

Московский Государственный Университет
имени М.В.Ломоносова

Физический Факультет
Государственный Астрономический Институт
имени П.К.Штернберга

Кафедра Астрофизики и Звёздной Астрономии

**СПЕКТРАЛЬНОЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЛИНЗОВИДНОЙ ГАЛАКТИКИ С ОБОЛОЧКАМИ NGC 474**

Курсовая работа
студента 432 группы
Копосова С.Е.

Научный руководитель
доктор физ.-мат. наук
Сильченко О.К.

МОСКВА
2004

Содержание

1 Введение.	2
2 Наблюдения	3
2.1 Фотометрия	3
2.2 Спектроскопия	4
3 Предыдущие исследования галактики NGC 474	4
4 Оболочки в NGC 474	4
4.1 Исследование происхождения оболочек	4
4.2 Оболочечные структуры в NGC 474	5
5 Поверхностная фотометрия галактики и параметры изофот галактики	6
5.1 Профили поверхностной яркости в галактике.	6
5.2 Форма изофот в галактике	7
6 Спектральные данные по NGC 474	8
7 Анализ кинематики звездной компоненты в галактике	8
8 Эмиссионный спектр галактики	12
9 Звездные населения в NGC 474	16
10 Выводы и результаты работы	17
11 Благодарности	18

1 Введение.

С тех самых пор когда впервые было установлено, что то, что мы сейчас называем галактиками, является обособленными, удаленными звездными системами, и с тех пор как для галактик Эдвином Хабблом была построена его знаменитая последовательность морфологических типов, астрономов интересовала эволюция этих звездных систем. В самом начале изучения галактик, представления об их эволюции были очень примитивными и как правило сводились к эволюции вдоль Хаббловской последовательности от сферических к дисковым галактикам. По мере развития физических моделей эволюции галактик, и по мере поступления все большего количества новой информации были предложены новые, уже физически хорошо обоснованные механизмы эволюции галактик, основанные на малом и крупном мерджинге ([8]), влиянии нетеплового источника в центре, на транзитном образовании баров ([19]). В последнее время особенно популярной стала теория образования галактик посредством последовательного слияния (мерджинга) галактик меньшего размера ([8]). В таком сценарии дисковые галактики образуются при мерджинге с большим полным угловым моментом, а сфероидальные при мерджинге с малым полным моментом.

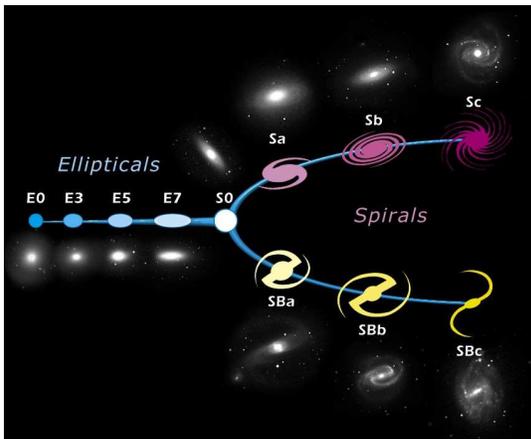


Рис. 1: Камертон Хаббла – основная схема классификации галактик

и образование массивного сфероидального компонента; образование транзитных баров (в силу внутренних неустойчивостей в диске или в результате приливного воздействия ([19])), которые также могут обеспечить выпадение всего газа на центр (из-за потерь газом углового момента в ударных волнах ([20]) и увеличение балджа из-за возникающих вертикальных неустойчивостей в диске ([10], [21]). Также был предложен механизм образования S0 галактик из спиральных галактик в скоплениях – этот механизм связан с тем, что в скоплениях галактик было обнаружено большое количество горячего газа; при падении дисковой галактики поля на такое скопление весь газ галактики будет выметен под действием лобового давления, и получится линзовидная галактика. Судя по всему, последний сценарий является наиболее вероятным объяснением образования линзовидных галактик в скоплениях, так как в последнее время на $z \geq 0.5$ были обнаружены падающие на скопления спиральные галактики, с явными признаками происходящего выметания газа ([29]). Таким образом, хотя для скоплений

При изучении эволюции галактик всегда особую роль играли линзовидные (S0) галактики. Линзовидные галактики – это как раз та точка на камертоне Хаббла (см. рис. 1), где последовательность дисковых галактик присоединяется к последовательности сфероидальных галактик. Эти галактики соответственно содержат как массивную сфероидальную компоненту (балдж), так и массивный звездный диск. Причем, что важно, звездный диск почти не содержит газа, и соответственно там не идет звездообразование. Эволюция таких систем была особо интересна и непонятна, учитывая то, что S0 галактики имеют черты и эллиптических и дисковых галактик. Предлагались различные модели образования линзовидных галактик: серия малых мерджингов, которые могут обеспечить выпадение всего газа в центр

проблема образования линзовидных галактик, судя по всему, решена (и это важно, учитывая то, что в скоплениях доля линзовидных галактик больше, чем среди галактик поля), но для галактик поля проблема остается. Именно поэтому детальное исследование индивидуальных галактик поля интересно, и способно указать на истинную причину образования линзовидных галактик поля. В этой работе было предпринято детальное фотометрическое и спектральное исследование необычной линзовидной галактики NGC 474. Эта галактика обладает необычными внешними оболочками, особенной внутренней фотометрической структурой, кинематическими пекулярностями в центре, а также областями ионизованного газа.

Таблица 1: Глобальные параметры галактики

Hubble Type, T	-2.0
Classification	(R')SA(s)
B_T	12.37
$(B - V)_T$	0.86
D_{25}	7'
z	0.00791

2 Наблюдения

Для детального исследования галактики всегда необходимо использовать различные наблюдательные данные, и поэтому для выполнения этой работы был использован большой комплекс различных наблюдательных данных.

2.1 Фотометрия

Фотометрические данные представлены данными с различных телескопов:

Таблица 2: Фотометрические данные

Telescope	Aperture	Observatory	Date
WHT	4.2m	La Palma	1994
HST	2.4m		1995
INT	2.5m	La Palma	1996
Zeiss 1000	1m	SAO RAS	2000

Фотометрические данные с телескопа WHT (William Hershel Telescope) и телескопа INT (Isaac Newton Telescope) (оба установлены на Канарских островах), представляют собой наблюдения с ПЗС приемником 1k x 1k в широкополосных фильтрах (B, V, R, I). Наблюдения проведенные в 1994 и 1996 годах были достаточно глубокими, а также отличались большим полем зрения ($\sim 8'$), но к сожалению были непригодны для использования в центральных

областях галактики, в силу малого масштаба изображений, а также перекопления количества отсчетов. Данные были взяты из общедоступного архива наблюдений обсерватории La Palma (ING Archive of the UK Astronomy Data Centre) и были обработаны автором работы. Данные с телескопа Zeiss 1000 представляют собой также ПЗС (2k x 2k) наблюдения галактики в широкополосных фильтрах (B, V, R, I). Эти данные отличались меньшей глубиной и чуть меньшим полем зрения, однако позволили получить хорошую многоцветную фотометрию в центральной области галактики. Данные были получены на Zeiss 1000 и обработаны автором работы. HST данные – это WFPC2 наблюдения NGC 474 в 2-х фильтрах F555W и F814W с короткими экспозициями. Данные были взяты из архива наблюдательных данных космического телескопа (HST Archive).

2.2 Спектроскопия

В данной работе мы использовали наблюдения галактики на интегральном спектрографе SAURON, установленном на телескопе WHT (4.2m), La Palma. Этот полевой спектрограф является мощным астрономическим прибором. В режиме низкого разрешения спектрограф обладает полем зрения $\sim 33'' \times 41''$ (37pix x 44pix), хорошим спектральным разрешением $\sim 3.6 \text{ \AA}$, но достаточно узким спектральным диапазоном (4800 \AA –5400 \AA) и позволяет анализировать как звездные населения по абсорбционному спектру, так и исследовать наличие и кинематику ионизованного газа по эмиссионным линиям. Данные по NGC 474 были получены в 1999 году и взяты нами из того же открытого архива La Palma. Первичная редукция куба данных была выполнена О.К. Сильченко.

3 Предыдущие исследования галактики NGC 474

Для начала нужно упомянуть работу 1994 года [2], в которой NGC 474 была определена, как кандидат на обладание химически выделенным ядром. Потом в 1996 году была опубликована работа [3] в которой по длиннощелевым данным было объявлено об обнаружении кинематически выделенного ядра в этой галактике – был обнаружен поворот динамической оси вращения в центре галактики, и также несимметричная форма LOSVD (line of sight velocity distribution). Наконец, в работе [1] были проанализированы фотометрические свойства галактики, объединены с имевшимися на тот момент спектральными данными с целью определения происхождения оболочек в галактике (см. 4.1).

4 Оболочки в NGC 474

4.1 Исследование происхождения оболочек

Как только фотометрические наблюдения стали достаточно глубоки, чтобы захватывать удаленные, слабые области галактик, стало ясно, что достаточно часто во внешних областях галактик, как дисковых, так и эллиптических, наблюдаются необычные структуры, такие как например оболочки, или искривления дисков. Ярким примером галактики с оболочками является изучаемая нами галактика NGC 474.

Почти сразу основная гипотеза образования оболочек в галактиках была связана с взаимодействием галактик. Однако возникло два возможных сценария образования оболочек. Один

сценарий был связан с возникновением волны плотности в звездном диске при слабом внешнем возмущении от пролетающего спутника. Другой же сценарий предусматривал полное поглощение пролетающего спутника, и, таким образом, оболочки в этой модели – это остатки поглощенного спутника, рассеянные по телу галактики. Образование оболочек достаточно интенсивно исследовалось, в частности, при помощи численного моделирования (например [6], [5]) и путем детального изучения отдельных галактик с оболочками (например [1]). И сейчас можно достаточно уверенно сказать, что оболочки все-таки образуются при поглощении спутника галактикой.

4.2 Оболочечные структуры в NGC 474

NGC 474 является ярким представителем галактики с оболочками. На масштабах сравнимых и больших размера самой галактики явно видны оболочки различной структуры. Исходя из классификации [7], галактика является галактикой с оболочками типа 2, т.е. оболочки не имеют преимущественной ориентации на теле галактики. Уже на обычном изображении галактики в фильтре В (см. рис. 2), хорошо видна сложная структура оболочек в NGC 474. Однако, лучше всего оболочки просматриваются, если применить технику unsharp masking, состоящую в следующем: из исходного изображения вычитается сглаженное с большим окном первоначальное изображение; метод позволяет выделить резкие детали, такие как оболочки.

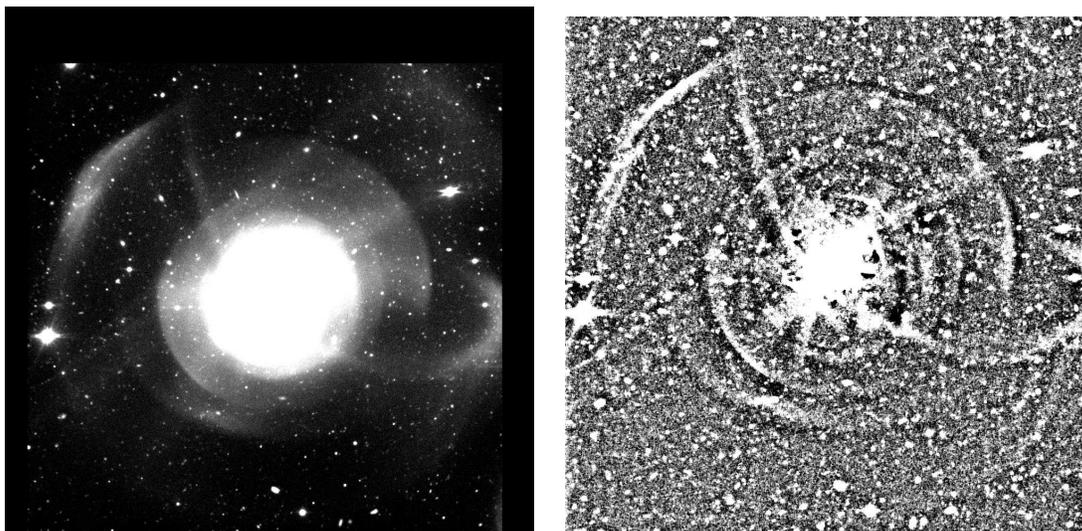


Рис. 2: Глубокое изображение NGC 474 в фильтре В

Рис. 3: Изображение NGC 474 в фильтре В после выполнения unsharp masking

Из unsharp masking картинки (рис. 3), во-первых, видно, что оболочки в галактике наблюдаются не только во внешних областях, но и во внутренних. Также, помимо оболочек, имеющих вид дуг эллипсов, с центром в центре галактики, виден очень необычный филамент, проходящий через всю галактику, рядом с ее центром и заканчивающийся петлей. Наличие

вышеупомянутого филамента позволяет однозначно отказаться от модели волн плотности в звездном диске и принять модель малого мержинга. Причем, исходя из внешнего вида оболочек, можно сделать вывод о сложной геометрии прошедшего малого мержинга (не исключено, что филамент, видимый рядом с центром, на самом деле только проектируется туда). Интересно также отметить сложную филаментарную структуру одной из внешних оболочек (на рисунке она слева, сверху).

5 Поверхностная фотометрия галактики и параметры изофот галактики

5.1 Профили поверхностной яркости в галактике.

Поверхностная фотометрия галактик является мощным методом анализа структуры галактик и позволяет успешно разделять в галактике отдельные физические компоненты ([4], [30]). К сожалению, в силу того, что структура галактики NGC 474 является достаточно возмущенной, применение метода двумерной декомпозиции представляется не очень эффективным. Однако некоторые качественные выводы, исходя из распределения яркости в галактике и параметров изофот, сделать можно. Так, для начала рассмотрим два профиля поверхностной яркости в галактике.

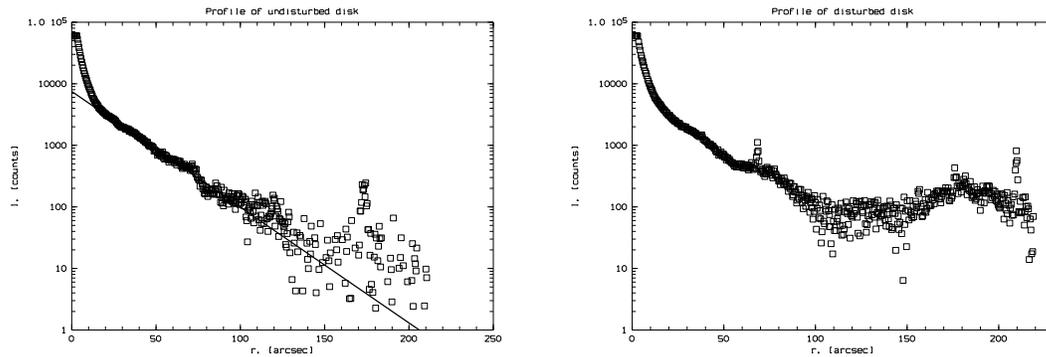


Рис. 4: Профиль поверхностной яркости вдоль позиционного угла $PA = 0^{\circ}$, с наложенной экспоненциальной аппроксимацией.

Рис. 5: Профиль поверхностной яркости вдоль позиционного угла $PA = 70^{\circ}$

На первом профиле (рис. 4) мы видим определенно экспоненциальный профиль поверхностной яркости, причем этот профиль мы наблюдаем на протяжении нескольких экспоненциальных масштабов. А экспоненциальный профиль во внешних частях галактики – это однозначный признак крупномасштабного звездного диска. Помимо этого интересно, что на втором профиле (рис. 5) мы видим, что профиль яркости совершенно не экспоненциальный, с сильными отклонениями ("буграми"). В итоге можно заключить, что судя по всему, раньше

NGC 474 была галактикой с крупномасштабным звездным диском, который в данный момент (скорее всего после поглощения мелкой галактики) сильно возмущился и еще не релаксировал.

Также на профилях яркости, \sim в центральных 20 угловых секундах ясно виден достаточно компактный (если сравнить его со шкалой экспоненциального диска из рис. 4) балдж. Грубо вписав профиль балджа и диска мы получили отношение $B/D=0.3$, что соответствует галактике типа Sab ([34]). Так что не исключено, что до тех катастрофических событий, которые произошли с NGC 474, галактика была более позднего типа, чем S0 (возможно Sa или Sb) и таким образом мы видим процесс превращения галактики позднего типа в S0 галактику.

5.2 Форма изофот в галактике

Для того, чтобы проанализировать структуру галактики, часто используется анализ формы изофот галактик. Изофоты соответствующие разной поверхностной яркости аппроксимируются эллипсами, и изучается изменение параметров изофот (позиционного угла большой оси и эллиптичности) вдоль радиуса (см. например [4]). Такой анализ был проведен для изучаемой нами галактики (рис. 6 и 7). Вообще, часто один только анализ формы изофот позволяет разделить вклад отдельных компонентов в галактике ([11]).

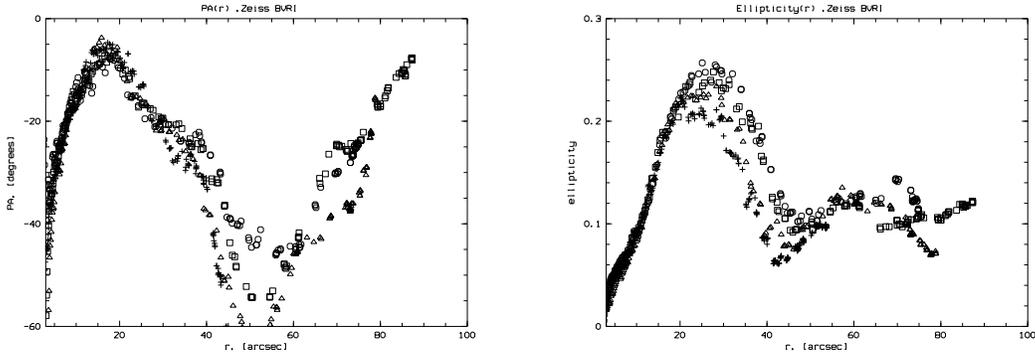


Рис. 6: Изменение позиционного угла изофот с радиусом в галактике NGC 474 в B, V, R, I фильтрах

Рис. 7: Изменение эллиптичности изофот с радиусом в галактике NGC 474 в B, V, R, I фильтрах

Однако, опять как и в случае с поверхностной фотометрией, искаженная структура галактики не позволит нам провести полный анализ. Но, как мы увидим дальше, сочетание фотометрических данных по изофотам (по данным, полученным на Цейссе и на HST) и кинематических данных позволит нам сделать очень серьезные выводы.

Итак на рисунках 6 и 7 показано изменение параметров изофот. Во-первых, сразу нужно сказать, что точки, расположенные дальше, чем $\sim 40'' - 50''$, больше отражают структуру оболочек, а не основного тела галактики (это, в частности, проявляется в том, что позиционные углы изофот вне области $40'' - 50''$ в разных фильтрах расходятся (\sim на 20°)). Эллиптичность же в этой внешней области приблизительно постоянна, что скорее всего связано с тем, что

эти оболочки лежат в одной плоскости (наклоненной под углом $\sim 6^\circ$, исходя из видимой эллиптичности 0.1). Что касается центральных областей галактики, то тут в первую очередь бросается в глаза резкий пик эллиптичности, где-то на расстоянии $25''$ от центра. Подобное поведение эллиптичности в классических работах по поверхностной фотометрии обычно связывается с баром (см. например [11], [9]) или, более общо, с триаксиальностью потенциала. В данном контексте, утверждение о наличии бара или триаксиального потенциала в галактике все же, на основании только фотометрических данных, нельзя пока считать до конца доказанным, но после обсуждения результатов полученных из спектральных данных, вывод о триаксиальности потенциала в галактике будет подтвержден.

6 Спектральные данные по NGC 474

Спектральные данные, которые мы анализировали, и результаты, полученные на основе этих данных, являются ключевыми в данной работе. Именно они позволили нам действительно понять природу галактики, подтвердить предположения, выдвинутые исходя из анализа фотометрических данных, и сделать достаточно надежные выводы о ее прошлой эволюции. Это удалось сделать, потому что в нашем распоряжении были данные с интегрального спектрографа SAURON, а данные с интегральных спектрографов, естественным образом, являются трехмерными данными и соответственно содержат огромное количество информации, которое мы постарались максимально полно извлечь.

7 Анализ кинематики звездной компоненты в галактике

Спектральный диапазон интегрального спектрографа составляет $4800\text{\AA}-5400\text{\AA}$, так что в этот диапазон попадает несколько сильных абсорбционных линий звездного населения (пример спектра одной из точек галактики на рис. 8), что можно было использовать для определения кинематики звезд в галактике. Определение кинематики звездного населения всегда достаточно сложно по той причине, что это определение основано на абсорбционных линиях, которые сложнее измерять, чем эмиссионные линии. Также в абсорбционном спектре часто приходится сталкиваться с блендированием линий. Все это не позволяет определять кинематику по одной абсорбционной линии и требует применения методов, использующих весь спектр. Самым первым и до сих пор применяющимся методом является кросс-корреляционный метод ([13], [12], [14]) (спектр галактики кросс-коррелируется со спектром снятой в тот же сет template звезды, и по положению кросс-корреляционного пика определяется скорость, а по ширине пика дисперсия скоростей). Однако этот метод имеет существенные ограничения, основан на большом количестве предположений и не позволяет оценить ошибки измерений. Также при аккуратном использовании метод требует применения специальных подготовительных методик к спектрам ([15],[16]). Поэтому при исследовании кинематики звездной компоненты галактики нами применялся более рафинированный и точный метод, основанный на работах [17] и [18]. Комбинированный метод был использован следующий: спектр template звезды сворачивался с некоторой модельной LOSVD и потом сравнивался с моделируемым спектром (см. пример модельного и моделируемого спектра на рис. 9)(предварительно конечно спектры делились на континуум). Дальше проходила минимизация χ^2 , в ходе которой определялись параметры LOSVD.

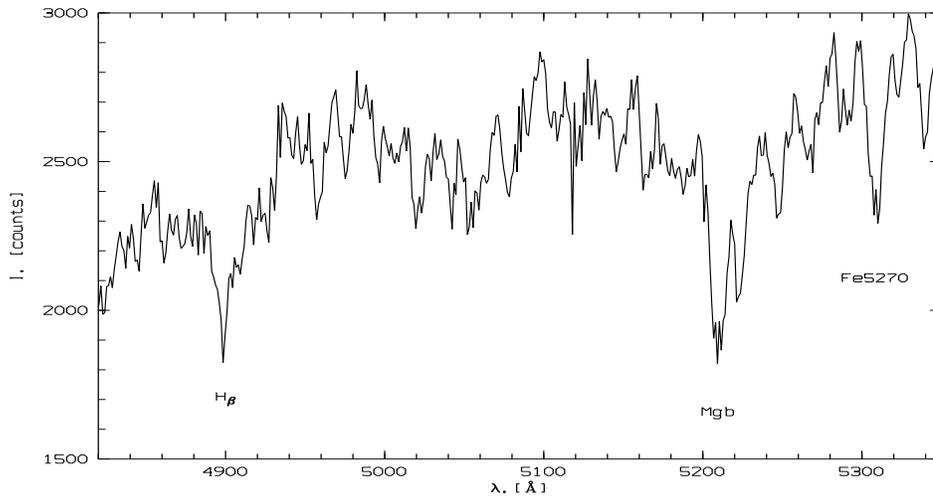


Рис. 8: Спектр одной точки галактики размером $0.94'' \times 0.94''$.

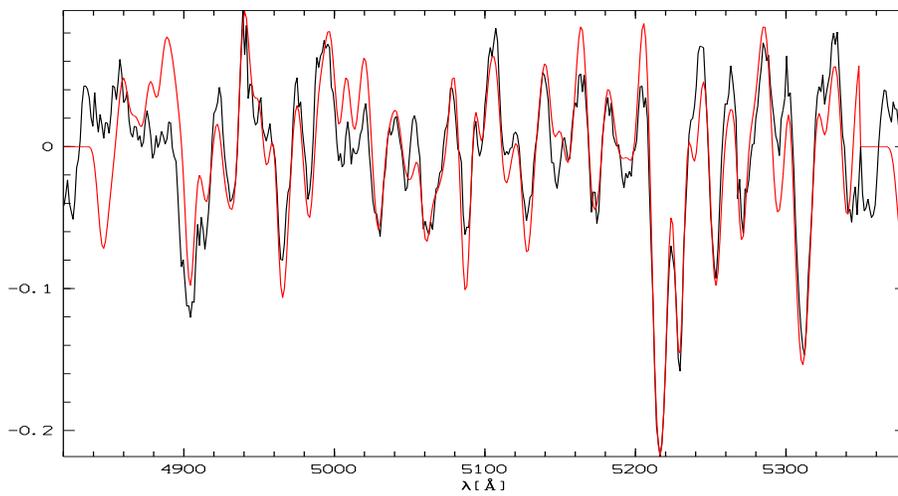


Рис. 9: Спектр одной из точек галактики (черная линия) с наложенным модельным спектром (красная линия).

Использовалась следующая многопараметрическая LOSVD $L(w)$:

$$L = \frac{\gamma\alpha(w)}{\sigma} (1 + h_3 H_3(w) + h_4 H_4(w)), \quad w \equiv (v - V)/\sigma \quad (1)$$

$$\alpha(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}w^2\right) \quad (2)$$

$$H_3(w) = \frac{1}{\sqrt{6}} (2\sqrt{2}w^3 - 3\sqrt{2}w), \quad H_4(w) = \frac{1}{\sqrt{24}} (4w^4 - 12w^2 + 3) \quad (3)$$

где v – координата скорости, V – “средняя” скорость точки галактики, σ – дисперсия скоростей в данной точке галактики, γ – константа, а $H_3(w)$ и $H_4(w)$ – полиномы Эрмита третьего и четвертого порядка соответственно. Использованный метод позволял также определять отклонения от гауссова распределения скоростей в каждой точке (характеризуемые коэффициентами h_3 и h_4 в формуле 1).

В этой работе была попытка подтвердить наличие в центре галактики областей с существенно ненулевыми h_3 и h_4 , о которых было заявлено в работе [3]. Пока (работа по отдельным направлениям в изучении NGC 474 еще ведется) можно сказать, что эти области не были обнаружены. Сложно сказать, вызвано ли это малым отношением сигнал/шум в наших спектрах, или отсутствием вообще в галактике заявленных в работе [3] областей.

Использованный метод по определению кинематики можно очевидно также использовать для анализа звездных населений галактики, так как осуществляется прямой fit template спектра к спектру галактики.

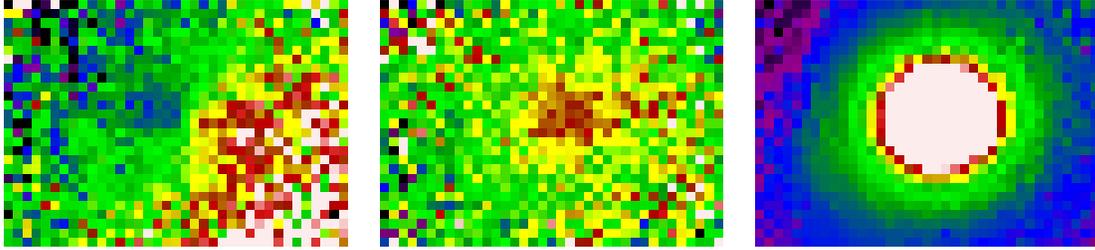


Рис. 10: Карта скоростей звездного населения в центральной области NGC 474 (показан диапазон скоростей 2100–2300 км/с)

Рис. 11: Карта дисперсии скоростей звездного населения в центральной области NGC 474 (диапазон скоростей 0–120 км/с)

Рис. 12: Карта NGC 474 в континууме.

Итак, для галактики, используя вышеописанные методы, были получены карты распределения скоростей и дисперсии скоростей (рис. 10, 11). Для ясности рядом показано изображение галактики в континууме (рис. 12). Первое, на что надо обратить внимание, это на пик дисперсии скоростей в центре галактики (в центральных $\sim 5''$ – $10''$ дисперсия скоростей поднимается в два раза: с 80–90 км/с до 140 км/с. Это значит, что, во-первых, в центральных $5''$ – $10''$ в динамике сильно проявляет себя балдж галактики. А, во-вторых, учитывая также

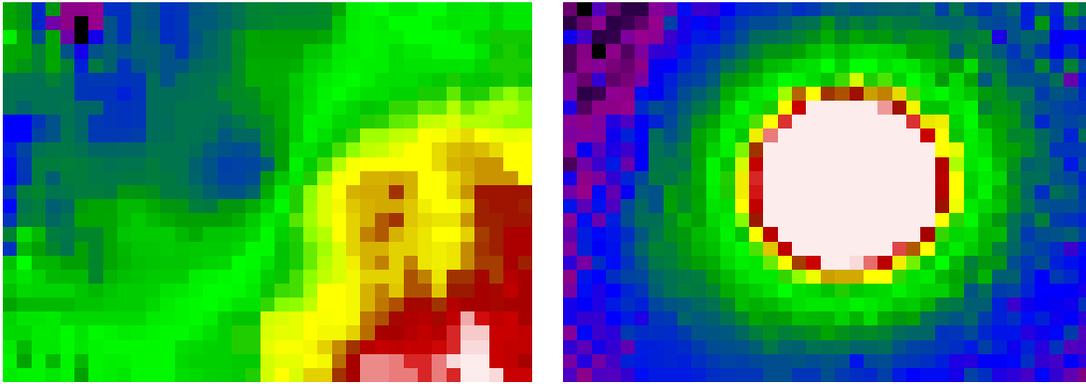


Рис. 13: Сглаженная карта скоростей звездного населения в центральной области NGC 474 (показан диапазон скоростей 2100–2300 км/с)

Рис. 14: Карта NGC 474 в континууме.

наш фотометрический анализ, мы получаем, что во внешних областях построенной карты (вне центральных $5''$ – $10''$) мы видим вращающийся звездный диск. Вообще говоря, дисперсия скоростей 80 – 90 км/с – это большая дисперсия скоростей для диска, но недостаточная для балджа яркой S0 галактики. Однако существует несколько хорошо известных способа нагреть диск: нагрев диска баром [31] или приливным воздействием ([22]). Вероятно, один или даже оба этих механизма должны были работать в NGC 474 (см. 5.2 и ниже). При рассмотрении карты скоростей в NGC 474 в первом приближении можно не заметить никаких особенностей, однако, если слегка сгладить изображение 10, или рассмотреть определяемую по изовеле “нулевой” скорости зависимость положения динамической оси от расстояния от центра, то видно, что в пределах центральных $30''$ динамическая ось в галактике поворачивается.

А такое явление, как поворот динамической оси в противоположную сторону от фотометрической в центре галактики однозначно интерпретируется, как свидетельство наличия в центре галактики триаксиального потенциала ([23], [24]).

Можно подробнее рассмотреть поведение динамических и фотометрических осей вблизи центра галактики.

На рисунке 15, собраны практически все данные по NGC 474 по ориентации изофот и кинематических осей. Там построены Хаббловские изофотные данные (позволяющие проникнуть до центральных сотых долей секунды в галактике), приведены Цейссовские данные по изофотам, и SAURON-овские данные по кинематической оси, а также для самоконтроля, SAURON-овские данные по ориентации изофот (которые, как и должно быть прекрасно совпали с остальными фотометрическими точками). На последней картинке мы уже четко видим поворот динамической полуоси: она поворачивается в противоположную сторону от фотометрической на 90° , указывая нам на триаксиальность потенциала в центральных областях галактики и подтверждая наши предыдущие предположения.

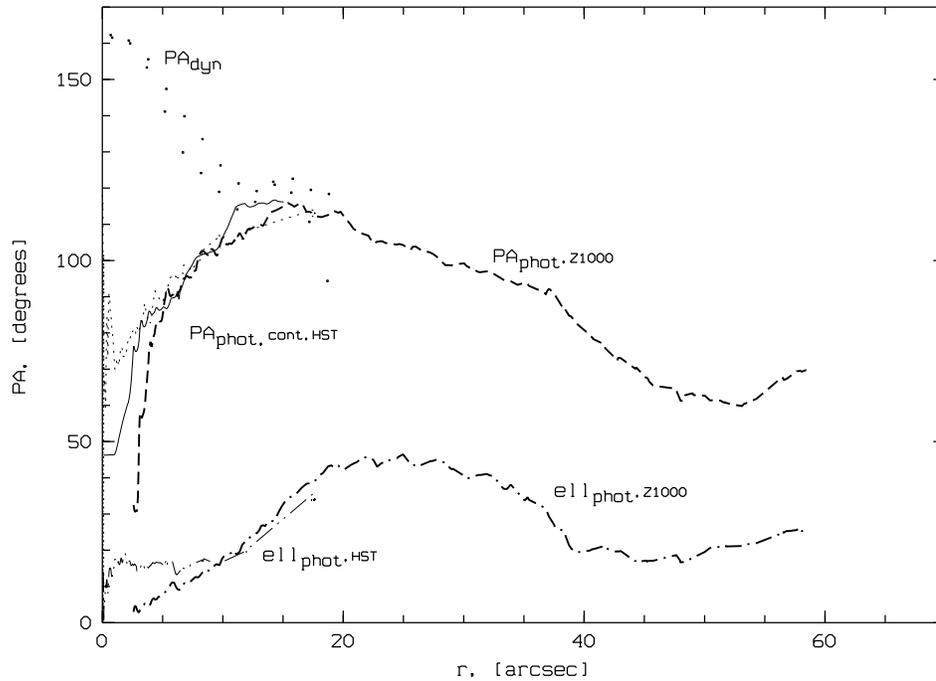


Рис. 15: Позиционные углы (фотометрические и динамические) NGC 474 (HST, Sauron, Zeiss 1000)

8 Эмиссионный спектр галактики

Как уже говорилось, спектральный диапазон спектрографа SAURON позволяет наблюдать не только абсорбционные детали в спектре, связанные со звездами, но и эмиссии, связанные с ионизованным газом в галактике (в спектральном диапазоне 4800\AA – 5400\AA могут наблюдаться эмиссии [OIII] 5007\AA , [OIII] 4959\AA и $H\beta$). Однако сразу можно отметить, что так как в данной работе изучается S0 галактика, то в ней не должно быть много газа. Тем не менее уже самый первый взгляд на спектры, выявил эмиссию [OIII] 5007\AA в отдельных областях галактики.

На рис. 16 и 17 показаны спектры двух точек галактики с эмиссией [OIII]. Из рис. 17 ясно, что “ручное” обнаружение эмиссии будет неуверенным и необходим какой-то объективный метод выделения эмиссионной линии. Ясно также, что алгоритм, просто осуществляющий поиск пика в спектре на интересующей нас длине волны, не даст правильных результатов во всех точках. Сложность задачи в том, что тяжело выделить слабую эмиссионную линию, на фоне глубоких абсорбционных линий. Для решения этой проблемы была придумана следующая методика. Дело в том, что если приблизительно локализовать области, где есть эмиссия, и где ее нет, то, воспользовавшись тем фактом, что спектры соседних точек галактики во

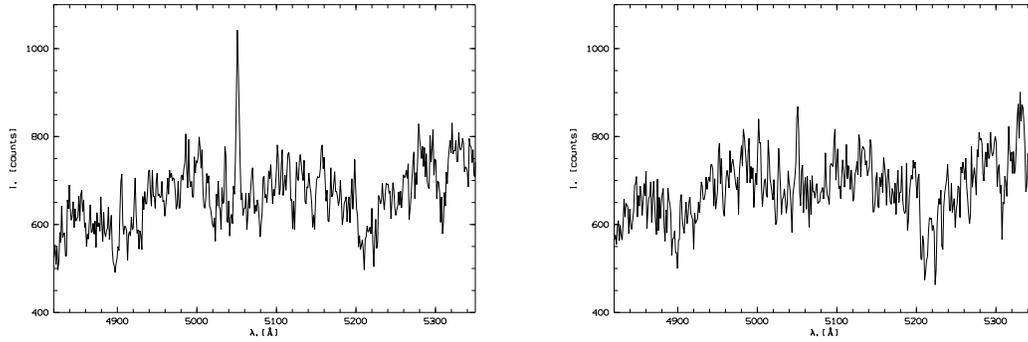


Рис. 16: Спектр одной точки галактики, в которой наблюдается эмиссия [OIII] (взята точка, где эмиссия наиболее яркая)

Рис. 17: Спектр другой точки галактики, в которой наблюдается эмиссия [OIII]

общем-то отличаются достаточно слабо, можно по соседним с эмиссионной областям определить средний абсорбционный спектр, который уже вычитать из спектра эмиссионной области.

Итак, в начале было получено грубое распределение эмиссии по телу галактики (рис. 18). Оно названо грубым, так как получено простым вписыванием гауссианы в спектр в нужной спектральной области (так, в центре алгоритм часто захватывал вместо эмиссии края абсорбции детали и давал большие значения потока в эмиссии). Исходя из этого грубого распределения были выбраны эмиссионные и безэмиссионные области (см. рис. 19) После вычитания

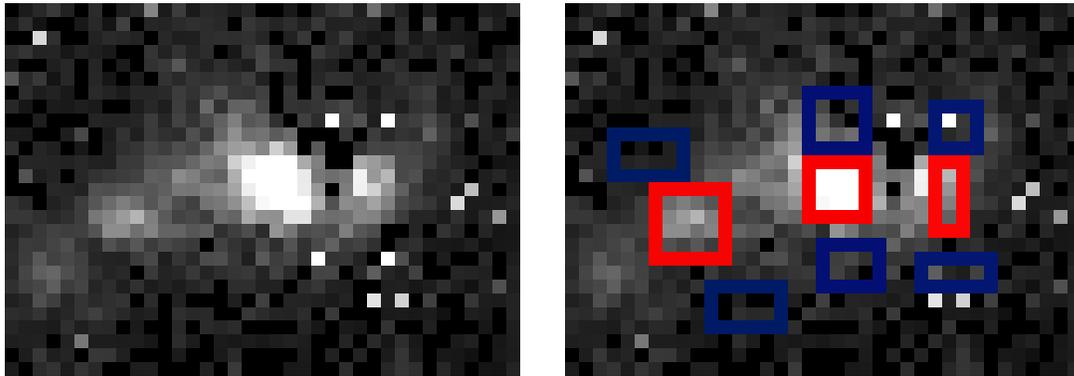


Рис. 18: Грубое распределение эмиссии [OIII] в NGC 474

Рис. 19: Области которые использовались для выделения эмиссий. Красные области – области эмиссий, синие использовались для построения абсорбционного спектра, подложки

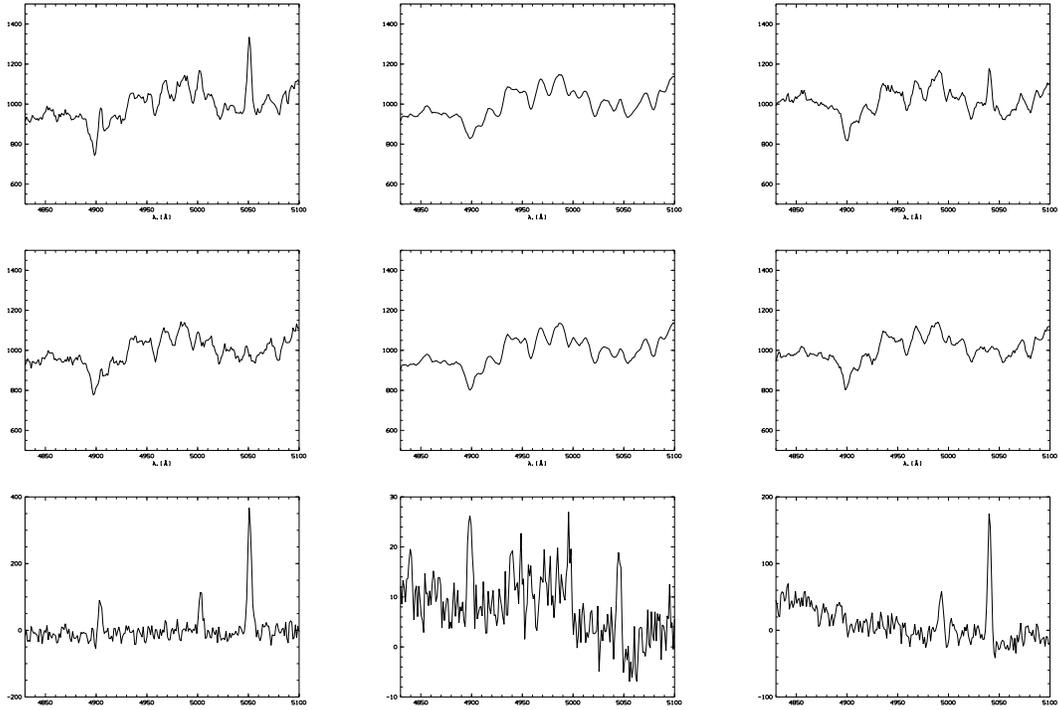


Рис. 20: Выделение эмиссионных линий в областях помеченных красным на рис. 19. Каждая область с рис 19 представлена тремя графиками: первоначальным спектром, вычитавшимся спектром (т.е. усредненным спектром соответствующих синих областей) и тем, что осталось после вычитания абсорбционного спектра

абсорбционных спектров, мы получили эмиссионный спектр в трех областях галактики, причем, благодаря нашему методу, помимо линии [OIII] 5007Å были обнаружены эмиссии в H_{β} и в [OIII] 4959Å. Кстати надо заметить, что появление H_{β} в эмиссии не есть артефакт связанный с тем, что из одной абсорбции вычитают другую, так как скорости по скорости по линиям [OIII] и H_{β} достаточно хорошо совпадают. Полученные эмиссии достаточно качественны для определения например потоков в линиях. А потоки в эмиссионных линиях могут быть использованы для определения природы ионизации и физических условий в газе. Например, если измерить отношение потоков в линиях [OIII] 5007Å и H_{β} , то уже можно сделать выводы о состоянии газа. Для двух удаленных от центра областей оказалось $\frac{[OIII]5007}{H_{\beta}} \sim 3.3$. В то время, как в центральной области это отношение порядка единицы. Отсюда можно сделать несколько выводов. Известно, что чем больше отношение $\frac{[OIII]5007}{H_{\beta}}$, тем выше возбуждение газа ([25], [26]). Так что мы видим, что газ в центре ионизован меньше, чем в периферийных областях. Этот факт позволяет уверенно отказаться от центральной активности ядра, как инициатора наблюдаемой эмиссионной структуры, в пользу возбуждения газа в ударных волнах, хотя сами имеющиеся значения отношений потоков в линиях не позволяют сделать выбор об источнике возбуждения. К тому же возбуждение в ударных волнах очень вероятно в силу того, что мы уже видели, что в центре галактики проявляет себя триаксиальный потенциал, а при движении в триаксиальном потенциале газа (падении на центр), газ оказывается на самопересекающихся орбитах ([20]); в результате в газе возбуждаются ударные волны ([27]), которые способны его нагреть и ионизовать.

Предложенный выше метод по выделению эмиссионных линий может быть применен (с некоторыми минимальными модификациями) и ко всей галактике. И именно так для NGC 474 было получено распределение яркости в линии [OIII] 5007Å и построено поле скоростей ионизованного газа (рис. 21, 22, 23).

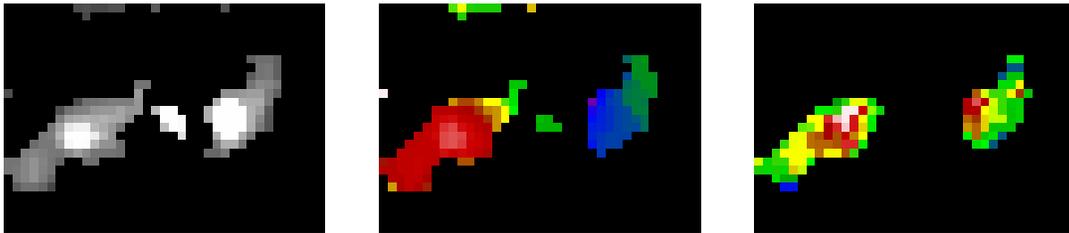


Рис. 21: Карта распределения яркости в эмиссии [OIII] 5007Å в NGC 474

Рис. 22: Карта распределения скоростей в эмиссии [OIII] 5007Å в NGC 474 (диапазон 1800–2700км/с)

Рис. 23: Карта распределения дисперсии скоростей в эмиссии [OIII] 5007Å в NGC 474 (диапазон 0–140км/с)

Основное, что мы видим, это очень быстрое движение (вращение) (~ 350 км/с) и достаточно маленькая (особенно сравнивая со скоростью вращения) дисперсия скоростей газа. Т.е. судя по всему мы видим быстровращающееся газовое кольцо. Также из картинок ясно видно

то, что структура не является планарной, а искривлена, а также лежит под большим углом к основному диску галактики. Однако, искривление дисков тоже не является неожиданным в триаксиальном потенциале (см. [28]). Наиболее яркий известный пример такого искаженного диска – пылевой диск в галактике CenA.

9 Звездные населения в NGC 474

Задача изучения звездных населений, их состава, возраста, металличности по интегральным характеристикам достаточно давно стояла не имея удовлетворительного решения. Существенное продвижение в этой области достигнуто лишь в начале 90-х годов и было связано с т.н. Ликскими индексами, введенными в одноименной обсерватории во время наблюдений спектров эллиптических галактик (см. [32]). Конкретнее, в работе [33] был опубликован рецепт того, как по Ликским индексам разделять эффекты возраста и металличности. С тех пор эти индексы активно используются и позволяют узнать все детали истории звездообразования в галактиках.

Для начала надо отметить, что на данный момент исследование галактики NGC 474 при помощи Ликских индексов еще продолжается, так что в этом разделе я представлю только предварительные данные. Конкретнее, я представлю радиальные профили Ликских индексов $H\beta$, Mgb и Fe5270. Исследование их соотношений и приложение этих данных к общей картине эволюции галактики еще не закончено.

Итак, так как Ликские индексы – это по сути дела, просто эквивалентные ширины соответствующих абсорбционных линий, ясно, что вопрос отношения сигнал/шум для них очень важен. Поэтому, изучались спектры азимутально усредненные в кольцах.

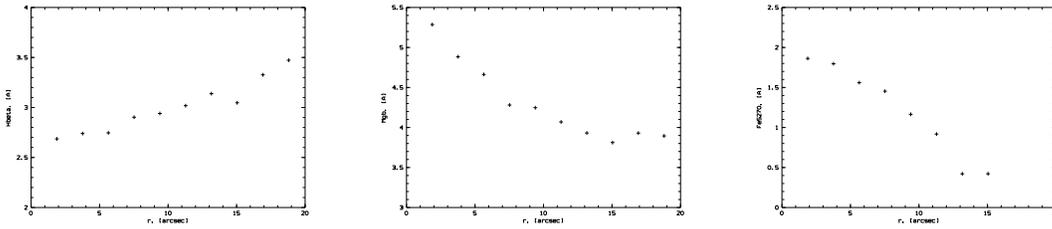


Рис. 24: Профиль изменения индекса $H\beta$ с радиусом

Рис. 25: Профиль изменения индекса Mgb с радиусом

Рис. 26: Профиль изменения индекса Fe5270 с радиусом

Перед тем, как анализировать профили 24, 25, 26 сделаем одно замечание. Дело в том, что линия Fe5270Å попадает на самый край спектрального диапазона прибора, к тому же кривая пропускания прибора SAURON, слегка изменяется по полю, и именно поэтому на самом деле индекс железа так резко падает вне области 10". А так результаты очень интересные: в центральных 5"–6" мы видим резкое увеличение индекса магния (при том, что индекс железа там приблизительно постоянен). Видимо это указывает на эволюционную выделенность

центральной области в NGC 474 (скорее всего, можно уже сейчас сказать (на основании отношения магния к железу), что в центре была короткая вспышка звездообразования). Это пока все выводы которые можно сделать на основании Ликских индексов. Точные и полные выводы сделать далеко не просто, поэтому работа над ними еще идет.

10 Выводы и результаты работы

Была широко и всесторонне изучена очень необычная линзовидная галактика. Были получены следующие результаты:

1. В дополнение ко внешним оболочкам, в NGC 474 были обнаружены слабые оболочки во внутренних областях галактики
2. Проанализированы фотометрические свойства галактики: обнаружен искаженный крупномасштабный звездный диск и достаточно маленький балдж
3. По фотометрии было заподозрено наличие в галактике бароподобной структуры
4. Детально определена кинематика звездной компоненты в галактике, обнаружен поворот динамической оси в центральной области
5. Обнаружено, что внешний диск сильно нагрет (до 80км/с)
6. Обнаружены три эмиссионные области в галактике, движущиеся с большой скоростью
7. Эмиссионная область в центре галактики отвечает заметно меньшей степени ионизации чем внешние эмиссионные области
8. С использованием Ликских индексов обнаружена необычная структура звездного состава галактики

В итоге можно сделать следующие выводы.

Изначально галактика NGC 474 была обыкновенной спиральной галактикой с достаточно массивным диском (возможно типа Sa или Sb). В определенный момент жизни NGC 474 встретила и поглотила некоторую маленькую галактику. Взаимодействие и поглощение этой маленькой галактики, разогрели звездный диск NGC 474, вызвали образование приливного бара/триаксиального потенциала в NGC 474. Звезды упавшей галактики были рассеяны по телу галактики и образовали сложную структуру оболочек. Газ из поглощенной галактики и газ из первоначального диска NGC 474, под действием приливных моментов, в сложном триаксиальном потенциале эффективно свалился в центральные области галактики и вероятно вызвал там вспышку звездообразования. Часть газа образовала быстровращающийся диск/кольцо, искривленное триаксиальным потенциалом, а газ в этом диске достаточно сильно ионизовался из-за возникших в диске ударных волн. В данный момент галактика NGC 474 переживает период релаксации, и после него (когда газ полностью упадет в центр, диск релаксирует, а оболочки “растворятся”) NGC 474 наверное будет выглядеть, как обыкновенная S0 галактика.

11 Благодарности

В первую очередь, конечно же я благодарен своему научному руководителю в течении уже почти шести лет, д.ф.м.н. Ольге Касьяновне Сильченко. Я благодарен ей за предоставленные обработанные данные с SAURON'a, за полезные консультации, советы, помощь в подготовке данной работы, а также за полученный благодаря ей грант РФФИ для молодых ученых. Также я благодарен к.ф.м.н. В.В. Власюку за возможность регулярно ездить в CAO и наблюдать там. Наконец я благодарен Е.В. Глушковой за ее хорошее человеческое отношение ко всем студентам и ко мне, в частности, что так или иначе способствовало выполнению представленной работы.

Работа была частично поддержана грантом РФФИ (MAC-2003) ,номер 03-02-06762.

Список литературы

- [1] Turnbull, A. J.; Bridges, T. J.; Carter, D., MNRAS, Volume 307, Issue 4, pp. 967-976, 1999
- [2] Sil'chenko, O. K., ARep, Volume 38, Issue 5, September 1994, pp.624-634
- [3] Hau, G. K. T.; Balcells, M.; Carter, D. The IAU Symposium 171, Edited by Ralf Bender and Roger L. Davies. Published by Kluwer Academic Publishers, p. 388, 1996
- [4] Jedrzejewski, Robert I., MNRAS, vol. 226, June 1, 1987, p. 747-768.
- [5] Kojima, Makoto; Noguchi, Masafumi, Astrophysical Journal v.481, p.132, 1997
- [6] Hernquist, Lars; Spergel, David N., Astrophysical Journal, Part 2, vol. 399, no. 2, p. L117-L120, 1992
- [7] Prieur, J.-L.,1988, PhD thesis, Univ. Toulouse
- [8] Navarro, Julio F.; Frenk, Carlos S.; White, Simon D. M., Astrophysical Journal v.490, p.493, 1997
- [9] Elmegreen, Debra Meloy; Elmegreen, Bruce G.; Chromey, Frederick R.; Hasselbacher, David Alan; Bissell, Bradley A.,AJ v.111, p.1880, 05/1996
- [10] Friedli, D.; Martinet, L.,A&A. V.277, no. 1/Sep(III), p. 27, 1993
- [11] Jungwiert, B.; Combes, F.; Axon, D. J., A&AS, Vol. 125, November I 1997, 479-496.
- [12] Sargent, W. L. W., Schechter, P.L., Boksenberg, A., Shortridge, K. 1977, AJ, 212, 326
- [13] Tonry, J., and Davis, M. 1979, AJ, 84, 1511
- [14] Ore, C. D., Faber, S. M., Jesus, J., and Stoughton R., and Burstein, D., 1991, 366, 38
- [15] Simkin, S. M., 1974, Astr. Ap., 31, 129
- [16] Brault, J., W., White, O., R., A&A, 1971, 13, 169
- [17] Rix, H.-W., White, S. D. M., MNRAS, 1992, 254, 389

- [18] Marel van der, R. P., Franx, M., ApJ, 1993, 407, 525
- [19] Noguchi, M., ApJ, 1996, 469, 605
- [20] Kalnajs, A. J., 1973, Proc. Astron. Soc. Australia, 2, 174
- [21] Pfenniger, D., 1985, A&A, 150, 112
- [22] Quinn, P. J., Hernquist, L., and Fullagar, D. P., ApJ, 1993, 403, 74
- [23] Moiseev, A. V., Mustsevoi, V. V., Pisma Astron Zh., 2000, 26, 657
- [24] Monnet, G., Bacon, R., Emsellem, E, A&A ,253, 366, 1992
- [25] Veilleux, Sylvain; Osterbrock, Donald E. , AJ Supplement Series , vol. 63, Feb. 1987, p. 295-310.
- [26] Dopita, M. A.; Evans, I. N., Astrophysical Journal, Part 1, vol. 307, Aug. 15, 1986, p. 431-440.
- [27] Roberts, W. W., Jr.; Huntley, J. M.; van Albada, G. D., AJ, Part 1, vol. 233, Oct. 1, 1979, p. 67-84.
- [28] van Albada, T. S.; Kotanyi, C. G.; Schwarzschild, M. ,MNRAS, vol. 198, Jan. 1982, p. 303-310.
- [29] Jeffrey D. P. Kenney, Hugh Crawl, Jacqueline van Gorkom, Bernd Vollmer Recycling Intergalactic and Interstellar Matter, International Astronomical Union. Symposium no. 217, 2003
- [30] Mollenhoff, C.; Heidt, J.; A&A, v.368, p.16-37, 2001
- [31] Combes, Françoise; Mamon, Gary A.; Charmandaris, Vassilis Dynamics of Galaxies: from the Early Universe to the Present, 15th IAP meeting , France, July 9-13, 1999, Eds.: Françoise Combes, Gary A. Mamon, and Vassilis Charmandaris ASP Conference Series, Vol. 197
- [32] Worthey, Guy; Faber, S. M.; Gonzalez, J. Jesus; Burstein, D., ApJS, vol. 94, no. 2, p. 687-722, 1994
- [33] Worthey, Guy, ApJS, vol. 95, no. 1, p. 107-149, 1994
- [34] Simien F., de Vaucouleurs G., ApJ, v.302, p.564, 1986