

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Опарина Дмитрия Владимировича “Изучение воздействия звездообразования на ионизованный газ в галактиках”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия

Интенсивность обмена веществом и энергией между галактиками и межгалактической средой определяется звездообразованием. При низкой эффективности этого процесса газ в галактике оказывается преимущественно нейтральным и подобные объекты оказываются труднообнаружимыми. Увеличение скорости звездообразования приводит к появлению многочисленных массивных звездных скоплений, зон ионизации, отдельным выбросам газа из галактик, что и наблюдается в большинстве галактик, а при некотором достаточном темпе звездообразования – и к формированию кумулятивных истечений газа из галактик – галактическим ветрам.

Энергетичные кванты, излучаемые массивными звездами и компактными объектами, ударные фронты истечений, производимые вспышками сверхновых, ионизуют газ в галактиках по-разному. Преобладание того или иного механизма ионизации позволяет судить об эволюции галактики и эффективности возможного взаимодействия с окружением. Информацию о том, какой из источников ионизации наиболее существенен в той или иной галактике, можно извлечь из ионных состояний тяжелых элементов (металлов) в межзвездном газе и его дисперсии скоростей. Диссертационная работа Д.В. Опарина посвящена получению и анализу именно такой информации. В рамках работы соединены **разработка** методов определения источников ионизации, **получение** наблюдательного материала и его **интерпретация**. Такой подход позволил автору создать методику диагностики состояния ионизованного газа в галактиках и на ее основе сделать заключение об источниках ионизации газа в нескольких близких галактиках. Именно этим определяется **высокая актуальность** и **значительная практическая ценность** представленной диссертации.

Приведем описание структуры и краткую сводку полученных в диссертации новых результатов.

Во **Введении** представленной диссертационной работы сформулированы актуальность, цели, научная новизна, степень достоверности, практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведено описание применявшихся методик наблюдений с помощью редукторов SCORPIO/SCORPIO-2 и MaNGaL, обработки наблюдательных данных, полученных на указанных инструментах и в рамках обзора CALIFA (Calar Alto Legacy Integral Field Area).

**Вторая глава** посвящена изучению кинематических характеристик ветров в карликовых галактиках NGC 4460 и UGC 10043 на основе наблюдательного материала, полученного автором с помощью сканирующего интерферометра на БТА, и анализа архивных данных обзора CALIFA для второй галактики. В результате получены оценки скоростей галактических ветров в этих объектах.

В **третьей главе** с помощью разработанного метода проведен анализ ионизационных диаграмм для нескольких галактик с различной морфологией, полученных в авторских наблюдениях. Сделаны выводы об источниках ионизации газа в этих галактиках.

**Четвертая глава** посвящена подробному исследованию галактики NGC 3077. На основе авторского наблюдательного материала было уточнено значение металличности газа. Изучена кинематика и ионизационное состояние газа с помощью методики узкополосной фотометрии с перестраиваемым фильтром.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы работы.

Как видно, диссертационная работа Д.В. Опарина представляет собой последовательное исследование ионизационного состояния газа в галактиках разной морфологии, выявление источников ионизации газа на основе диагностических диаграмм. Особенно **ценным** является **разработка** методов изучения ионизованного газа с помощью узкополосной фотометрии с перестраиваемым фильтром и **проверка** этих методов при исследовании галактик.

Вместе с этим следует указать на замечания к работе.

1. В разделе 1.1 приводится анализ распределения лучевых скоростей в галактике NGC 4460. В распределении скоростей в ветровом конусе, представленном на рис. 3, можно заметить, что скорость газа на больших радиальных расстояниях оказывается близкой к значениям в диске на тех же самых радиусах. Газ в ветровое течение, вероятно, поступает из центральных областей галактики, где скорости вращения заметно меньше (см. рис. 2 на расстояниях менее 10 угловых секунд). Из геометрической модели, применяемой в работе (например, рис. 4), до конца неясно какие области диска вносят основной вклад в истечение и каков будет угловой момент ветра. Предположение о сохранении углового момента (стр. 39), вообще говоря, является первым приближением. При формировании ветра истекающий газ определенно участвует в турбулентных течениях, в которых возможна потеря углового момента. Желательно было в работе обсудить этот процесс и возможное влияние на величину остаточных скоростей газа в ветре.

2. В главе III предложена новая методика изучения ионизованного газа на основе сопоставления отношений интенсивности излучения в линиях (ВРТ-диаграмм) и дисперсии скоростей. При этом величина дисперсии скоростей газа определяется только для линий  $H\alpha$  или  $NII$  6583. В работе отсутствует подробный анализ условий применимости такого подхода. Например, следовало бы обсудить вероятную зависимость интенсивности в линиях  $OI$ ,  $NII$  и  $SII$  из-за разницы в значениях потенциала ионизации атомов кислорода, азота и серы относительно значения для водорода.

3. В работе встречаются утверждения без каких-либо пояснений или оценок (например, о возрасте и энергии ветра - стр. 45, об отрицательной корреляции - стр. 70), неточные и сленговые термины (например, определение возникновения ветра во втором предложении главы II вряд ли можно считать достаточным - стр. 34, отдельные словосочетания, например, «степеней звездной населенности» - стр. 51, «библиотеки синтетических звезд» - стр. 51, «модели шока» - стр. 55, «краевых дисковых галактик» - стр. 56 и так далее), неясные и сложные обороты (например, в предложениях «Следует отметить, что ...» - стр. 39, «Морфология истечений ...» - стр. 62 и так далее), некоторое число опечаток.

Однако эти замечания ни в коей мере не затрагивают содержательной части диссертации, основных ее выводов и положений, выносимых на защиту и тем более не умаляют значимости результатов, полученных в диссертации. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Результаты, представленные в диссертации,

