

## ОТЗЫВ

официального оппонента Зинченко Игоря Ивановича, заведующего отделом, отдел № 180 «Радиоприёмной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии» Отделения «Физики плазмы и электроники больших мощностей» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», на диссертацию Щурова Михаила Аристотелевича на тему «Тепловое и мазерное свечение межзвёздного газа в тёмных молекулярных облаках», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Диссертация М.А. Щурова посвящена в основном исследованию двух молекулярных облаков Галактики, в которых активно идёт процесс звездообразования. Исследования этого процесса, несмотря на долгую историю, остаются весьма актуальными, поскольку многие его детали неясны и требуют дальнейшего изучения. Основную информацию о физико-химических условиях в таких объектах дают наблюдения спектрального излучения молекул – как теплового (или квазитеплового), так и мазерного. Оба эти вида молекулярного излучения анализируются в данной диссертации и её актуальность не вызывает сомнений. Наблюдения мазерного излучения проводились на уникальном наземно-космическом радиointерферометре «Радиоастрон». Соискателем была разработана оригинальная программа обработки этих данных, что является важной частью диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, списков рисунков, таблиц, сокращений и терминов, а также двух приложений. Во введении обосновывается актуальность работы, описываются её цель, задачи, научная новизна, научная и практическая значимость, личный вклад соискателя, излагаются положения, выносимые на защиту, и приводятся публикации по теме работы.

Первая глава посвящена изучению тёмного облака L379, а точнее области вокруг яркого ИК источника IRS1 в этом облаке. Вероятно, в этой области происходит образование массивных звёзд. Проводится обработка и анализ выполненных в 2003 и 2007 годах наблюдений этой области в нескольких диапазонах частот при помощи 30-м радиотелескопа Института миллиметровой астрономии (IRAM). В результате обработки этих данных было идентифицировано большое число линий разных молекул – от двухатомных до девятиатомных. Подробно обсуждаются результаты наблюдений нескольких молекул – метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), метилцианида ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) и диметилэфира ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ). У этих молекул (особенно у метанола) зарегистрировано большое число спектральных линий, по которым были построены так называемые вращательные диаграммы. В условиях локального термодинамического равновесия (ЛТР) эти диаграммы дают оценки кинетической температуры газа и лучевой концентрации молекул. Результаты указывают, в частности, на наличие горячего компонента в этой области с увеличенной дисперсией скоростей. Обсуждается его возможная природа. Интересный вывод был сделан на основе не-ЛТР моделирования некоторых данных наблюдений метанола. Оказалось, что содержание двух разновидностей метанола (А и Е) примерно одинаково. Для многих других молекул также были сделаны оценки их содержания в приближении ЛТР. Оказалось, что в целом молекулярный состав газа очень близок к составу известной области образования массивных звёзд DR21(OH). Есть, однако, и некоторые отличия, которые можно интерпретировать, как указание на более молодой «химический возраст» L379 IRS1 по сравнению с DR21(OH).

Во второй главе представлены результаты исследований области звёздообразования NGC2071. Это известный объект, которому было посвящено довольно много работ. В настоящей работе используются данные наблюдений мазеров на молекулах воды при помощи наземно-космического радиоинтерферометра «Радиоастрон». Этот инструмент обеспечивает сверхвысокое угловое разрешение и основной целью работы был поиск ультракомпактных структур в этом источнике. В диссертации детально описана процедура обработки данных, которая выполнялась с использованием как стандартных пакетов программ, так и собственных разработок соискателя. Впервые получена карта мазерных пятен, которая на наземных базах включает в себя 13 пространственных компонент. На наземно-космических базах зарегистрирован один компонент. Найдено, что он состоит из сравнительно протяженной и очень компактной составляющих. Размер последней всего в 2 раза больше размера Солнца.

В третьей главе диссертации описывается разработанная соискателем программа LineViewer, предназначенная для оптимизации процессов обработки и анализа данных наблюдений мазерных линий на интерферометре «Радиоастрон». Подробно описывается структура программы, функционал разных модулей и пр. Приводятся примеры её использования. Программа оказалась удобна в использовании и позволяет заметно облегчить и ускорить процедуру обработки соответствующих данных наблюдений.

В приложениях приводятся листинги программных кодов, разработанных автором.

Таким образом, в работе получен ряд новых результатов, основные из которых заключаются в следующем.

1. Получены новые данные о молекулярном составе и физических условиях в области образования массивных звёзд L379 IRS1. Выявлено наличие горячего компонента в этой области. Найдено, что содержание А и Е метанола практически одинаково. Показано, что данная область звёздообразования, вероятно моложе, чем известная область образования массивных звёзд DR21(OH).

2. По данным радиоинтерферометрических измерений, в том числе при помощи наземно-космического интерферометра «Радиоастрон», впервые получена детальная карта распределения мазеров на молекулах воды в направлении ИК источника IRS1 в отражательной туманности NGC2071. Найден очень компактный компонент, размер которого сравним с размером Солнца.

3. Разработана и успешно применена компьютерная программа, предназначенная для оптимизации обработки наблюдений мазеров на наземно-космическом интерферометре.

Достоверность результатов не вызывает сомнений. Она обеспечивается использованием данных высокого качества, применением апробированных методов обработки и анализа данных. Хотелось бы отметить тщательность подхода соискателя к обработке данных, как в случае наблюдений на одиночной антенне, так и при работе с интерферометрическими данными. Также стоит отметить, что все основные результаты опубликованы в ведущих рецензируемых астрономических журналах.

В работе есть некоторые недочёты, которые никак не влияют на основные результаты и выводы. К ним можно отнести следующее.

1. Стоило бы обосновать выбор L379 в качестве объекта исследования (для NGC2071 некоторое обоснование имеется). Тёмных облаков много, чем обусловлен выбор именно этого?

2. В диссертации NGC2071 называется «тёмной отражательной туманностью». Вообще-то тёмные и отражательные туманности – это разные виды туманностей в астрономии. Они по-разному выглядят по крайней мере в оптическом диапазоне. NGC2071 обычно классифицируется именно как отражательная туманность. Конечно, и то, и другое представляет собой газопылевое облако, в котором могут проходить процессы звёздообразования.

3. В подписи к рис. 1.4 в начале вместо «правый» должно быть «левый».

4. В разделе 2.4 говорится, что чувствительность интерферометра на длинных базах падает. Тут надо было бы уточнить, чувствительность по какому параметру имеется в виду. Как известно, чувствительность интерферометра по плотности потока не зависит от длины базы, а по яркостной температуре действительно падает с её увеличением.

5. В описании формулы (3.2) есть неточности. Во-первых, полуширина на полувывсоте функции Гаусса и среднеквадратичное отклонение – это разные вещи. Во-вторых,  $\sigma$  в данной формуле – это не полуширина на полувывсоте, а полная ширина функции на этом уровне.

6. В разделе 3.5.3 говорится, что барицентр Солнечной системы (БСС) движется со скоростью 20 км/с в направлении ЛСП (локального стандарта покоя) и приводятся экваториальные координаты ЛСП. На самом деле ЛСП таких координат не имеет, а направление движения БСС относительно ЛСП называется апексом. Описанное движение называется стандартным движением БСС относительно кинематического ЛСП (есть разные определения ЛСП).

7. В работе есть еще некоторое количество (небольшое) опечаток и неточностей.

Эти замечания не снижают общей высокой оценки работы. В целом диссертационная работа М.А. Щурова является законченным научно-исследовательским трудом и удовлетворяет всем требованиям положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, М.А. Щуров, безусловно, заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Зав. отделом ИПФ РАН  
доктор физ.-мат. наук  
тел.: +7-831-4367253  
Email: [zin@ipfran.ru](mailto:zin@ipfran.ru)  
Адрес: 603950 Нижний Новгород,  
ул. Ульянова, 46, ИПФ РАН

И.И. Зинченко

Подпись И.И. Зинченко заверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН

И.В. Корюкин