

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **СМИРНОВОЙ Ксении Ильдаровны**
**«Области звездообразования в спиральных и иррегулярных галактиках
и в галактиках с особенностями морфологии»**

Диссертация К.И. Смирновой посвящена исследованию свойств газа и пыли в областях звездообразования нормальных и пекулярных галактик, а также – определению параметров полярных колец (дисков) в галактиках с полярными кольцами. Возможность детального изучения физических характеристик пыли и исследования параметров водорода в различном состоянии появилась относительно недавно, с появлением общедоступных массовых обзоров в инфракрасном и радиодиапазонах, таких как SINGS, WISE, KINGFISH, HERACLES, THINGS и др., дающих необходимые наблюдательные данные с хорошим отношением «сигнал-шум» и удовлетворительным угловым разрешением. Анализ полученного в широком диапазоне длин волн массива высококачественных наблюдательных данных находится в начальной стадии, поэтому представленное в диссертации комплексное исследование параметров межзвездной среды безусловно является **актуальным**. Не менее **актуальным** является и изучение структурных особенностей такого редкого и малоизученного класса звездных систем, какими являются галактики с полярными кольцами.

В отличие от большинства работ по исследованию свойств газа и пыли в галактиках, в которых, как правило, анализируются поверхностные параметры межзвездной среды в газо-пылевом диске, в настоящей диссертационной работе особое внимание уделено изучению свойств газа и пыли на субкилопарсековых масштабах – в областях современного звездообразования. Активные физические процессы в этих областях вызывают значительное и быстрое изменение параметров межзвездной

среды. До настоящего времени подобные исследования были проведены лишь для ограниченного числа галактик Местной Группы. Несомненной **новизной** диссертационной работы является изучение параметров межзвездной среды в областях звездообразования сразу в 15 галактиках. Особо хочется отметить широкий морфологический диапазон выборки: сюда входят как классические правильные спиральные галактики, так и карликовые галактики, и галактики с различными структурными особенностями. В целом, не могу не отметить крайне тщательную и грамотную селекцию объектов во всех трех главах диссертации.

Диссертационная работа К.И. Смирновой состоит из введения, трех глав и заключения и включает в себя 107 страниц, 29 рисунков и 5 таблиц, а также ссылку на дополнительные таблицы в сети Интернет. Список цитируемой литературы состоит из 129 наименований. В **первой главе** автор исследует взаимосвязи между атомарным и молекулярным водородом и пылинками различных размеров в 300 областях звездообразования в 11 близких изолированных галактиках. **Вторая глава** посвящена анализу взаимосвязей между пылью, ионизированным, атомарным и молекулярным водородом и потоком в ультрафиолете в областях звездообразования 4 галактик с признаками пекулярности. В **третьей главе** диссертантка определяет структурные параметры 78 галактик с полярными кольцами.

Текст диссертации написан четким и ясным языком, не допускающим двусмысленного толкования. Применяемые в исследовании алгоритмы и методики анализа данных тщательно описаны, **обоснованы** и корректны с математической точки зрения. Научные положения, выводы и рекомендации логически **обоснованы**. Полученные результаты, вошедшие в диссертационную работу, прошли апробацию на многочисленных конференциях, и опубликованы в 4 публикациях в журналах, рекомендованных ВАК. Все вышесказанное не вызывает сомнений в **достоверности** полученных результатов диссертационного исследования.

Личный вклад автора в совместные публикации четко описан и является во всех работах либо равным, либо – определяющим.

Стоит отметить, что в диссертацию вошли далеко не все статьи диссертантки, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Это является нечастым случаем при защите кандидатских диссертаций и свидетельствует о высоком научном уровне К.И. Смирновой.

Наиболее важными и интересными среди полученных результатов являются, на мой взгляд, следующие:

- обнаружение корреляций в областях звездообразования между потоками излучения в полосах 8 и 24 мкм с полным потоком излучения в дальнем ИК-диапазоне, а также – между массами газа и пыли в них;
- выявление относительного недостатка молекулярного водорода (отношения $M(\text{H}_2)/M(\text{HI})$) в низкометаллических областях звездообразования;
- нахождение различий между параметрами межзвездной среды в областях звездообразования во взаимодействующих (NGC 660, NGC 1512) и асимметричных (NGC 4395, NGC 4618) галактиках;
- создание нового каталога 78 кандидатов в галактики с полярными кольцами и определение их структурных параметров;
- вывод о дефиците наклонных колец (дисков) с углом наклона менее 70-80°;
- нахождение предельного относительного размера полярной структуры ($d_{\text{ring}}/d_{\text{disk}} \approx 3.5$), выше которого объектов с отклонением от полярной плоскости менее 15° не наблюдается;
- обнаружение дефицита полярных (наклонных) структур промежуточного размера ($d_{\text{ring}}/d_{\text{disk}} = 0.4-0.7$).

Несмотря на высокий научный уровень, к диссертационной работе имеется ряд замечаний.

1) При проведении фотометрии и последующем анализе данных автор оперирует изображениями с угловым разрешением, соответствующим наихудшему разрешению среди используемых изображений (длина волны

160 мкм). Однако, для большинства галактик, исследуемых в диссертации, это разрешение слишком грубое и не позволяет выделить даже звездные комплексы – крупнейшие области генетически связанного звездообразования. Например, в галактике NGC 628 крупнейшие комплексы не превышают 600-650 пк в диаметре, поэтому распределение областей звездообразования данной галактики по размерам на рис. 2.8 является формальным. Речь в диссертации идет скорее не об областях звездообразования, а о конгломератах звездных комплексов, скоплений, ассоциаций разного возраста, зачастую не связанных генетически друг с другом.

2) В работе очень не хватает исследований водорода в его третьем состоянии – ионизированном. При этом, данные в линии $H\alpha$ доступны для всех 15 изучаемых в первых двух главах галактиках. Использование этих данных: потоков в линии $H\alpha$, общего и удельного темпов звездообразования – могло бы сократить число возможных интерпретаций полученных корреляций. Интересно было бы посмотреть, например, на зависимость темпа звездообразования от интенсивности поля излучения U . Кроме того, угловое разрешение изображений в линии $H\alpha$ – на порядок лучше используемых в диссертации. Анализ изображений в линии $H\alpha$ мог бы дать ответ на вопрос о пространственной структуре звездообразования в каждой апертуре: «С чем мы имеем дело: с крупным звездным комплексом или с разреженной группой звездных скоплений и ассоциаций?» и оценить эффективную площадь реально происходящего звездообразования внутри апертуры.

3) В первой главе диссертации автор сравнивает высоко- и низкометаллические области звездообразования. Но при этом, нигде в работе не упоминается о том, что за исключением одной галактики, все остальные низкометаллические галактики являются карликовыми. Известно, что высоко- и маломассивные галактики отличаются друг от друга по многим параметрам. Возникает вопрос: «Не являются ли найденные в диссертации

отличия в свойствах высоко- и низкометаллических областей звездообразования следствием того, что последние расположены в маломассивных звездных системах?»

4) В диссертации не сказано, исправлялись ли и как за поглощение данные GALEX в ультрафиолете. Это особо важно для сильно наклоненного диска галактики NGC 660, где поглощение, очевидно, весьма значительное. Не может ли быть относительно низкое отношение потоков F_{GALEX}/F_8 и F_{GALEX}/F_{22} в областях звездообразования диска NGC 660 (рис. 2.5, 2.10) связано с недоучетом эффектов поглощения?

5) Распределение F_{GALEX}/F_{22} для областей полярного кольца NGC 660, приведенное на рис. 2.5 (верхний правый) на стр. 55, визуально подразделяется на две подгруппы с параллельными зависимостями. Стоило бы рассмотреть, как пространственно расположены области звездообразования этих двух подгрупп. Не расположены ли области из подгруппы с относительно низким отношением F_{GALEX}/F_{22} в дальней от нас части кольца NGC 660?

6) Утверждение автора о наличии корреляции между разбросом скоростей ΔV_{Ha} и потоком излучения в линии Ha для областей звездообразования галактики NGC 660 неочевидно из рис. 2.14 (верхний график). Стоило бы привести коэффициент корреляции и коэффициенты уравнения полученной зависимости.

7) Утверждение автора на стр. 63: «нейтральным водородом особенно богаты молодые области, в которых еще не сложились условия для генерации интенсивного инфракрасного излучения» неочевидно и требует дополнительного обоснования. Звездные группировки с относительно большой долей OB-звезд образуются из молекулярных облаков, вокруг OB-звезд водород ионизируется (области HII). Непонятно, откуда в таких условиях взяться большому количеству нейтрального водорода?

8) В диссертации был получен ряд важных и потенциально востребованных эмпирических зависимостей: F_8/F_{IR} , F_{24}/F_{IR} (рис. 1.5),

$M_{\text{dust}}/M_{\text{HI+H}_2}$ (рис. 1.8), $M_{\text{dust}}/M_{\text{H}_2}$ (рис. 1.9) и др. К сожалению, их использование затруднено отсутствием в работе численных коэффициентов полученных уравнений.

9) Имеются небольшие замечания по терминологии:

– названия глав 1 и 2 не совсем корректны. В частности, галактика NGC 2976 из первой главы является, согласно табл. 1.1, пекулярной, а рассматриваемые во второй главе галактики NGC 4395 и, возможно, NGC 4618 – изолированными (согласно утверждению на стр. 69 диссертации);

– используемый в главах 1, 2 термин «апертурная фотометрия» формально корректен, но речь в диссертации идет все же об интегральной фотометрии областей звездообразования;

– вместо оригинального термина «новые галактики» в главе 2 следовало бы использовать общеупотребительный термин «галактики выборки»;

– в работе используется два термина: «скорость звездообразования» и «темпы звездообразования», но нигде не говорится, что оба этих термина обозначают один и тот же физический параметр – массу звезд, рожденных за единицу времени;

– в третьей главе диссертации стоило бы сразу четко описать, что подразумевается под полярными кольцами, поскольку из текста следует, что данные структуры могут быть полярными и наклонными кольцами и дисками. В частности, полярный диск в галактике SPRC 50, обсуждаемый на стр. 86 диссертации, является наклонным с $\delta_{\text{max}}=56^\circ$, согласно табл. 3.1.

10) В работе не обнаружено орфографических ошибок, но имеется определенное количество пунктуационных и смысловых ошибок, описок, неточностей и опечаток. Наиболее существенные из них следующие:

– на стр. 17 приведена неидентифицируемая ссылка;

– в файле на Яндекс-диске (ссылка на стр. 25) отсутствуют данные по областям звездообразования галактики DDO 154;

- в табл. 1.1 для спиральных галактик приведены центральные значения O/H , а не средние, как утверждается в тексте;
- в последнем предложении вывода 1 к первой главе (стр. 42) последняя часть фразы является тавтологией;
- в главах 1 и 2 принимается разное расстояние до NGC 628 (9 и 9.77 Мпк, соответственно);
- уравнения (2.1) на стр. 47 являются не формулами R-калибровки, а стандартными обозначениями для эмиссионных линий;
- фраза из положения 6, выносимого на защиту (стр. 9 автореферата, стр. 9 и 91 диссертации): «Только у двух из 78 объектов отношения размеров внешнего полярного кольца и околядерного (внутреннего) полярного диска лежат в диапазоне от 0.4 до 0.7» – сформулирована некорректно. Из текста работы однозначно следует, что речь идет об отношении размеров полярной (наклонной) структуры к диску галактики;
- последнее предложение в благодарностях Д.З. Вибе: «А также написании статей [A2], [A3] и [A4]» на стр. 94 – воспринимается неоднозначно. Следовало либо поставить запятую вместо точки перед этим предложением, либо повторить слова «за помощь в».

Приведенные замечания нисколько не умаляют высокий научный уровень диссертации и квалификации ее автора.

Автореферат содержит краткое изложение результатов диссертации, основные выводы и результаты проведенного научного исследования, описание его актуальности и степени новизны, и полностью отражает содержание и структуру диссертации.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Кандидатская диссертация Смирновой Ксении Ильдаровны «Области звездообразования в спиральных и иррегулярных галактиках и в галактиках с особенностями морфологии» является законченной самостоятельной научно-

квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Смирнова Ксения Ильдаровна несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия».

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник отдела внегалактической астрономии Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

ГУСЕВ Александр Сергеевич

30 августа 2022 г.

119234, Москва, Университетский проспект, д. 13

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова»

Тел.: +7(495)9392245; e-mail: gusev@sai.msu.ru

Подпись сотрудника организации

А.С. Гусева удостоверяю:

Директор ГАИШ МГУ, д. ф.-м. н., чл.-корр. РАН



К. А. Постнов