наблюдалась также запрещенная линия кислорода [O III] 5007 А. Подробно описана процедура обработки полученных изображений и их калибровки с помощью спектров низкого разрешения, полученных на 6 м телескопе САО РАН с помощью спектрографа SCORPIO-2. На основе этих данных исследовано распределение вещества в этих объектах и их морфология. С помощью ИК наблюдений из архива Herschel определены температура и лучевая концентрация пыли в направлении на исследуемые области. Одним из главных итогов третьей главы являются карты этих областей, описывающие распределение электронной концентрации, интенсивности линии H альфа и поглощения A $_V$, а также выводы о характере движения газа в исследуемых областях.

В четвертой главе представлены результаты численного моделирования комплекса звездообразования S 235 и гигантского молекулярного облака G174+2.5. Работа основана на наблюдениях в радиолиниях молекул ¹³CO (1–0), CS (2–1) и ряда других полученных на 20-м радиотелескопе обсерватории Онсала. Показано, что двух-компонентная структура профилей линий [C II] и [O I] обусловлена большой оптической толщиной газа в этих линиях, а не расширением передней и задней стенок газовой оболочки. Здесь следовало бы добавить, что двух-компонентная структура профиля спектральной линии, образующейся в оптически толстой среде, возможна лишь при условии, что функция источников убывает в направлении на наблюдателя.

По результатам численного моделирования дано подробное описание структуры исследуемого комплекса. По линиям аммиака сделаны оценки температуры и концентрации ряда молекул в плотных сгустках облака. Показано, что газ в них холодный и имеет плотность порядка 10³ см⁻³. Высказано интересное предположение о том, что молекулярный состав некоторых ФДО мог быть унаследован от предыдущей стадии их эволюции и обусловлен низкой скоростью химических реакций.

В пятой главе обсуждается структура и физические условия в фотодиссоционных областях S 255, S 257, S 140, NGC 7358 и Барьера Ориона. Наблюдательной основой для этого анализа служат ИК наблюдения в окрестности 2 мкм, полученные с использованием узкополосных фильтров в линиях Br γ , H2 и [Fe II] на камере ASTRONIRCAM 2.5-метрового телескопа ГАИШ. Показано, что пространственное распределение излучения в частотах линии Br γ и запрещенной линии [Fe II] в NGC 7538 различно, что обусловлено неоднородной структурой области H II: ионизованный газ в областях H II и плотный газ в ФДО состоят из мелких плотных сгустков, погруженных в более разреженную среду. Профили спектральных линий в S 255 и S 257 свидетельствуют о медленном расширении молекулярных оболочек этих областей H II со скоростью не более 1 км с⁻¹.

Последняя, шестая глава диссертации посвящена изучению крупномасштабной структуры области H II RCW 120. Наблюдательный материал для этой работы получен на телескопе APEX (Atacama Pathfinder EXperiment). Использовались данные для линий молекул ¹³CO и C¹⁸O, профили которых подробно проанализированы и описаны. Как правило, это асимметричные двухкомпонентные профили, характерные для оптически толстых сред с градиентом функции источников, направленным на наблюдателя. Для изучения распределения пыли вокруг RCW 120 были использованы данные каталога 2MASS.

Моделирование наблюдений выполнено на основе описанной в Главе 2 модели расширяющейся области H II. Показано, что плотная молекулярная оболочка RCW 120, напоминающая тор, погружена в протяженную диффузную среду, в которой пыль хорошо перемешана с газом. Важным результатом этой работы являются радиальные распределения физических параметров и химических обилий оболочки RCW 120, а также модельные яркостные температуры спектральных линий.

В Заключении диссертации кратко подведены итоги проделанной работы и намечены направления дальнейших исследований.

Оценивая диссертацию в целом, необходимо отметить прежде всего высокий уровень теории, используемой при моделировании областей звездообразования, а также высокое качество наблюдательного материала, положенного в основу этой работы. Результаты,

полученные в диссертации и вынесенные на защиту, надежно обоснованы и хорошо апробированы на российских и международных конференциях. Они вносят крупный вклад в развитие этой важной области современной астрофизики.

Работа М.С. Кирсановой удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям. Полученные автором результаты могут быть рекомендованы для включения в учебники по астрофизике и научные пособия для студентов и аспирантов, изучающих процессы звездообразования, а также для использования в научных исследованиях по этой тематике, проводимых в астрономических институтах и обсерваториях Российской Федерации. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации, а сама диссертация написана хорошим литературным языком и хорошо иллюстрирована графическим материалом. Она может послужить основой для монографии по физике областей звездообразования массивных звезд.

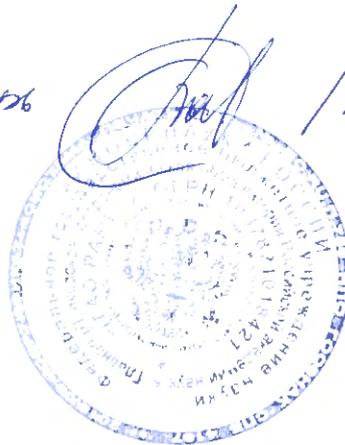
Считаю, что Мария Сергеевна Кирсанова безусловно заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Отзыв подготовлен доктором физ.-мат. наук,
зав. лаб. звездообразования ГАО РАН Владимиром Павловичем Грининым,
Адрес: 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д. 65/1
Тел. 8 (812) 3637345
эл. адрес: vgcrao@mail.ru grinin@gaoran.ru

Подпись В.П. Гринина заверяю:

18.03.2014г.

уч. секретарь



/Барсукова О.Ю./