

Р.Р. ВАЛИУЛЛИН

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД БЕСЩЕЛЕВОЙ (ШИРОКОЩЕЛЕВОЙ) СПЕКТРОСКОПИИ. РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В ГАЛАКТИКЕ NGC 3310

В работе [1] автором статьи была предложена идея нового метода исследования относительных лучевых скоростей. В данной работе показана практическая применимость и эффективность этого метода на примере определения относительных лучевых скоростей компонент галактики NGC 3310.

Как известно, бесщелевым спектрографом называется астроспектрограф предназначенный для получения спектров слабых небесных светил: звёзд, комет, планетарных туманностей и т.п. [2]. В отличие от обычных спектрографов в бесщелевом спектрографах источником света служит не полоска изображения, вырезаемая узкой щелью, а изображение небесного объекта целиком (Рис. 1).

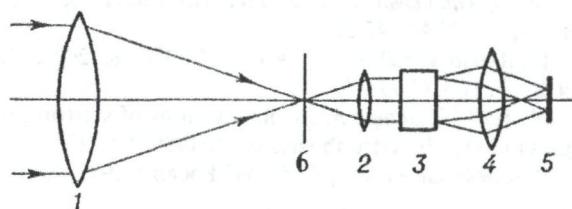


Рис 1. Бесщелевой спектрограф: 1-объектив телескопа; 2-объектив коллиматора; 3-диспергирующий элемент; 4-объектив камеры; 5-приёмник излучения; 6-фокальная плоскость телескопа

Отсутствие потерь света на щели – основное преимущество бесщелевого спектрографа. Другим преимуществом бесщелевого спектрографа является то, что он позволяет фотографировать одновременно спектры нескольких объектов. Однако из-за непрерывного перемещения неоднородностей земной атмосферы, через которые проходит свет небесного объекта, его изображение в телескопе не является вполне точечным, причём оно постоянно колеблется в фокальной плоскости. Это накладывает ограничения на разрешающую способность бесщелевого спектрографа. Другой недостаток бесщелевого спектрографа – относительно низкая проникающая способность телескопа, которая определяется сильным влиянием свечения ночного неба [2]. Тем не

менее, с началом использования телескопов с адаптивной оптикой, а также космических телескопов, бесщелевая спектроскопия становится эффективным методом исследования слабых объектов (см. например [3-9]).

1. Реверзионный метод определения лучевых скоростей звёзд с использованием призменной камеры. В девяностых годах XIX в. Пиккерингом был предложен метод поворота призмы или «реверзионный» метод [10]. Суть метода состоит в следующем. Пусть сделан снимок неба призменной камерой при данном положении призмы. Повернём затем призму на 180° и снова направим инструмент так, чтобы на той же пластинке рядом получить спектры тех же звёзд с дисперсией, обращённой в противоположную сторону. Предположим, что при вращении призмы имело место вращение спектра центральной звезды точно около определённой линии, скажем, H_γ . Тогда относительное смещение линии H_γ в обоих спектрах этой звезды будет равно нулю. Пусть имеется другая звезда, сколь угодно близкая к центральной, и пусть она имеет относительно первой звезды заметную лучевую скорость. Тогда при первом положении призмы линия H_γ будет смещена в одну сторону, а при втором положении призмы линия H_γ будет смещена в другую сторону относительно линии H_γ в спектре центральной звезды. Расстояние между линиями для второй звезды не будет равно нулю, как для первой звезды. Это расстояние является функцией разности лучевых скоростей первой и второй звезд.

Реверзионный метод является дифференциальным методом, позволяющим определять скорости одних звёзд относительно скоростей других, опорных звёзд. Осложняющим обстоятель-

ством при его применении является дисторсия, вносимая призмой, которая проявляется в том, что поперечное линейное увеличение в плоскости изображения не остаётся постоянным. Но если, вместо призменной камеры использовать обычный дифракционный спектрограф (у которого щель сильно расширена или убрана), то проблема дисторсии будет решена. И тогда реверзионный способ становиться удобным и эффективным методом исследования лучевых скоростей. Тем не менее, в настоящее время реверзионный метод, за редким исключением [9], не находит широкого применения в современной бесщелевой спектроскопии. Целью данной работы является показать применимость и эффективность реверзионного метода для исследования поля скоростей в многокомпонентных эмиссионных объектах (таких как, например, ядра галактик).

2. «Классический» и реверзионный способ исследования поля скоростей. Рассмотрим более подробно сущность наиболее широко применяемого в настоящее время способа бесщелевой спектроскопии (для краткости назовём его «классическим»). В «классическом» способе бесщелевой спектроскопии (см. например [3]) относительные лучевые скорости деталей эмиссионного объекта получаются из сопоставления дисперсного изображения (изображения объекта получаемого на выходе безщелевого спектрографа) с прямым (недисперсным) изображением. Схематически это выглядит следующим образом (см. Рис. 2). Пусть в эмиссионном объекте 1, в качестве которого может выступать ядро галактики или туманность, имеется эмиссионная деталь 2. И пусть лучевая скорость детали 2 превышает ту

минимальную скорость, которую способен разрешить данный спектрограф (Рис. 2(a)). Тогда на дисперсных изображениях высокоскоростная деталь 2 окажется, по сравнению с его положением на прямом снимке, смещённой относительно объекта 1 (Рис. 2(b)). Абсолютная величина доплеровского смещения будет зависеть как от значения линейной дисперсии спектрографа, так и от величины лучевой скорости детали 2. Направление же смещения будет определяться направлением дисперсии и знаком лучевой скорости. Причём, изменив позиционный угол спектрографа на 180° можно получить второе дисперсное изображение (Рис. 2(c)), которое будет существенно отличаться от первого (Рис. 2(b)).

Сопоставив изображения (a) и (b) (или (a) и (c)) (см. Рис. 2), т.е. совместив их так, чтобы совпали изображения объекта 1 можно получить доплеровский сдвиг изображения 2 (Рис. 3(a)), а значит, и его относительную лучевую скорость. Но перед смещением необходимо: или убрать растянутость дисперсного изображения вдоль направления дисперсии в изображении (b) и (c) или наоборот растянуть в том же направлении и в той же мере прямое изображение (a).

Растянутость изображения на выходе спектрографа возникает из-за того, что угол падения луча на дифракционную решётку, как правило, больше угла отражения. Для получения нерастянутого изображения необходимо, чтобы угол падения на дифракционную решётку совпадал с углом отражения. Но в этом случае мы не сможем получить лучевые скорости деталей объекта, так как на выходе спектрографа будет получаться недисперсное изображение объекта. Та-

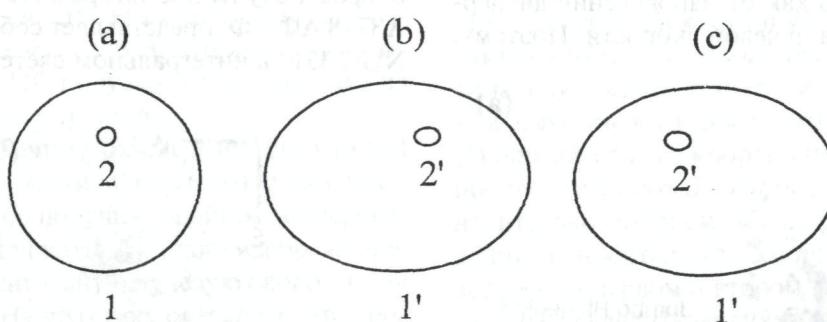


Рис. 2. Схема, поясняющая «классический» и реверзионный способы исследования поля скоростей:

(a) – прямое изображение эмиссионного объекта 1 и его детали 2; (b) – дисперсное изображение того же объекта 1' и его детали 2'; (c) – дисперсное изображение того же объекта 1' и его детали 2', снятые при позиционном угле спектрографа, отличающемся от случая (b) на 180° .

В обоих случаях дисперсия направлена вдоль большой оси эллипса.

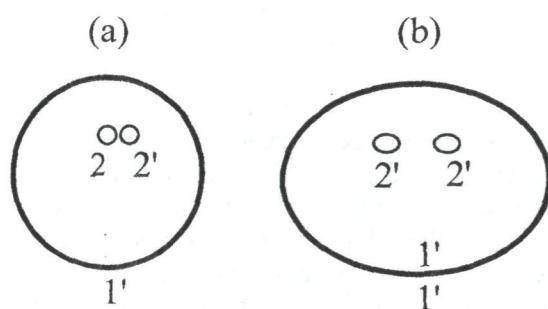


Рис. 3. Определение величины доплеровского смещения изображения высокоскоростной детали 2:
 (а) совмещением прямого и дисперсного изображения объекта; (б) совмещением двух, снятых при позиционных углах отличающихся на 180^0 , дисперсных изображений объекта.

ким образом, дисперсное изображение, по сравнению с прямым, всегда искажено: или оно растянуто в направлении дисперсии (чаще всего) или сжато.

В способе, основанном на реверзионном методе бесщелевой (широкощелевой) спектроскопии относительные скорости деталей эмиссионного объекта выводятся из сопоставления двух дисперсных изображений, снятых при позиционных углах спектрографа, отличающихся на 180^0 . Схематически это выглядит следующим образом. Рассмотрим опять эмиссионный объект 1 с высокоскоростной эмиссионной деталью 2 (Рис. 2(а)). Как говорилось выше, на дисперсных изображениях высокоскоростная деталь 2 окажется, по сравнению с её положением на прямом изображении, смещённой относительно объекта 1 (Рис. 2). Причём направление смещения будет зависеть как от направления дисперсии, так и от знака лучевой скорости. Поэтому,

изменяя направление дисперсии на 180^0 (например, путём поворота спектрографа 180^0), можно получить два дисперсных изображения, в которых высокоскоростная деталь 2 окажется, по сравнению с её положением на прямом изображении, смещённой относительно объекта 1 в разные стороны (см. Рис. 2(б) и 2(с)). Совместив изображение объекта 1 на рисунках 2(б) и 2(с), можно получить удвоенное доплеровское смещение детали 2 (Рис. 3(б)). В отличие от «классического» способа в реверзионном способе нет необходимости исправлять искажение объекта, так как на обоих дисперсных изображениях объект растянут в равной степени. Важно и то, что в данном способе получается удвоенное значение доплеровского смещения, а это означает, что в реверзионном способе точность измерения относительной лучевой скорости будет выше, чем в «классическом». Поэтому реверзионный способ, как считает автор данной статьи, имеет хорошие перспективы в будущем. Особенно в связи с тем, что в последнее время строятся всё больше и больше телескопов с адаптивной оптикой.

3. Результаты применения реверзионного способа бесщелевой (широкощелевой) спектроскопии для исследования поля скоростей в галактике NGC 3310. Для практического подтверждения применимости и эффективности реверзионного способа бесщелевой (широкощелевой) спектроскопии автором данной работы были проведены ряд наблюдений галактики с интенсивным, продолжающимся звёздообразованием NGC 3310 [11]. На Рис. 4 показаны два прямых изображения NGC 3310. Первое, взятое из статьи [11], показывает вид NGC 3310 в линии H (Рис. 4(а)). Второе, полученное автором статьи на телескопе АЗТ-8 АФИФ, представляет собой изображение NGC 3310 в интегральном свете (Рис. 4(б)).

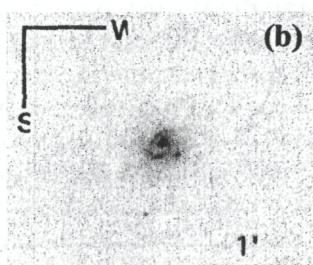
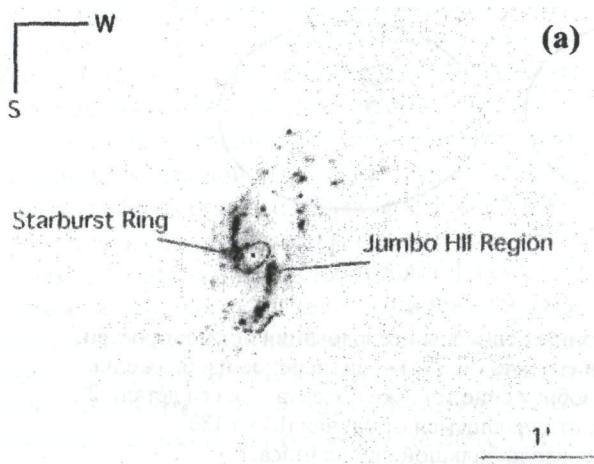


Рис. 4. Изображения NGC3310: (а) в линии H_α (зято из статьи [11]); (б) в интегральном свете (получено автором на телескопе АЗТ-8 АФИФ)

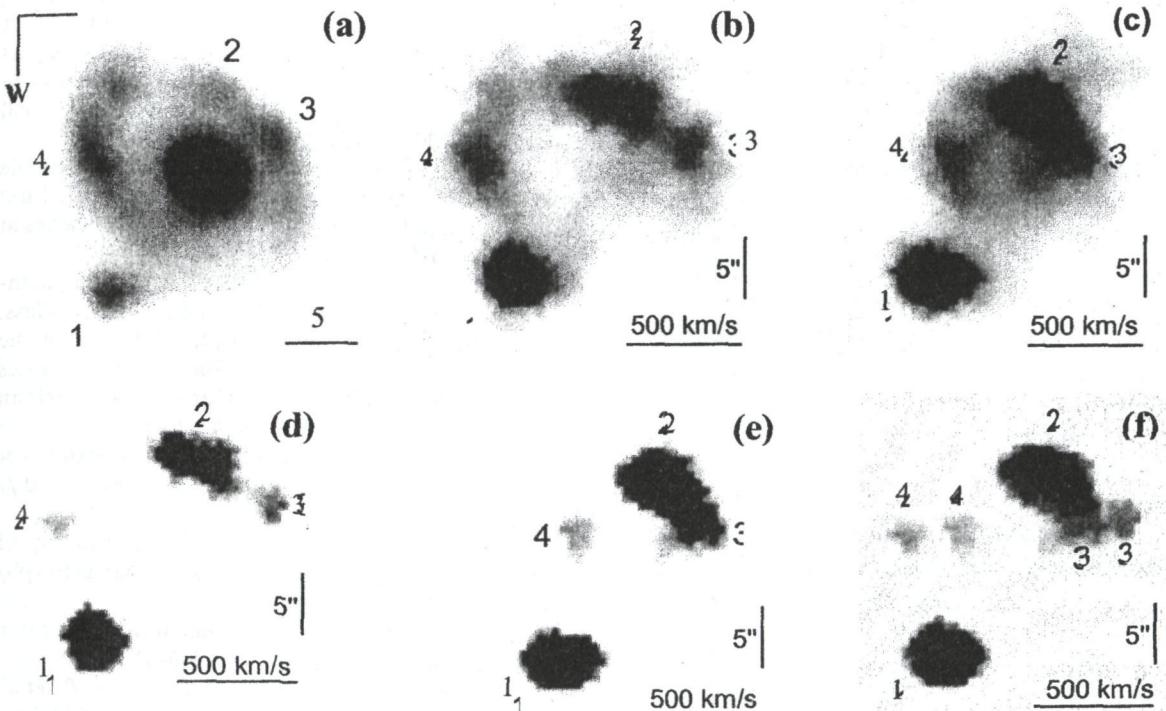


Рис. 5. Центральная область спиральной галактики NGC 3310: (а) – прямое изображение в интегральном свете; (б) и (с) – дисперсные изображения в линии Н I , снятые при позиционных углах спектрографа, отличающихся на 180° ; (д) и (е) – эквиденситные изображения (б) и (с); (ф) – наложение эквиденситных изображений (д) и (е) путём совмещения детали 1.

На Рис. 5(а) представлено прямое изображение центральной области спиральной галактики NGC 3310. По сравнению с Рис. 4(б) изображение центральной области галактики NGC 3310 увеличено и повернуто по часовой стрелке на 90° . На рисунках 5(б) и 5(с) приводятся два дисперсных изображения центральной области галактики NGC 3310, снятых при позиционных углах отличающихся на 180° . Рисунки 5(д) и 5(е) являются эквиденситными изображениями рисунков 5(б) и 5(с). Рис. 5(ф) получен путём совмещения рисунков 5(д) и 5(е) по детали 1.

Измерив величину раздвоения для каждой детали (см. Рис. 5(ф)) и зная значение линейной дисперсии, можно получить двойное доплеровское смещение, для каждой детали изображения, а значит и относительную лучевую скорость для каждой из них. На практике оказалось, что способ совмещения дисперсных изображений хоть и является простым и наглядным способом, но может содержать ошибки из-за неправильного совмещения. Более точные значения лучевых скоростей получаются из этих же дисперсных изображений при их несложной математической

обработке. Для этого надо: (1) изменяя контрастность и яркость, выявить оптический центр исследуемой детали как на первом (снятом при произвольном позиционном угле α), так и на втором (снятом при позиционном угле $\alpha+180^\circ$) дисперсном изображении, (2) определить координаты этих центров, (3) выбрать опорную деталь – деталь наиболее близкую к проекции оси вращения галактики на картинную плоскость (для галактики NGC 3310 это деталь 1), (4) подобрав оптимальную контрастность и яркость изображения, выявить оптический центр опорной детали, (5) определить его координаты, (6) получить относительные координаты исследуемой детали относительно опорной, (7) из разности (несовпадения) относительных координат исследуемой деталей на первом и втором дисперсном изображении определить её лучевую скорость относительно опорной детали. Математическая обработка всех, полученных автором статьи пар дисперсных изображений галактики NGC 3310, показала, что деталь 4 имеет, относительно детали 1 лучевую скорость $+100 \pm 20$ км/с, а деталь 3 – -50 ± 20 км/с. Лучевая скорость детали 2 лежит в

пределах точности измерения лучевых скоростей, т.е. ≤ 20 км/с.

Таким образом, мы видим, что реверзионный метод является достаточно эффективным при исследовании поля скоростей объектов, имеющих достаточно контрастные эмиссионные детали.

Обобщая опыт применения бесщелевой спектроскопии для разных объектов, хотелось бы подчеркнуть, что особая ценность как классического, так и реверзионного способа бесщелевой (широкощелевой) спектроскопии заключается в возможности: (1) увидеть (с использованием всего лишь двух снимков) общую картину движения газовых облаков и струй в объекте, (2) выбрать наиболее интересные, быстродвижущиеся детали для последующего подробного их исследования с помощью узкощелевой спектроскопии, (3) по двум снимкам определить относительные лучевые скорости сразу множества эмиссионных деталей.

При использовании бесщелевой спектроскопии исключается также влияние на точность определения лучевых скоростей ошибки положения компактного объекта поперек щели.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что метод бесщелевой спектроскопии при некоторых исследованиях может оказаться весьма полезным и эффективным.

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валиуллин Р.Р. Быстрый способ исследования распределения лучевых скоростей у протяжённых эмиссионных объектов // Известия МН–АН РК. Серия физ.-мат. 1998. № 4. С.99-101.
2. БСЭ. Бесщелевой спектрограф. Москва, 1970, Т.3, С.276.
3. Kaiser M.E., Bradley L.D., Hutchings J.B., et.al. The resolved narrow-line region in NGC 4151 // Astrophys.J. 2000. V.528. P.260-275.
4. Salzer J.J., Gronwall C., Lipovetsky V.A., et.al. The KPNO International Spectroscopic Survey. II. Hα-selected Survey List // AJ. 2001. V.121. P.66-79.

Данная работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351. Авторы выражают благодарность А.А. Михайлову за помощь в проведении спектральных наблюдений и обработке полученных данных. Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351. Авторы выражают благодарность А.А. Михайлову за помощь в проведении спектральных наблюдений и обработке полученных данных.

5. Ruiz J.R., Grenshaw D.M., Kraemer S.B., et.al. Probing the Kinematics of the Narrow-Line Region in Seyfert Galaxies with Slitless Spectroscopy: Observational Results Probing the Kinematics of the Narrow-Line Region in Seyfert Galaxies with Slitless Spectroscopy: Observational Results // AJ. 2005. V.129. P.73-85

6. Drozdovsky I., Yan L., Chen H.-W., et.al. The Hubble Space Telescope ACS Grism Parallel Survey. II. First Results and a Catalog of Faint Emission-Line Galaxies at $z \leq 1.6$ // AJ. 2005. V.130. P.1324-1336.

7. Pirzkal N., Malhotra S., Rhoads J.E., Xu C. Lyman-alpha Emitters in the HUDF: A Population of Low Mass, Star Forming Galaxies Lyman-alpha Emitters in the HUDF: A Population of Low Mass, Star Forming Galaxies // 2007 AAS/AAPT Joint Meeting, American Astronomical Society Meeting 209, #171.01

8. Xu C., Pirzkal N., Malhotra S., et.al. Redshifts of Emission-Line Objects in the Hubble Ultra Deep Field // AJ. 2007. V.134. P.169-178.

9. Sheinis, A. I. Spatially resolved spectroscopy of emission-line gas in QSO Host galaxies // arXiv:astro-ph/0103462v1. 28 Mar 2001.

10. Михайлов А.А. Курс астрофизики и звёздной астрономии. Москва, 1973, Т.1, стр.346-347.

11. Wehner E. H., Gallagher J. S., Papaderos P., et.al. NGC 3310 and Its Tidal Debris: Remnants of Galaxy Evolution // MNRAS. 2006. V.371. P.1047-1057.

Резюме

Салыстырмалы сөүлелік жылдамдықтырын зерттеудің жаңа әдісінің идеясы авторымен ұсынылған. Осы әдістің практика жүзінде колданылуы және эффективтілігі NGC 3310 галам күраушыларының салыстырмалы сөүлелік жылдамдықтарын анықтау мысал ретінде көрсетілген.

Summary

An idea of the new method of relative radial velocities investigation was proposed by author of the article in the paper [1]. The practical application and efficiency of this method are shown on an example of determination of relative radial velocities of the galaxy NGC 3310 components.

ДГП “Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова” МОН РК, г. Алматы // 03.04.2008 г. Поступила 07.04.2008 г.