

Утверждаю:
Директор ИКИ РАН
академик Зеленый Л.М.
2015 года



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
космических исследований РАН (ИКИ РАН)

Диссертация “Методы определения масс эллиптических галактик, применимые для больших обзоров” выполнена в отделе “астрофизики высоких энергий” Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований РАН».

В период подготовки диссертации соискатель Лыскова Наталья Сергеевна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт космических исследований РАН» в должности младшего научного сотрудника. В 2015 г. окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований РАН» по специальности «астрофизика и звездная астрономия».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Институт космических исследований РАН».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Чуразов Евгений Михайлович, член-корреспондент Российской академии наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований РАН».

По результатам рассмотрения диссертации «Методы определения масс эллиптических галактик, применимые для больших обзоров» принято следующее заключение:

Актуальность темы и направление исследования.

Крупные обзоры невысокого углового и/или спектрального разрешения становятся основным инструментом для изучения галактик, поскольку они делают возможными статистические исследования свойств всей популяции галактик. Точное определение масс большого количества галактик

(современные обзоры содержат информацию о миллионах объектов) на разных красных смещениях имеет важнейшее значение для понимания процессов их формирования и эволюции со временем. Для подобных задач целесообразно иметь простые и надёжные методы, которые позволяют из минимального набора наблюдательных данных получить несмещённую оценку массы с известным и умеренным разбросом.

Для эллиптических галактик самыми базовыми наблюдательными параметрами в оптическом диапазоне являются профили поверхностной яркости и дисперсии лучевых скоростей. К сожалению, этих данных недостаточно для однозначного определения профиля массы галактики из-за вырождения между массой и анизотропией распределения орбит звёзд. Тем не менее, при разумных предположениях оказывается возможным получить надёжную оценку массы галактики, не привлекая дополнительных данных. Недавно были предложены два простых метода (локальный и глобальный подходы), которые позволяют обойти вырождение между массой и анизотропией и оценить массу эллиптической галактики из профилей поверхностной яркости и дисперсии лучевых скоростей, но только на определённом радиусе. Причём априорные предположения о функциональной зависимости профиля массы и/или анизотропии не требуются.

Диссертация была посвящена изучению, дальнейшему развитию и применению к реальным объектам подобных методов определения масс эллиптических галактик. В частности,

- 1) Проведено тестирование локального подхода к оценке массы на достаточно большой выборке модельных галактик, полученных в результате численного моделирования космологической эволюции структуры Вселенной, а также на выборке модельных скоплений галактик.
- 2) Применение локального метода оценки массы проиллюстрировано на примере выборки из шести массивных эллиптических галактик, ярких в рентгеновском диапазоне, оптические профили для пяти из которых получены при помощи 6м телескопа БТА САО РАН. Проведено сравнение оптической оценки массы с рентгеновской и массой звёздного компонента. Получены ограничения на вклад нетепловой составляющей в полное давление горячего газа галактик, конфигурацию звёздных орбит, долю тёмной материи.
- 3) Проведено сравнение локального и глобального подходов к оценке массы эллиптических галактик на (i) аналитических моделях, (ii) выборке модельных галактик, полученных в результате численного моделирования космологической эволюции структуры Вселенной, а также на (iii) выборке галактик раннего типа, которые уже были проанализированы передовыми методами.
- 4) Предложен новый индикатор полной массы эллиптической галактики.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

Все результаты, выносимые на защиту, были получены лично автором диссертации. По теме диссертации опубликовано 4 работы в рецензируемых научных изданиях, определяющую роль в подготовке и написании которых сыграл автор диссертации. Автором выполнена работа по изучению и дальнейшему развитию простых методов оценки масс эллиптических галактик, их тестированию на объектах с известным радиальным распределением массы и применению к реальным наблюдательным данным. Также автором диссертации были получены оценки массы из анализа рентгеновских данных обсерваторий Chandra и XMM.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность полученных в диссертации результатов основана на:

- 1) четырёх публикациях в рецензируемых журналах, из которых три работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК;
- 2) представлении результатов работы (в том числе устные доклады) на российских и международных конференциях.

Научная новизна результатов исследований.

В работе проведено тестирование локального подхода к оценке массы на достаточно большой выборке модельных галактик, полученных в результате численного моделирования космологической эволюции структуры Вселенной. Для выборки массивных модельных галактик, из которой исключены быстро вращающиеся объекты, наблюдаемые вдоль оси вращения, среднее отклонение от истинной круговой скорости (которая напрямую связана с массой соотношением $M(r) = rV_c^2(r)/G$) сопоставимо с 0%, а среднеквадратичный разброс $RMS \approx 5.4\%$. Простота данного подхода, несмещённость оценки круговой скорости и умеренный среднеквадратичный разброс делает его подходящим для анализа больших выборок галактик как на маленьких, так и больших красных смещениях. Область применения обсуждаемого метода оценки массы не ограничивается эллиптическими галактиками. Он также может быть применен к скоплениям галактик. Согласно тестам на модельных скоплениях галактик, средняя оценка круговой скорости также оказывается практически несмещённой, а среднеквадратичный разброс остаётся умеренным. В частности, для богатых скоплений, содержащих более 100 галактик - членов скопления с измеренными лучевыми скоростями, $RMS \approx 6.4\%$.

Применение локального подхода к оценке массы было адаптировано к реальным наблюдениям, в частности, к наблюдениям в длиннощелевом режиме, и проиллюстрировано на примере выборки из шести массивных эллиптических галактик, ярких в рентгеновском диапазоне, оптические профили для пяти из которых получены при помощи 6м телескопа БТА САО РАН. Проведено сравнение оптической и рентгеновской оценок масс, на основании которого получено ограничение на конфигурацию звёздных орбит и на вклад нетепловой составляющей в полное давление горячего газа галактик. Среднее отношение

оптической круговой скорости к рентгеновской на специальном радиусе R_{sweet} , на котором оптическая оценка (практически) не зависит от анизотропии распределения орбит звёзд, составляет ≈ 0.98 со среднеквадратичным разбросом относительно среднего 11%, т.е. не обнаружено значительного вклада нетепловой компоненты в полное давление. Проведено сравнение оценок полной и звёздной масс галактик и получены ограничения на долю тёмной материи в пределах R_{sweet} . Для начальной функции масс Салпитера типичная доля тёмной материи составила $\approx 60\%$, для начальной функции масс Крупы $\approx 75\%$.

Проведено тестирование и сравнение локального и глобального подходов на объектах с заранее известным распределением массы, а именно, (i) на сферических аналитических моделях, (ii) на достаточно большой выборке модельных галактик, схожих по своим свойствам с наблюдаемыми эллиптическими галактиками в близкой Вселенной, и (iii) на выборке реальных галактик раннего типа, которые уже были проанализированы передовыми методами. В целом, оба подхода позволяют получить практически несмещённую оценку круговой скорости при усреднении по выборке. Причём локальный метод демонстрирует меньший разброс, тем самым указывая на меньшую чувствительность по сравнению с глобальной оценкой к предположениям, при которых он был получен.

Предложен новый индикатор полной массы эллиптической галактики. Согласно тестам на модельных галактиках локальное значение лучевой дисперсии скоростей σ_p на радиусе R_2 , где наблюдаемый профиль поверхностной яркости убывает как R^{-2} , может быть использовано в качестве индикатора полной массы галактики. Вириальная масса галактик M_{vir} (в единицах $M_{sun} h^{-1}$) может быть аппроксимирована выражением $M_{vir} [M_{sun} h^{-1}] \approx 6 \cdot 10^{12} (\sigma_p(R_2)/200 \text{ км/с})^4$, где $h = H_0/100$, H_0 - постоянная Хаббла, со среднеквадратичным разбросом $RMS \approx 38\%$.

Практическая значимость исследований.

Несмотря на то, что рассматриваемые простые методы позволяют оценить массу галактики на одном только специально выбранном радиусе, их простота, «неприхотливость» к наблюдательным данным, несмещённость оценки и известный умеренный разброс позволяют применять данные методы для широкого круга задач. Например,

- для быстрой оценки массы большой выборки эллиптических галактик или скоплений галактик;
- для кросс-калибровки других методов;
- для оценки вклада нетепловой составляющей в полное давление горячего газа эллиптической галактики при сравнении с рентгеновским профилем массы;
- для определения доли тёмной материи при сравнении с оценкой вклада

- звёздной компоненты в полную массу галактики;
- для вычисления наклона профиля полной массы эллиптической галактики при сравнении со значением массы, полученной из гравитационного линзирования;
- для оценки полной массы галактики, используя в качестве индикатора полной массы локальное значение дисперсии лучевых скоростей на радиусе R_2 , где наблюдаемый профиль поверхностной яркости спадает как R^{-2} .

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

В реферируемых журналах по теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Lyskova N., Churazov E., Zhuravleva I., Naab T., Oser L., Gerhard O., Wu, X. *Testing a simple recipe for estimating galaxy masses from minimal observational data.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS). 2012. V. 423. P. 1813-1824. doi:10.1111/j.1365-2966.2012.21004.x. (Лыскова Н., Чуразов Е., Журавлёва И., Нааб Т., Озер Л., Герхард О., Ву Кс. *Тестирование простого метода оценки масс галактик из минимального набора наблюдательных данных.*)

2. Lyskova N. *A simple recipe for estimating masses of elliptical galaxies and clusters of galaxies.* // Astronomische Nachrichten (AN). 2013. V. 334. P. 360-363. doi:10.1002/asna.201211857. (Лыскова Н. *Простой метод оценки масс эллиптических галактик и скоплений галактик.*)

3. Lyskova N., Churazov E., Moiseev A., Sil'chenko O., Zhuravleva I. *Stellar kinematics of X-ray bright massive elliptical galaxies.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS). 2014. V. 441. P. 2013-2033. doi:10.1093/mnras/stu717. (Лыскова Н., Чуразов Е., Моисеев А., Сильченко О., Журавлёва И. *Звёздная кинематика массивных эллиптических галактик, ярких в рентгеновском диапазоне.*)

4. Lyskova N., Thomas J., Churazov E., Tremaine S., Naab T. *Comparison of simple mass estimators for slowly rotating elliptical galaxies.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS). 2015. V. 450. P. 3442-3457. doi:10.1093/mnras/stv835. (Лыскова Н., Томас Й., Чуразов Е., Тремейн С., Нааб Т. *Сравнение простых методов оценки массы для медленно вращающихся эллиптических галактик.*)

Все основные положения исследований изложены в данных статьях.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия». Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к классу, заявленному в паспорте специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия», как «Исследование физических процессов, связанных с генерацией излучения (электромагнитного, нейтринного, гравитационного), распространения и поглощения излучения в космических средах; разработка методов анализа электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах в применении к астрономическим наблюдениям».

ВЫВОД. Кандидатская диссертация Лысковой Натальи Сергеевны “Методы определения масс эллиптических галактик, применимые для больших обзоров” соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней». В рамках диссертационного исследования автором было проведено комплексное изучение методов оценки масс эллиптических галактик, применимых для больших обзоров, и исследована область их применения. На большой выборке модельных галактик, полученных в результате численного моделирования космологической эволюции структуры Вселенной, продемонстрирована результативность методов в режимах, имитирующих панорамные и длиннощелевые наблюдения. Проведены оценки полной массы, вклада нетепловой компоненты в полное давление газа и доли тёмной материи в галактиках NGC 708, NGC 1129, NGC 1550, UGC 3957 и NGC 4125, являющиеся центральными в скоплениях/группах галактик. Предложен новый индикатор полной массы галактики.

Диссертация “Методы определения масс эллиптических галактик, применимые для больших обзоров” Лысковой Натальи Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия.

Заключение принято на заседании НТС отдела «Астрофизики высоких энергий» Института космических исследований РАН. Присутствовало на заседании 16 членов НТС. Результаты голосования: «за» - 16 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол от « 25 » сентября 2015г.

Ученый секретарь НТС отд.52

Арефьев В.А.