

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 Павлюченкова Ярослава Николаевича на тему «Излучение молекул и пыли в дозвёздных и протозвёздных объектах», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Исследование процессов звёздообразования является одной из ключевых задач астрофизики. Хотя общая картина, по крайней мере для звёзд небольшой массы, представляется понятной, существует множество нерешённых проблем. Что же касается образования массивных звёзд, то пока нет даже общепринятого сценария этого процесса. Исследования областей звёздообразования основаны главным образом на наблюдениях излучения молекул и пыли в этих объектах. Однако интерпретация этих наблюдений, которая представляет из себя решение обратной задачи, требует сопоставления их с достаточно хорошо обоснованными теоретическими моделями. Разработке таких моделей и применению их к анализу данных наблюдений и посвящена диссертационная работа Я.Н. Павлюченкова. Существующие модели часто являются слишком упрощёнными. Этим обусловлена актуальность данной работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Три первые главы посвящены моделированию излучения молекул в различных объектах. Вначале рассматриваются общие вопросы переноса излучения в линиях молекул в протозвёздных облаках и протопланетных дисках. Анализируются и сравниваются различные приближённые методы моделирования переноса излучения. Предложена модификация приближения большого градиента скорости для кеплеровских дисков, которая позволяет значительно ускорить расчёты. Описан и обоснован принятый автором метод численного решения уравнения переноса. Подробно рассмотрен вопрос формирования профиля линий на примере молекулы НСО^+ . Предложена так называемая спектральная функция вклада, которая наглядно показывает, какие части облака вносят основной вклад в излучение при разных отстройках от центра линии.

В следующей главе подробно анализируется влияние различных факторов на профиль линии, как для простейшей модели однородного сферически-симметричного облака, так и для моделей с неоднородным распределением плотности и содержания молекул (которое рассчитывается с учетом фонового УФ излучения). Учитываются также сжатие и вращение облака, эволюция распределения плотности и химического состава. Такой систематический анализ проведён впервые. Полученные результаты используются для моделирования данных наблюдений протозвёздного ядра СВ17 в различных линиях. В целом получено хорошее согласие между модельными и наблюдаемыми картами в линиях ряда молекул с разной оптической толщиной, что свидетельствует об адекватности построенной модели объекта. Определён химический возраст ядра.

В третьей главе рассматривается излучение молекул в протопланетных дисках. При этом строится физически обоснованная модель диска на основе решения уравнений гидростатического равновесия и теплового баланса. Получены распределения плотности и температуры. С учетом химической эволюции рассчитаны распределения поверхностной плотности различных молекул. На этой основе проведено моделирование ожидаемых спектральных карт дисков для интерферометра ALMA. Последующие наблюдения одного

из таких объектов (HD 163296) показали очень хорошее согласие наблюдаемых изображений с ранее предсказанными автором диссертации. Заключительная часть главы посвящена моделированию данных наблюдений протопланетного диска в глобуле Бока СВ 26. Наиболее важным результатом является вывод о вращении наблюдаемого здесь молекулярного истечения. Имеется всего несколько работ, в которых получены свидетельства вращения джетов и молекулярных истечений в протозвёздных объектах. Они очень важны для понимания физических процессов в этих областях, в частности, перераспределения углового момента.

Четвёртая глава посвящена вопросам излучения пыли в протозвёздных и молодых звёздных объектах. Учитывается многокомпонентный состав пыли, эффект стохастического нагрева небольших пылинок и пр. Разработанные модели используются для анализа данных наблюдений инфракрасных тёмных облаков и областей ионизованного водорода вокруг молодых массивных звёзд. Построена самосогласованная химико-динамическая модель области Н II. Автору удалось достаточно хорошо воспроизвести данные наблюдений. Такая работа, которая охватывает, как ИК, так и миллиметровый диапазон в рамках самосогласованной модели проведена впервые.

В последней главе диссертации строится модель для расчета тепловой структуры эволюционирующего протозвёздного облака. Существенным (и новым) моментом является то, что температуры газа и пыли рассчитываются отдельно. Рассмотрены случаи сжатия сферически-симметричного и аксиально-симметричного облака. Результаты этой главы являются по сути заделом для будущих работ.

В целом можно отметить скрупулезный подход автора к рассматриваемым проблемам. В большинстве построенных им моделей учитывается множество факторов, которые могут повлиять на конечный результат. Это позволило получить целый ряд новых важных результатов, отмеченных выше. Все основные результаты диссертации опубликованы в рекомендованных ВАК изданиях. Достоверность результатов обеспечивается также тщательной проверкой разработанных моделей на известных примерах и сопоставлением с результатами других авторов. Стоит отметить и хорошее оформление диссертации.

Существенных недостатков в диссертационной работе Я.Н. Павлюченкова в общем-то нет. В то же время можно сделать следующие замечания.

1. Как часто бывает для обратных задач, возникает вопрос об однозначности решения. Оно ведь ищется в рамках некоторой модели, путем оптимизации её параметров. Автор, как отмечено выше, учитывает много разных факторов и в большинстве случаев использует хорошо обоснованные модели. Тем не менее не факт, что нельзя получить столь же хорошее или, может быть, лучшее решение в рамках несколько отличающихся моделей. Например, автор совсем не учитывает возможную мелкомасштабную фрагментарность в облаках, которая может существенно повлиять на перенос излучения (да и на химию тоже). В некоторых случаях, как, например, для биполярного истечения в СВ 26, модель выглядит довольно упрощенной. Существует ведь немало хорошо разработанных физических моделей таких истечений. Конечно, для вывода о вращении истечения это не очень существенно, но для понимания физических процессов может быть весьма важно.

2. К сожалению, автор ограничивается рассмотрением излучения только линейных молекул, хотя существует немало более сложных соединений, очень важных для диагностики межзвёздных облаков (например, аммиак, метанол, молекулы воды и пр.). Понятно, что основная проблема здесь в большинстве случаев – расчёт их возбуждения и переноса излучения с учетом гораздо большего количества энергетических уровней.

3. Структура диссертации в целом логична и последовательна за исключением того, что глава 5 находится в конце. В принципе её результаты могли бы быть использованы в ряде предыдущих разделов. Очевидно, что такое расположение обусловлено хронологией работ автора. Ещё небольшое замечание по структуре заключается в том, что некоторые громоздкие вычисления (например, разделы 5.1.3, 5.2.2) можно было бы вынести в приложение.

