

УДК 524.74-32/75:520.82

ВНУТРЕННЯЯ КИНЕМАТИКА СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ Mkn 938

© 2020 В. Л. Афанасьев^{1*}, А. В. Моисеев¹, А. А. Смирнова¹

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 24 сентября 2019 года; после доработки 14 ноября 2019 года;
принята к публикации 14 ноября 2019 года

В данной работе мы представляем результаты детального исследования центральной области сейфертовской галактики Mkn 938. Наблюдательный материал был получен на 6-м телескопе САО РАН с панорамным спектрографом MPFS и сканирующим интерферометром Фабри-Перо. Mkn 938 интересна тем, что является результатом слияния двух богатых газом галактик, причем мы наблюдаем уже финальную стадию слияния, сопровождаемую мощнейшей вспышкой звездообразования и активностью ядра. Анализ кинематики газа и звезд показал, что в околядерной области Mkn 938 присутствует истечение газа со скоростями от -370 км с^{-1} до -480 км с^{-1} , а на больших масштабах нами впервые картирован высокоскоростной галактический ветер в линии поглощения Na D.

Ключевые слова: *методы: наблюдательные* — *методика: фотометрия* — *галактики: активные*

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследования сливающихся галактик, богатых газом, позволяют понять роль диссипативных процессов наряду с гравитационными в эволюции галактик и их систем (Schweizer and Seitzer 2007). За последние десятилетия был достигнут прогресс в понимании общей роли слияний в образовании галактик раннего типа, и сейчас принято считать, что многие из них являются продуктом слияний богатых газом галактик. Однако не совсем ясно, как богатая газом система в конечном счете избавляется от газа и как на это влияет вспышка звездообразования в центре и наличие активного ядра. Яркие области звездообразования и истечения формируют различные компоненты на лучезрения, не разрешаемые в картинной плоскости. Применение методов двухмерной (называемой так же 3D или интегрально-полевой) спектроскопии позволяет детально изучать подобные объекты. В настоящей работе представлены результаты двухмерной спектроскопии центральной части галактики Mkn 938. Основные параметры Mkn 938 приводятся в таблице 1.

Взаимодействующая галактика Mkn 938 (= NGC 34 = VV 850), имеющая пекулярную морфологию и активное ядро, была классифицирована нами как Sy2 (Afanasev et al. 1980), что было в дальнейшем подтверждено в работах Dahari

(1985), Veron-Cetty and Veron (1986). Напротив, в Osterbrock and Dahari (1983) она классифицирована как эмиссионная галактика, в которой доминируют области звездообразования, а в Mulchaey et al. (1996) на изображениях в узких фильтрах обнаружено, что в Mkn 938 эмиссия в линии [O III] $\lambda 5007$ слаба по сравнению с большинством известных сейфертовских галактик. Кроме того, там же обнаружено, что яркая эмиссия H α видна по всей галактике. Это предполагает, что ионизация большей части газа не связана с какой-либо сейфертовской активностью. Морфологически галактика, по-видимому, переживает слияние, о чем свидетельствует наличие приливных хвостов. Это подтверждается инфракрасными изображениями Mkn 938 на 8.8 и 12.5 мкм (Miles et al. 1996), на которых в ядерной области галактики был обнаружен двойной источник с разделением примерно $1''2$. Предварительные результаты интегрально-полевой спектроскопии центральной части этой галактики, полученные на 6-м телескопе САО РАН (Rafanelli et al. 2000), показали, что в центре есть как признаки звездообразования, так и истечения газа. В частности, в линии Na D были обнаружены два динамических центра на расстоянии $1''$, которые совпадают с двойным источником, обнаруженным в ИК. Обнаружение в этой галактике на VLA протяженной структуры в HI (Fernández et al. 2010) и околядерного диска в CO на ALMA (Xu et al. 2014) свидетельствует о том, что она является богатой газом взаимо-

*E-mail: vafan@sao.ru

Таблица 1. Основные параметры Мкп 938

Тип активности	Sy 2
Морфологический тип (NED)	Pec
Системная скорость (Rothberg and Joseph 2006)	5881 км с^{-1}
Принятое расстояние	85.2 Мпк
Соответствующая шкала	395 пк/''
Абсолютная звездная величина M_V (Schweizer and Seitzer 2007)	-21.42
Масса нейтрального водорода (Kandalyan 2003)	$5.3 \times 10^9 M_{\odot}$
Максимальная скорость вращения (наши измерения для $i = 38^{\circ}$)	225 ± 6

действующей системой. Глубокие изображения в оптическом диапазоне (Schweizer and Seitzer 2007), также указывают на то, что Мкп 938 является вероятным продуктом слияния галактик с соотношением масс 1: 3. Высокая ИК-светимость объекта предполагает, что звездообразование является доминирующим в центре с незначительным вкладом от AGN (Gonçalves et al. 1999), что подтверждается детальным исследованием инфракрасного спектра Мкп 938 (Esquej et al. 2012), где болометрический вклад AGN в общую ИК-светимость оценивается в 2%. Кроме того, ИК-изображения показывают, что звездообразование происходит внутри 0.5–2 кпк, где имеются следы слияния. Однако эти авторы считают, что наличие AGN необходимо для объяснения светимости в жестком рентгене.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Мкп 938 наблюдалась нами в оптическом диапазоне на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН в рамках программы спектродиффузионной галактик Сейферта. Гелиоцентрическая скорость центра галактики, определенная по абсорбционным спектрам (Rothberg and Joseph 2006), составляет $5881 \pm 2 \text{ км с}^{-1}$, что дает расстояние до галактики 85.2 Мпк для $H_0 = 73 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$. Это соответствует масштабу в картинной плоскости 395 пк/''.

Журнал наблюдений Мкп 938 на 6-м телескопе приведен в таблице 2, где указаны: дата наблюдений, суммарная экспозиция, размер построенного куба данных, качество изображений, используемый прибор, дисперсер или фильтр, спектральный диапазон и спектральное разрешение. Описание используемых приборов (интегрально-полевого волоконного спектрографа MPFS и редуктора светосилы с интерферометром Фабри-Перо — ИФП)

можно найти в Afanasiev et al. (2001). Обработка полученных обоими приборами данных выполнялась по стандартной методике, описанной в наших предыдущих работах Smirnova and Moiseev (2010), Smirnova et al. (2006).

2.1. Интерферометр Фабри-Перо

При наблюдениях со сканирующим ИФП было последовательно получено 12 интерферограмм, равномерно заполняющих свободный спектральный диапазон ($\Delta\lambda \approx 29 \text{ \AA}$ для данного порядка интерференции). Спектральная область вокруг красномещенной линии $H\alpha$ выделялась узкополосным фильтром. Для экономии времени считывания и повышения отношения сигнал/шум ПЗС детектор ТК 1025 1К×1К считывался в режиме аппаратного биннинга 2×2. Поле зрения составляло 5'8 при масштабе 0''68 на пиксель.

Результатом обработки являлся куб данных, где каждый пиксель в поле зрения содержит 12-канальный спектр. Астрометрическая привязка куба данных выполнялась средствами программы Aladin (Boch and Fernique 2014). С помощью гаусс-аппроксимации профиля эмиссионной линии были построены распределения яркости в линии $H\alpha$ и поле лучевых скоростей ионизованного газа, показанные на рис. 1. По техническим причинам нам пришлось ограничиться небольшим числом интерферограмм, дающих дискретизацию спектров, близкую к ширине аппаратного контура прибора, поэтому карт распределения дисперсии скоростей в эмиссионной линии построить не удалось.

Эмиссионная линия детектируется внутри яркого звездного диска галактики ($r < 15''\text{--}20''$), а также в эмиссионном «островке», находящемся на проекционном расстоянии 30''–55'' к северо-востоку от ядра. Этот «островок» хорошо заметен и

Таблица 2. Log of observations

Date of observation	Total exp, sec.	Size of data cube	Seeing, arcsec	Device	Disperser or Filter	Spectral coverage, Å	Spectral resolution, Å
1999/12/04	2400	512×512×12	2	focal reducer	FP260	6675–7005	2.5
2009/10/18	9600	16×16×3000	1.5	MPFS	1200/17.7	4790–7740	3

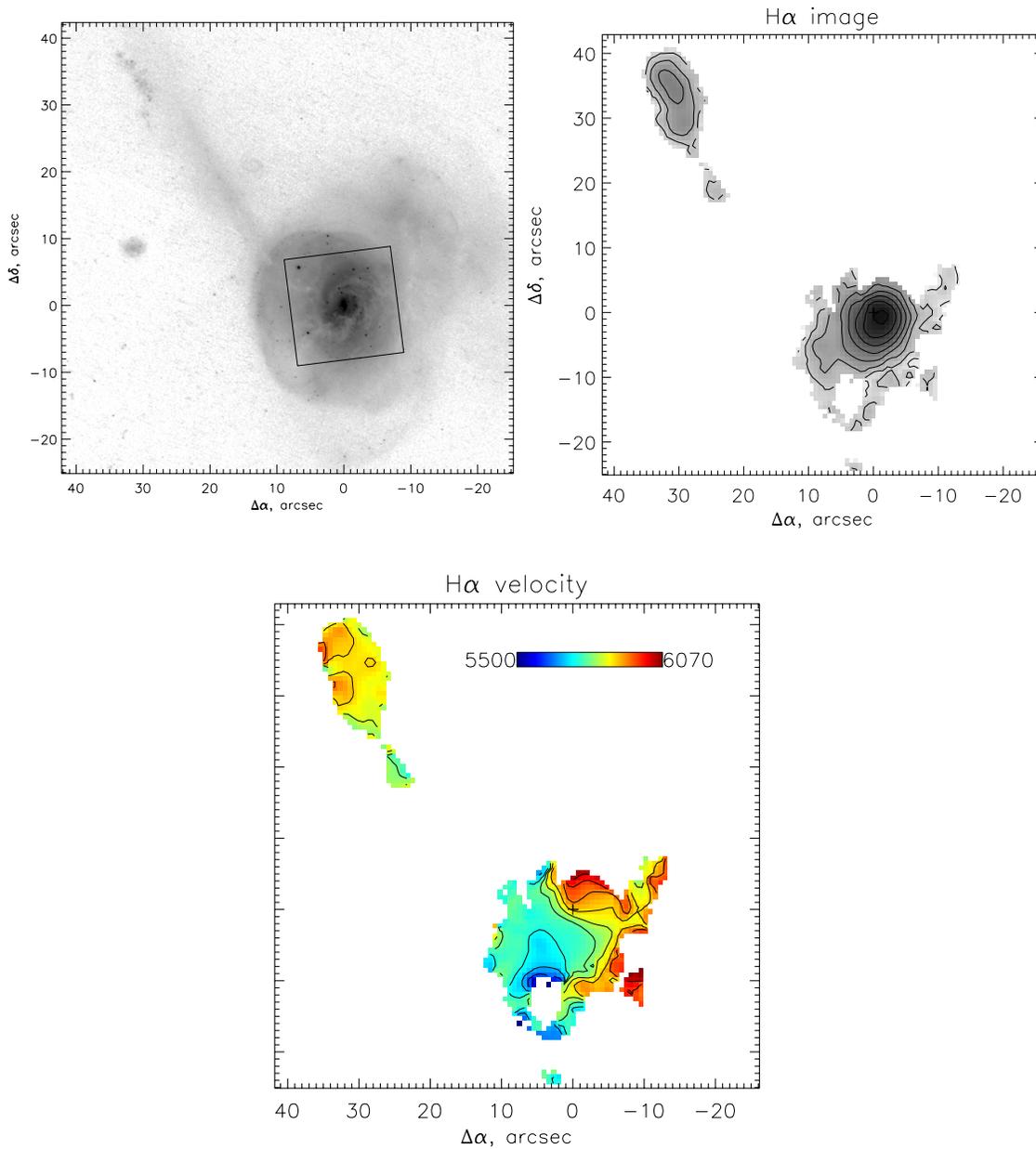


Рис. 1. (а) Изображение Mkn 938, полученное на HST с камерой ACS в фильтре F435W. Квадратом отмечено поле, наблюдавшееся с MPFS. (b) и (c) — результаты наблюдений со сканирующим ИФП: соответственно распределение яркости в линии H α и поле лучевых скоростей в линии. Шкала скоростей в км с⁻¹. Крестиком показан центр изофот континуума вблизи H α .

на широкополосных изображениях с космического телескопа Хаббла (HST), полученных с камерой ACS и опубликованных в Kim et al. (2013), а также на более ранних снимках из Schweizer and Seitzer (2007). Снимок в синем фильтре F438W показан на рис. 1 внизу. Эта эмиссионная деталь, скорее всего, является областью интенсивного звездообразования, связанного с протяженным приливным рукавом. Возможно, это приливная галактика размером около 6 кпк.

2.2. Панорамный спектрограф MPFS

В случае MPFS одновременно регистрируются спектры от 256 пространственных элементов, формируемых при помощи прямоугольного линзового раstra $16'' \times 16''$, который помещается в фокальную плоскость. Угловой размер каждой линзы в наших наблюдениях был $1'' \times 1''$. Этот линзовый растр формирует массив микрозрачков, которые реформируются световодами в псевдощель на входе спектрографа. Пробы спектра фона неба берутся другими световодами, расположенным на расстоянии $4'$ от линзового раstra. В качестве детектора использовалась ПЗС матрица E2V 42-90 формата $2k \times 4.5k$. Расположение раstra MPFS на изображении галактики показано на рис. 1.

После первичной обработки результаты были представлены в виде кубов данных с полем зрения 16×16 элементов, каждый из которых содержал спектр, включающий яркие эмиссионные линии, типичные для сейфертовских галактик — $H\beta$, $[O III] \lambda 4959, 5007$, $H\alpha$, $[N II] \lambda 6548, 6584$ и $[S II] \lambda 6717, 6731$, и линии поглощения $H\beta$, $Mg I$ и $Na D$.

Для измерения потоков и лучевых скоростей эмиссионные линии аппроксимировались гауссианами. Вдали от центра галактики их профили хорошо описываются однокомпонентной моделью, но в центральной области ($r < 4''$, см. далее раздел 3.2) наблюдается второй широкий компонент с амплитудой до $1/4$ от основного. Далее поля скоростей и карты потоков приводятся для основного (узкого) компонента. Для учета вклада контрастных абсорбций от бальмеровских линий звездного населения абсорбция в $H\beta$ также описывалась гауссианой. В области $H\alpha + [N II]$ скорость и ширина абсорбционной детали принимались такими же, как в области $H\beta$, а амплитуда выбиралась такой, чтобы сохранить ту же эквивалентную ширину линий.

Поле скоростей звездного населения строилось методом кросс-корреляции (Moiseev 2001) с использованием шаблонных спектров звезд в спектральном диапазоне $5015\text{--}5400 \text{ \AA}$, содержащем

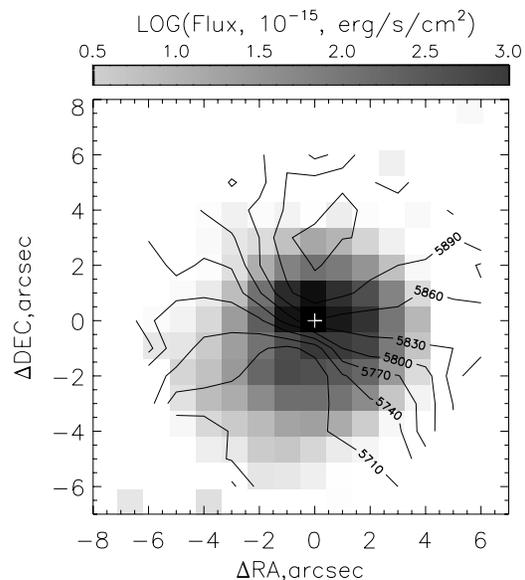


Рис. 2. Поле скоростей Mkn 938 в линии $H\alpha$, наложенное на изображение центральной части галактики в континууме в полосе V .

контрастные абсорбции $Mg I$ и $Fe I$. Этим же методом анализировались профили лучевых скоростей в абсорбционной линии дублета $Na D$, поскольку здесь лучевые скорости сильно отличаются от наблюдаемых как в звездном населении, так и ионизованном газе (см. далее раздел 3.2). В качестве шаблонного спектра $Na D$ использовались эмиссионные линии ночного неба, регистрируемые в поле зрения MPFS.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Кинематика газа и звезд

Согласно данным MPFS, распределение лучевых скоростей ионизованного газа в области $r < 5''\text{--}7''$ в целом согласуется с картиной, ожидаемой для вращающегося плоского галактического диска (рис. 2). Это подтверждается и наблюдениями с ИФП (рис. 1) в линии $H\alpha$. В этой области поле скоростей хорошо совпадает с радиоданными по HI (Fernández et al. 2010). Но за пределами области, наблюдавшейся с MPFS, поле скоростей ионизованного газа демонстрирует значительные отличия от кругового вращения, особенно к западу от ядра. В то же время, лучевые скорости внешней эмиссионной области к северо-востоку от ядра (вероятной приливной галактики) соответствуют системной скорости центра Mkn 938.

Анализ полей лучевых скоростей методом «наклонных колец» (tilted-rings) позволяет определить в узком кольце на заданном расстоянии от ядра r следующие параметры: скорость вращения V_{rot} , позиционный угол кинематической большой

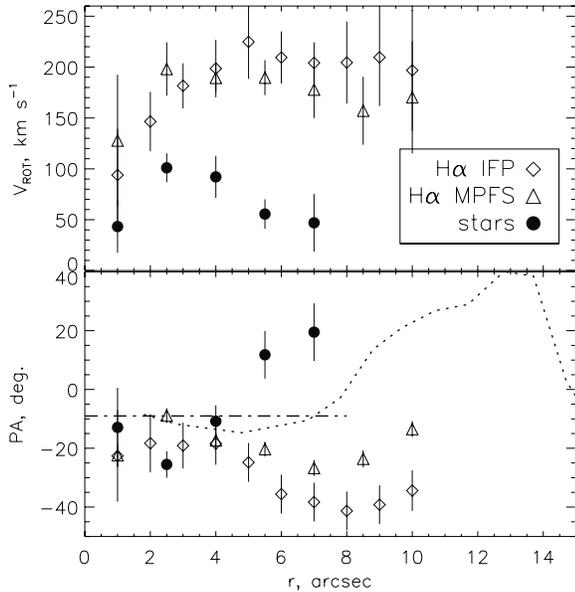


Рис. 3. Результаты анализа полей скоростей газа и звезд: кривые вращения (верхний рисунок) и позиционный угол кинематической большой оси (внизу). Пунктиром показано изменение ориентации большой оси изофот в полосе K (Rothberg and Joseph 2004), штрихпунктиром — ориентация большой оси внутреннего диска согласно Schweizer and Seitzer (2007).

оси PA_{kin} , наклон к лучу зрения i и системную скорость V_{sys} . Подробнее о приложении этого метода к данным ИФП и MPFS рассказано в наших предыдущих работах (Smirnova and Moiseev 2010, Smirnova et al. 2018). Наклон принимался фиксированным $i = 38^\circ$, согласно фотометрическим оценкам Rothberg and Joseph (2004) для изофот внутреннего диска в полосе K , свободной от пылевого поглощения. V_{sys} фиксировалась в соответствии со средней величиной по полю.

Сперва из соображений симметрии поля лучевых скоростей определялось положение кинематического центра вращения. В ионизованном газе (измерения в $H\alpha$ с MPFS и ИФП) центр вращения совпадает с центром изофот континуума. Однако в поле скоростей звезд кинематический центр смещен от фотометрического примерно на $1''$ к северу.

На рис. 3 показано распределение кинематических параметров вдоль радиуса. Видно, что во внутренней области $r < 4''$ (1.6 кпк) $PA_{\text{kin}} \approx -20^\circ$, что близко к имеющимся оценкам ориентации внутреннего диска галактики в оптическом (Schweizer and Seitzer 2007) и ближнем ИК (Rothberg and Joseph 2004) диапазонах: $PA_{\text{phot}} \approx -10^\circ$. Небольшое различие позиционных углов естественно объясняется радиальными движениями вещества в околоядерной спиральной

структуре, хорошо заметной на снимках HST (см. рис. 1). На больших расстояниях от ядра PA_{kin} в ионизованном газе начинает уже сильно отличаться от фотометрической большой оси, что вызвано либо ростом величины некруговых (радиальных) движений газа, либо изгибом газового диска. Но последнее менее вероятно, так как кривая вращения на $r = 3''-10''$ остается практически плоской. Параметры вращения звезд на $r > 4''$ заметно отличаются от газа: кинематическая ось отклоняется в другую сторону от фотометрической, а скорость вращения для принятой величины i резко падает. Отметим, что и во внутренних областях V_{rot} для звезд почти в два раза меньше, чем для ионизованного газа. Такое различие сложно объяснить только эффектом асимметричного дрейфа (большей дисперсией скоростей) в звездном диске. Скорее всего, в поле скоростей звезд мы видим минимум две динамические подсистемы (основную галактику и ядро сливающегося с ней спутника). Сложение их скоростей по лучу зрения усложняет наблюдаемую картину и не дает ее точно интерпретировать в рамках модели кругового вращения плоского диска. В то же время в диссипативной газовой системе мы наблюдаем уже установившееся квази-круговое движение газовых облаков.

3.2. Истечение ионизованного газа

По данным MPFS профили эмиссионных линий как в самом ядре, так и в пределах $r < 4''$ к югу от фотометрического центра демонстрируют заметную синюю асимметрию. Чтобы изучить ее с лучшим отношением сигнал/шум, мы просуммировали спектры в этой области, приведя их в покоящуюся систему отсчета в соответствии с полем скоростей в линии $H\alpha$. На рис. 2 показано, что интегральный спектр в каждой из эмиссионных линий ($H\alpha$ и дублеты $[N\ II]\lambda 6548, 6583$, $[S\ II]\lambda 6717, 6731$, $[O\ III]\lambda 4959, 5007$) можно описать минимум двумя гауссовыми компонентами — узким, с шириной близкой к аппаратному контуру спектрографа, и в несколько раз более широким ($FWHM \approx 700-1000$ км с $^{-1}$). При этом во всех запрещенных линиях широкий компонент заметно смещен в синюю сторону, относительные лучевые скорости составляют около -370 км с $^{-1}$, -380 км с $^{-1}$ и -480 км с $^{-1}$ соответственно в линиях $[N\ II]$, $[S\ II]$ и $[O\ III]$.

В то же время, широкий компонент в бальмеровской линии $H\alpha$ имеет почти нулевую скорость относительно узкой. К сожалению, сделать такой анализ в эмиссии $H\beta$ не удалось из-за ее низкой яркости и блендирования звездной абсорбцией $H\beta$. Однако наши данные позволяют построить карты распределения интегральной яркости линий $[O\ III]$

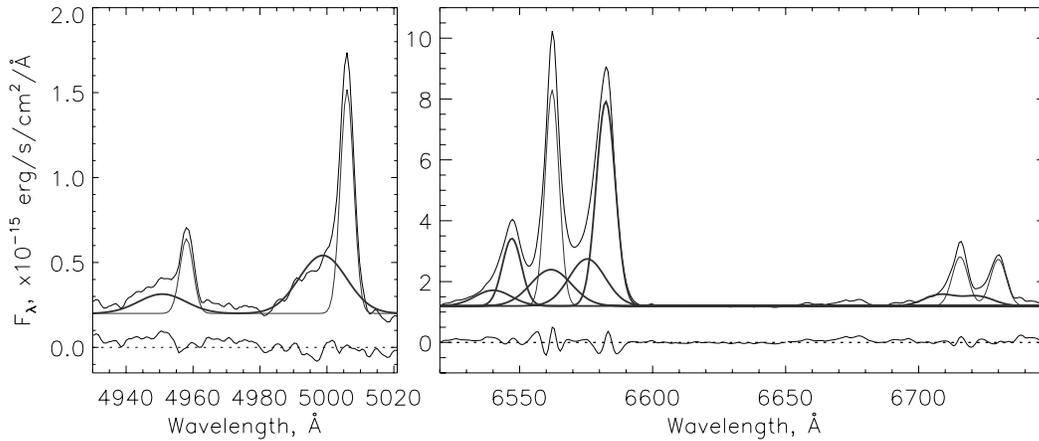


Рис. 4. Интегральный спектр области, в которой по данным MPFS наблюдается асимметрия профилей спектральных линий. Слева — эмиссионные линии дублета [O III], справа — линии H α , [N II] и [S II]. Показано разложение профилей на узкий и широкий гауссовские компоненты, показаны остатки от вычитания компонент. Для удобства отображения спектры смещены вдоль вертикальной оси.

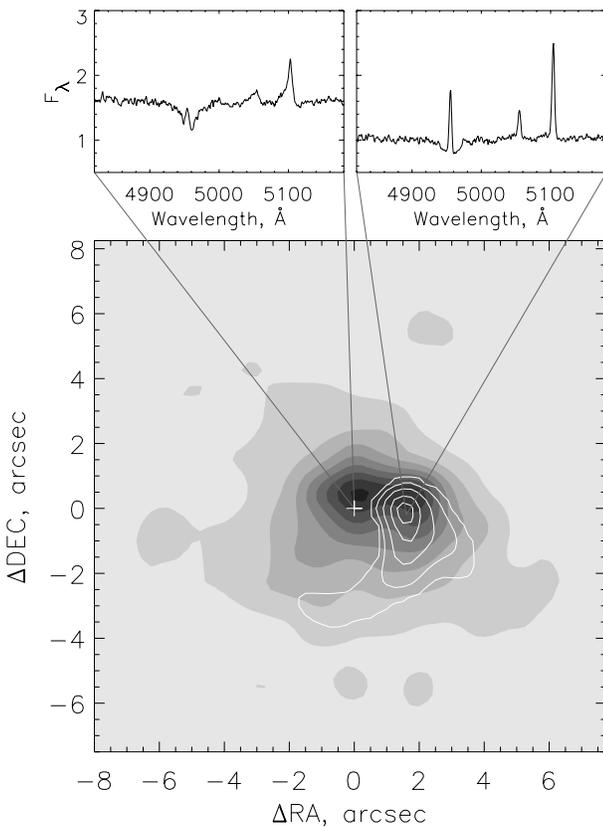


Рис. 5. Изофоты изображения в эмиссии H β , наложенные на изображение в линии [O III] 5007.

и деблендированной эмиссии H β , что показано на рис. 5. На рисунке видно заметное различие распределения яркости в линиях [O III] и H β . Если максимум яркости в [O III] находится в центре галактики, то в H β он смещен на запад на 2".

Изофоты изображения в H β имеют форму дуги, центр которой смещен на юго-запад на 1.5–2". Аналогичное смещение наблюдается также в линии H α по данным ИФП и MPFS. Средняя лучевая скорость, определенная по линии поглощения H β равна 5890 км с⁻¹, что совпадает с системной скоростью 5880 км с⁻¹. Напротив, узкая эмиссия H β показывает смещение на –200 км с⁻¹.

Наблюдаемую картину можно интерпретировать как ветровое истечение из ядра со скоростями не менее 400–500 км с⁻¹, что часто наблюдается в галактиках с мощным звездообразованием. При этом в галактическом ветре доминирует ударная ионизация (Heckman et al. 1990, Westmoquette et al. 2012), на что также указывает смещение узкой линии H β . Наличие в центре несмещенного широкого компонента в линии H α указывает на слабую активность ядра и связано с областью образования широких линий (BLR).

Альтернативным объяснением наблюдаемой асимметрии линий может быть взаимодействие джета с окружающей его средой (jet-cloud interaction, см. работу Smirnova et al. (2007)). Однако детальные наблюдения с высоким пространственным разрешением в радиодиапазоне не обнаружили присутствия протяженных структур, которые можно было бы интерпретировать как джет (Fernández et al. 2014).

3.3. Галактический ветер в протяженной линии поглощения Na D

В спектре центральной части галактики наблюдается широкая линия поглощения Na D, смещенная на 620 км с⁻¹ в голубую область относительно системной скорости 5880 км с⁻¹ (Schweizer

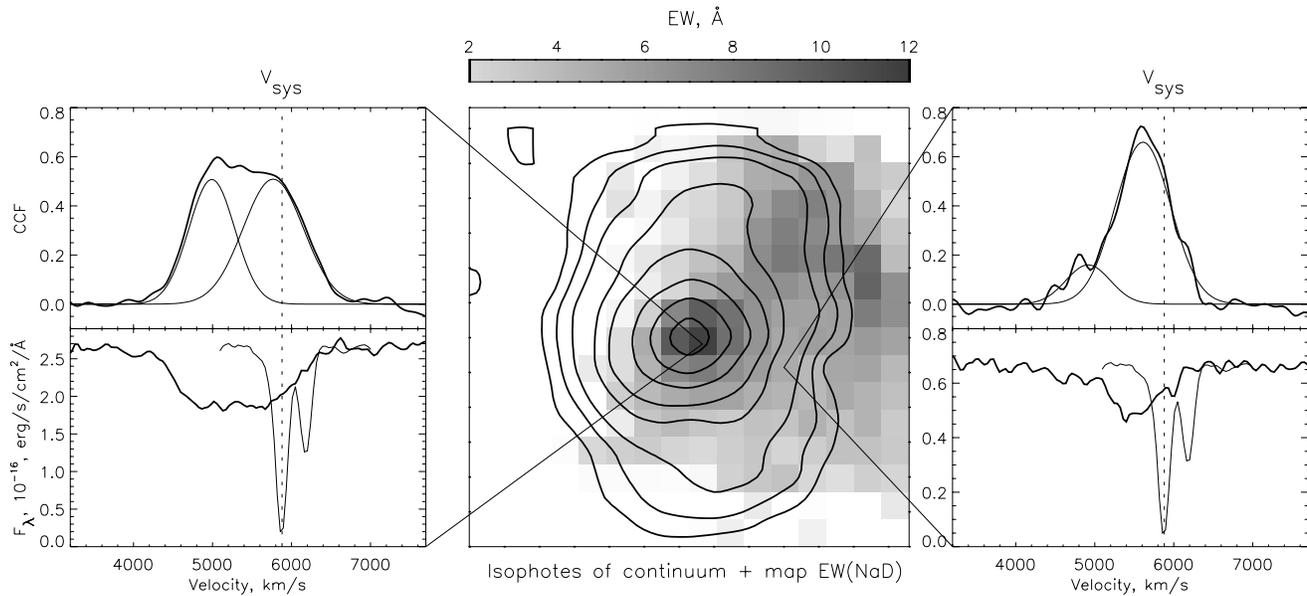


Рис. 6. Карта распределения эквивалентных ширин линии Na D с наложенными на нее изофотами распределения яркости континуума в диапазоне 5500–6300 Å и примеры спектров и их анализа в различных частях изображения.

and Seitzer 2007). Такие линии, демонстрирующие наличие высокоскоростного истечения из центра, наблюдаются у многих ультраярких в ИК-диапазоне активных галактик с интенсивным звездообразованием (Rupke et al. 2005). По данным MPFS мы проанализировали изменение наблюдаемых профилей дублета натрия. рис. 6 иллюстрирует идею нашего анализа. На центральной панели показана карта распределения эквивалентных ширин линии поглощения Na D, которые вычислялись в интервале 5970–6020 Å. На левой и правой панелях рисунка приведены профили линий Na D и результат кросс-корреляции с линиями Na D ночного неба. На оси абсцисс указана шкала скоростей. Рядом с профилями линий объекта показаны негативные профили линий ночного неба, смещенные по Z . Пунктирной вертикальной линией отмечена системная скорость галактики. Кривые кросс-корреляции, по-существу, являются профилями распределения лучевых скоростей в линии Na D в соответствующей точке изображения. Декомпозиция этих профилей показала, что их форма хорошо описывается двумя гауссианами приблизительно одинаковой ширины в пределах $FWHM = 600\text{--}900 \text{ км с}^{-1}$. На рис. 7 показаны карты лучевых скоростей каждой из компонент. Сильно смещенный в голубую область компонент мы будем далее называть высокоскоростным, а другой — низкоскоростным. На рисунке изофоты показывают распределение эквивалентных ширин Na D. Высокоскоростной компонент в центре показывает скорость -800 км с^{-1} относительно си-

стемной скорости и ширину порядка 700 км с^{-1} , а низкоскоростной -200 км с^{-1} и 900 км с^{-1} соответственно.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В Mkn 938 мы наблюдаем финальную стадию слияния двух богатых газом галактик с доминирующим звездообразованием в центре. Наши наблюдения обнаружили многочисленные особенности кинематики газа и звезд в этой галактике. Во-первых, профили эмиссионных линий как в самом ядре, так и в пределах $r < 4''$ к югу от фотометрического центра демонстрируют заметную синюю асимметрию. И если во всех запрещенных линиях широкий компонент заметно смещен в синюю сторону (относительные лучевые скорости составляют от -370 км с^{-1} до -480 км с^{-1} в разных линиях), то широкий компонент в бальмеровской линии $H\alpha$ имеет почти нулевую скорость относительно системной. Наличие в центре несмещенного широкого компонента в линии $H\alpha$ связано с областью образования широких линий (BLR) вокруг активного ядра Mkn 938.

Наблюдаемую картину можно интерпретировать как ветровое истечения из ядра со скоростями не менее $400\text{--}500 \text{ км с}^{-1}$, что часто наблюдается в галактиках с мощным звездообразованием, при этом в галактическом ветре доминирует ударная ионизация (Heckman et al. 1990, Westmoquette et al. 2012), на что также указывает смещение узкой линии $H\beta$. Наличие в центре несмещенного широкого компонента в линии $H\alpha$ указывает на слабую

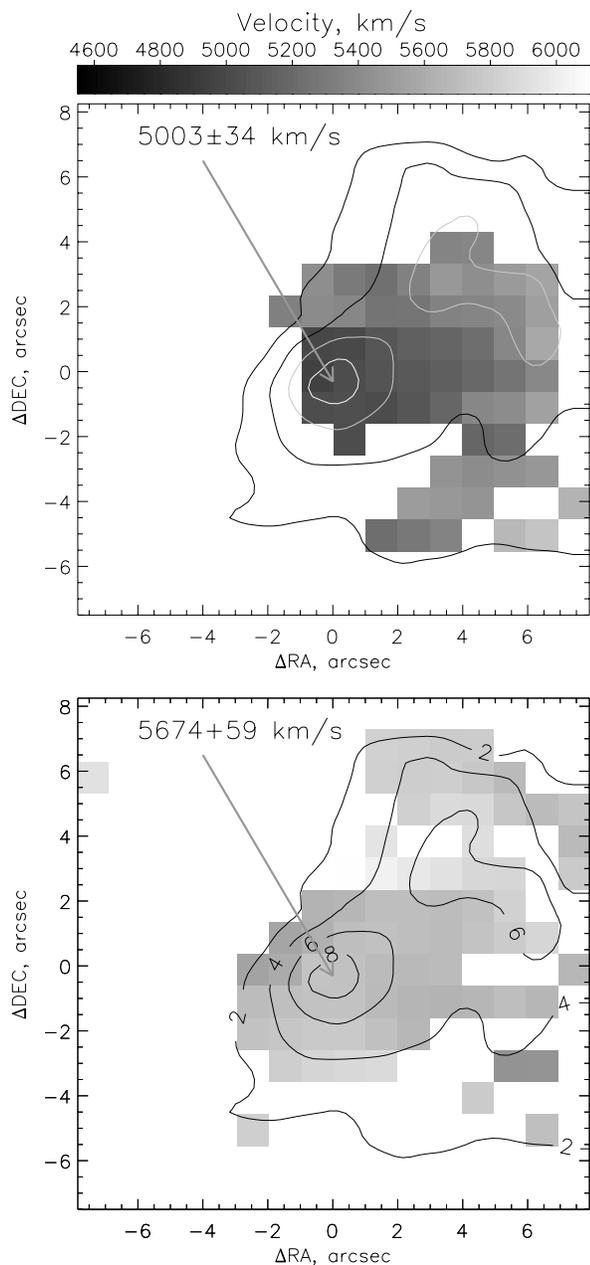


Рис. 7. Карты лучевых скоростей высокоскоростного (вверху) и низкоскоростного (внизу) компонент линии Na D. Распределение эквивалентных ширин Na D показано изофотами.

активность ядра и связано с областью образования широких линий (BLR).

Асимметрия линий скорее всего вызвана истечением из активного ядра. Эта гипотеза подтверждается и другими авторами, оценивавшими скорость движения газа из центра Mkn 938 по Na D от -620 км с^{-1} до -1050 км с^{-1} (Schweizer and Seitzer 2007). Подобного рода истечения могут наблюдаться и в галактиках с сильным

темпом звездообразования, но даже для темпа $70 \pm 20 M_{\odot} \text{ год}^{-1}$ такая скорость истечения слишком велика (Schweizer and Seitzer 2007), и объяснить ее можно только воздействием активного ядра. Например, наличием джета, пока не обнаруженного в радионаблюдениях.

Высокоскоростные истечения нейтрального газа в абсорбции Na D наблюдаются в галактических ветрах достаточно часто. Как правило, эти наблюдения выполняются методом длиннощелевой спектроскопии, так что пространственная структура и протяженность истечений остается неясной. Поля лучевых скоростей истечений в Na D пока построены лишь для небольшого числа галактических ветров (смотри, к примеру, нашу работу про Mkn 334 (Smirnova and Moiseev 2010) или недавнее исследование ветра в NGC 5394 (Martín-Fernández et al. 2016)). При этом пространственный размер истечения нейтрального газа в Mkn 938 значительно больше, высокоскоростной газ наблюдается на проекционных расстояниях до 3 кпк от центра. Построение подробной геометрической модели этого истечения мы планируем выполнить в отдельной работе с привлечением новых наблюдательных данных.

Наши данные позволяют построить карты распределения интегральной яркости линий [O III] и деблендированной эмиссии H β (см. рис. 5). И если максимум яркости в [O III] совпадает с изображением ядра галактики в континууме, то в H β он смещен на запад на $2''$. При этом эмиссия в линии H β сдвинута от системной скорости на -200 км с^{-1} . Наиболее вероятным объяснением наблюдаемого эффекта является истечение газа из ядра со скоростями, достигающими величины $400\text{--}500 \text{ км с}^{-1}$. Истечение газа со скоростью приблизительно 400 км с^{-1} было также обнаружено на ALMA (см. работу Xu et al. 2014).

Наблюдения Mkn 938 в эмиссионной линии CO(6–5) на ALMA обнаружили динамическую структуру, которую авторы проинтерпретировали как окооядерный вращающийся диск (Xu et al. 2014). Однако, этот диск оказывается сильно смещенным по скорости (скорость центра диска приблизительно 5700 км с^{-1}), что почти на 200 км с^{-1} меньше системной скорости. Данное смещение динамического центра можно объяснить тем, что на самом деле в линии CO(6–5) мы наблюдаем совсем не диск, а истечение со скоростями порядка 200 км с^{-1} , и ядро галактики тогда соответствует скоростям около 5900 км с^{-1} . Эта величина системной скорости хорошо согласуется с многочисленными наблюдениями других авторов ($V_{\text{sys}} = 5931 \pm 11 \text{ км с}^{-1}$ — RC3/NED, $5881 \pm 2 \text{ км с}^{-1}$ — Rothberg and Joseph (2006) и т.д.).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено детальное исследование активной галактики Mkn 938 с применением методов параморфной спектроскопии. В ходе работы удалось изучить особенности структуры Mkn 938 на разных пространственных масштабах, а именно:

1. На больших расстояниях от центра ($r > 4''$) параметры вращения звезд заметно отличаются от газа. В поле скоростей звезд мы видим минимум две динамические подсистемы: основную галактику и ядро сливающегося с ней спутника, поэтому сложение их скоростей по лучу зрения усложняет наблюдаемую картину и не дает её точно интерпретировать в рамках модели кругового вращения плоского диска. В то же время в газовой системе мы наблюдаем уже установившееся квази-круговое движение газовых облаков, позволяющее построить реалистичную кривую вращения.

2. Нами впервые картирован высокоскоростной галактический ветер в линии поглощения Na D. Декомпозиция профилей этой линии показала, что их форма хорошо описывается двумя гауссианами приблизительно одинаковой ширины в пределах $FWHM = 600-900$ км с⁻¹. Нами были построены поля скоростей для обоих компонент: высокоскоростной и низкоскоростной. Высокоскоростной компонент в центре показывает скорость -800 км с⁻¹ относительно системной скорости и ширину порядка 700 км с⁻¹, а низкоскоростной -200 км с⁻¹ и 900 км с⁻¹ соответственно.

3. В самой внутренней области галактики, в пределах $r < 4''$ к югу от фотометрического центра, также наблюдается второй компонент в эмиссионных линиях ионизованного газа, смещенный в синюю сторону до -500 км с⁻¹. Кроме того, центр яркости в бальмеровских линиях заметно (почти на $2''$, т.е. около 0.8 кпк) смещен относительно центра изофот [O III] и континуума. Все вместе это может интерпретироваться либо как ионизованная составляющая галактического ветра, картируемого в Na D, либо как результат воздействия джета из активного ядра на окружающую межзвездную среду. К сожалению, имеющиеся радионаблюдения Mkn 938 пока джета не обнаруживают.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят анонимного рецензента за замечания, позволившие улучшить статью. В процессе работы над статьей использовалась база внегалактических данных NASA/IPAC

(NED), управляемая Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института по контракту с NASA (США). В статье приводится снимок из базы данных HLA (Hubble Legacy Archive) оперирующей наблюдения с телескопа NASA/ESA Hubble Space Telescope по коллаборации между Space Telescope Science Institute (STScI/NASA), Space Telescope European Coordinating Facility (ST-ECF/ESA), Canadian Astronomy Data Centre (CADC/NRC/CSA).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 17-12-01335 «Ионизованный газ в галактических дисках и за пределами оптического радиуса»). Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (включая соглашение № 05.619.21.0016, уникальный идентификатор проекта RFMEFI61919X0016).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. L. Afanasev, V. A. Lipovetskii, B. E. Markarian, and D. A. Stepanian, *Astrofizika* **16**, 193 (1980).
2. V. L. Afanasiev, S. N. Dodonov, and A. V. Moiseev, in L. P. Ossipkov and I. I. Nikiforov (eds.), *Stellar Dynamics: from Classic to Modern*, p. 103 (2001).
3. T. Boch and P. Fernique, *ASP Conf. Ser.* **485**, 277 (2014).
4. O. Dahari, *Astrophys. J. Suppl.* **57**, 643 (1985).
5. P. Esquej, A. Alonso-Herrero, A. M. Pérez-García, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **423** (1), 185 (2012).
6. X. Fernández, A. O. Petric, F. Schweizer, and J. H. van Gorkom, *Astron. J.* **147** (4), 74 (2014).
7. X. Fernández, J. H. van Gorkom, F. Schweizer, and J. E. Barnes, *Astron. J.* **140** (6), 1965 (2010).
8. A. C. Gonçalves, M. P. Véron-Cetty, and P. Véron, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **135**, 437 (1999).
9. T. M. Heckman, L. Armus, and G. K. Miley, *Astrophys. J. Suppl.* **74**, 833 (1990).
10. R. A. Khandayan, *Astron. and Astrophys.* **398**, 493 (2003).
11. D. C. Kim, A. S. Evans, T. Vavilkin, et al., *Astrophys. J.* **768** (2), 102 (2013).
12. P. Martín-Fernández, J. Jiménez-Vicente, A. Zurita, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **461** (1), 6 (2016).

13. J. W. Miles, J. R. Houck, T. L. Hayward, and M. L. N. Ashby, *Astrophys. J.* **465**, 191 (1996).
14. A. V. Moiseev, *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory* **51**, 11 (2001).
15. J. S. Mulchaey, A. S. Wilson, and Z. Tsvetanov, *Astrophys. J. Suppl.* **102**, 309 (1996).
16. D. E. Osterbrock and O. Dahari, *Astrophys. J.* **273**, 478 (1983).
17. P. Rafanelli, A. Rifatto, V. Afanasiev, et al., in W. van Breugel and J. Bland-Hawthorn (eds.), *Imaging the Universe in Three Dimensions, Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, vol. 195, p. 232 (2000).
18. B. Rothberg and R. D. Joseph, *Astron. J.* **128**(5), 2098 (2004).
19. B. Rothberg and R. D. Joseph, *Astron. J.* **131**(1), 185 (2006).
20. D. S. Rupke, S. Veilleux, and D. B. Sanders, *Astrophys. J.* **632**(2), 751 (2005).
21. F. Schweizer and P. Seitzer, *Astron. J.* **133**(5), 2132 (2007).
22. A. Smirnova and A. Moiseev, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **401**(1), 307 (2010).
23. A. A. Smirnova, N. Gavrilović, A. V. Moiseev, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **377**(2), 480 (2007).
24. A. A. Smirnova, A. V. Moiseev, and V. L. Afanasiev, *Astronomy Letters* **32**(8), 520 (2006).
25. A. A. Smirnova, A. V. Moiseev, and S. N. Dodonov, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **481**(4), 4542 (2018).
26. M. P. Veron-Cetty and P. Veron, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **65**, 241 (1986).
27. M. S. Westmoquette, D. L. Clements, G. J. Bendo, and S. A. Khan, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **424**(1), 416 (2012).
28. C. K. Xu, C. Cao, N. Lu, et al., *Astrophys. J.* **787**(1), 48 (2014).

Internal Kinematics of the Seyfert Galaxy Mkn 938

V. L. Afanasiev, A. V. Moiseev, and A. A. Smirnova

We report the results of a detailed study of the central part of the Seyfert galaxy Mkn 938. Observational data were obtained with the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences using integral-field spectrograph MPFS and a scanning Fabry–Perot interferometer. Mkn 938 is interesting for being a result of a merger of two gas-rich galaxies, and we observe the final stage of this merger accompanied with an extremely powerful burst of star formation and nuclear activity. Our analysis of the kinematics of gas and stars revealed the presence of gas outflow in the circumnuclear region Mkn 938 with velocities ranging from -370 to -480 km s⁻¹, and allowed us for the first time to map the high-velocity galactic wind in Na D absorption line on large spatial scale.

Keywords: *methods: observational—techniques: photometric—galaxies: active*