

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Каспаровой Анастасии Владиленовны

«Содержание молекулярного газа в дисковых галактиках»

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

Вопрос формирования и эволюции галактик был и остается одним из ключевых во внегалактической астрономии. Молекулярный газ, несомненно, является одним из ключевых “игроков”, участвующих в создании наблюдаемой картины Вселенной. Это наиболее холодный компонент межзвездной среды из которого непосредственно образуются звезды. Трансформация газа из атомарной в молекулярную форму, в звезды и обратно регулирует процессы звездообразования в галактиках. На этот процесс влияют как внутренние, так и внешние факторы, определяемые не только структурой и динамикой галактики, но также и ее окружением. Для понимания этих сложных взаимосвязей необходимо сопоставление теоретических моделей и наблюдательных данных. За последнее время произошло существенное развитие возможностей субмиллиметровой астрономии, позволяющих изучать распределение и кинематику молекулярного газа в галактиках на малых пространственных шкалах, с высоким разрешением по скоростям и на больших расстояниях от центра галактик. Введение в строй интерферометра ALMA открывает широкие перспективы изучения массы молекулярного газа, его распределения, полной динамической массы галактик, соотношения Талли-Фишера не только близких, но и далеких объектов на космологических расстояниях, вплоть до $z \sim 4$.

Диссертационная работа Каспаровой А.В. посвящена изучению баланса между атомарным и молекулярным водородом в дисковых галактиках и выявлению причин, приводящих к избытку молекулярного газа. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. В работе дается обзор изучаемых проблем, формулируются цели и задачи исследования и, собственно, изучаются статистические свойства содержания газа в галактиках; строится самосогласованная модель распределения газа в галактиках в скоплении Дева; анализируется газовая среда галактики Malin 2. Результаты опубликованы в 4-х статьях в рецензируемых журналах (Письма в АЖ и MNRAS), в 6-и материалах конференций и 1-ом электронном препринте. Работа докладывалась на 5 международных и 9 всероссийских конференциях.

В работе обосновывается вывод о возможности времени жизни облаков молекулярного газа более 10^8 лет. Это проявляется в наблюдаемых свойствах галактик с преобладающим содержанием молекулярного газа по отношению к атомарному, исследованным в главе 1.1. Полная масса газа в этих галактиках остается нормальной, что свидетельствует в пользу перехода большей части атомарного газа в молекулярную форму, а не потерями нейтрального водорода. Темп звездообразования на единицу массы H_2 в изученных галактиках в среднем оказывается в несколько раз ниже, чем для галактик с низким отношением молекулярного газа к атомарному.

В диссертации разработан метод расчета профилей распределения плотности и давления газа и звезд в самосогласованной модели галактик. Были проанализированы зависимости доли

молекулярного газа по отношению к атомарному от турбулентного давления для галактик скопления Девы и галактик поля. Было показано, что для галактик в скоплениях необходимо принимать во внимание лобовое и статическое давление межгалактического газа.

Несомненным плюсом работы является использование для анализа не только каталожных или архивных данных, но и постановка наблюдательной задачи и комплексный анализ данных для уникальной гигантской галактики низкой поверхностной яркости Malin 2. Была проведена поверхностная фотометрия в различных фильтрах, построена модель звездного населения, оценено отношение масса-светимость для звезд диска и балджа галактики, что позволило оценить параметры темного гало по кривой вращения. В работе было оценено газовое турбулентное давление газа в диске галактики и показано, что наблюдаемое отношение поверхностных плотностей молекулярного и атомарного водорода как минимум на порядок выше ожидаемого для нормальных галактик. Сделано предположение, что значительная доля газа в галактике находится в ненаблюдаемой, "темной" форме, что согласуется с текущим в ней звездообразованием.

Диссертация изложена ясным языком и аккуратно оформлена. Встречаются опечатки и стилистические неточности, но их очень немного. Основные корректорские замечания относятся к использованию английских аббревиатур в русском тексте. К примеру, для молекулярных облаков используется сокращение МС. Иногда аббревиатуры встречаются раньше их определения, что затрудняет восприятие текста (стр. 10). Необычно оформлены подписи к таблицам. Их привычно видеть сверху таблиц, а не снизу как в таблице 1.1 или сбоку как в таблице 2.1. Рисунок 1.10 перенасыщен линиями (по две модели на каждую из 8 галактик). Из-за этого он выглядит слишком запутанным. Однако, это мало влияет на читабельность диссертации.

В главе 1.1 анализируется подвыборка объектов с доминированием молекулярного газа над атомарным из каталога межзвездной среды в нормальных галактиках, составленного Беттони и др. (2003). Отмечу, что для сравнения распределений лучше использовать критерий согласия Колмогорова-Смирнова, чем простое сопоставление средних и дисперсий, хотя в данной работе это никак не влияет на выводы. Однако, исходный каталог не может рассматриваться как репрезентативная выборка. Основным критерием его создания являлось наличие наблюдений газа в галактиках без особенностей и, очевидно, что этот каталог подвержен разнообразным и неконтролируемым эффектам наблюдательной селекции. Так, функция светимости (рис 1.1) иллюстрирует катастрофическую недостачу галактик со светимостью меньше $M_B = -21$. Это находит свое отражение как в дефиците галактик поздних типов (Sc-Sd-Ir), так и в распределении галактик по скорости вращения и поверхностной яркости. Поэтому, нужно быть очень аккуратным с интерпретацией результатов. Так, малое количество галактик поздних типов среди объектов с преобладанием газа в молекулярной форме отражает, скорее, эффекты селекции, чем реальное распределение. Частота встречаемости баров статистически не отличается для объектов богатых молекулярным газом и для всех галактик с наблюдениями в CO.

Обращу внимание, что существование галактик с аномально высоким содержанием газа по отношению к полной динамической массе (в 15 случаях масса газа составляет более половины

полной массы галактики, а в 6 случаях даже превосходит ее) может объясняться не только значительной переоценкой фактора конверсии, но и ошибками оценки расстояния до галактики. Оценка полной массы зависит от принятого расстояния в первой степени, в то время как оценка массы водорода от второй степени расстояния. Соответственно, пекулярные скорости галактик, особенно в скоплениях галактик, могут легко привести к пере- или недооценке отношения массы газа к полной массе галактики в 1.5-2 раза. Это справедливо как для объектов с повышенным содержанием молекулярного водорода, так и для нормальных галактик.

В главе 1.2, посвященной методу оценки давления, были получены значения объемной плотности звезд, атомарного и молекулярного газа в нашей Галактике в окрестности Солнца. Однако, данные величины никак не сравниваются с результатами других авторов, в то время как, Холберг и Флинн (2000) получили в 1.5 раза меньшую оценку полной плотности барионного вещества.

В главе 2 описание наблюдений, обработки и анализа наблюдений галактики Malin 2 даны настолько бегло, что становится сложным понять, что и как было сделано. При этом, в диссертации идут отсылки к оригинальной работе, где все эти шаги были описаны достаточно полно и аккуратно. Жалко, что эта часть получилась несколько скомканной, в то время, как дальнейший анализ распределения массы и газовых компонент нареканий не вызывает.

Эти замечания не затрагивают выводов, выносимых на защиту. Результаты работы являются хорошо обоснованными и важными для понимания баланса газовой среды в галактиках. Разработанный метод оценки газового давления в галактиках может быть использован в дальнейших исследованиях.

Я считаю, что диссертация Анастасии Владиленовны Каспаровой "Содержание молекулярного газа в дисковых галактиках" удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности "01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия".

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

6 мая 2014 г.

Официальный оппонент
кандидат физико-математических наук
Д.И. Макаров



Подпись Д.И. Макарова заверяю,
И.о. ученого секретаря САО РАН
кандидат физико-математических наук
Е.И. Кайсина