

# منابع اصلی یونیزاسیون گاز در چند کهکشان ستاره زای نزدیک

بهجت زارعی جلال آبادی<sup>1</sup>، عباس عابدی<sup>1</sup>، الکسی مویسویو<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>گروه فیزیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

<sup>2</sup>رصدخانه ی تخصصی فیزیک نجومی، آکادمی علوم روسیه (SAO RAS)، نیتزنی آرخیز، روسیه

<sup>3</sup>مرکز تحقیقات فضایی، آکادمی علوم روسیه، مسکو، روسیه

## چکیده

مطالعه‌ی حالت ماده بین کهکشانی (ISM)، به کمک نسبت چگالی خطوط طیفی با تفکیک منابع اصلی یونیزاسیون گاز انجام می‌شود که نمودارهای حاصل بر این اساس، به اختصار BPT نامیده می‌شوند در بعضی موارد، مثلاً وقتی که سهم تابش ستاره‌های OB با سهم امواج شوک ترکیب می‌شوند، منبع یونیزاسیون به راحتی قابل تشخیص نیست. افزودن یک پارامتر اضافی - پراکندگی سرعت گاز در امتداد خط دید - به نمودارهای کلاسیک BPT (رابطه BPT- $\sigma$ )، به پیدا کردن یک راه حل کمک میکند. کمترین فاصله از مرز ناحیه‌ی HII در نمودار BPT برای تک تک نقاط که ما آن را  $\rho$  مینامیم نیز میتواند در مشخص کردن منابع یونیزاسیون مفید باشد. ما رابطه BPT- $\sigma$  و نیز همبستگی  $\sigma$  و  $\rho$  را برای تشخیص علت تحریک گازهای یونیزه در چند کهکشان ستاره زای نزدیک مورد بررسی قرار داده‌ایم. توزیع پراکندگی سرعت از مشاهدات تداخل سنجی فابری پرو با تلسکوپ 6 متری SAO RAS به دست آمده و نسبت خطوط نشری از داده‌های طیف سنجی با مد long-slit محاسبه شده است. نتایج این مطالعه برای چهار کهکشان Mrk 370 و NGC 4068 و UGC 8508 و NGC 8313 در این مقاله ارائه شده است.

The main ionization sources of gas in several nearby star forming galaxies

B. Zarei Jalalabadi<sup>1</sup>, A. Abedi<sup>1</sup>, A. V. Moiseev<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, University of Birjand, Birjand

<sup>2</sup> Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnij Arkhyz, 369167 Russia

<sup>3</sup> Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997 Russia

## Abstract

The study of the state of galactic ISM, the intensity emission line are used to separate main ionization sources that the result diagrams in this way are named BPT Diagrams. In the intermediate cases, for example, when the contributions of radiation from OB stars and from shock waves mix, identification becomes uncertain. Adding of an extra parameter - the gas velocity dispersion in the line-of-sight to classical diagnostic diagrams (i.e. "BPT- $\sigma$ " relations) helps to find a solution. The minimum distance from the curve that bounds the H II-type ionization region for each point in the BPT diagrams that we named it  $\rho$  can be useful to characterize the mechanism of excitation of ionized gas too. We considered the "BPT- $\sigma$ " relation and the correlation between  $\sigma$  and  $\rho$  to determine ionized gas excitation in several nearby star forming galaxies. Distributions of the velocity dispersion are obtained from the scanning Fabry-Perot interferometer observations at the SAO RAS 6-m telescope, whereas the emission lines ratio calculated from the archival long-slit spectroscopic data. The results of this study are presented for Mrk 370, NGC 4068, UGC 8313 and UGC 8508.

## مقدمه

برای بررسی وضعیت ISM کهکشانی، نسبت های خطوط شدت انتشار برای جدا سازی منابع اصلی یونیزاسیون استفاده می شود: ستاره های بزرگ OB جوان داغ در نواحی HII تشکیل ستاره، هسته های کهکشانی فعال (AGN)، امواج شوک مرتبط با بقایای ابرنواختر (SNR) و سایر فرایندهای بازخورد مانند آشفستگی فراصوت تولید شده توسط بادهای ستاره ای. ولی در برخی موارد، مثلاً وقتی که سهم تشعشع از ستاره های OB و امواج شوک ترکیب می شوند، شناسایی نامعلوم می شود، در چنین مواردی اضافه کردن یک پارامتر اضافی - پراکندگی سرعت گاز در خط امتداد دید - به نمودارهای تشخیصی کلاسیک برای پیدا کردن یک راه حل کمک می کند. بالدوین، فیلیپس و ترلوچ (1981) [1] یک نمودار را ارائه دادند که به کمک آن با مقایسه‌ی نسبت شدت خطوط  $\lambda 5007/\text{H}\beta[\text{OIII}]$  و  $\lambda 6583/\text{H}\alpha[\text{N II}]$  می توان انتشار از منابع نرم

یونیزه (مانند نواحی HII) و انتشار از اشیاء با یونیزاسیون قوی تر (مانند AGN ها) را از هم جدا کرد، پس از آن، دیگران این طرح را گسترش دادند. تمامی نمودارهایی از این دست در متون "نمودارهای BPT" نامیده میشوند.

## مشاهدات و کاهش داده‌ها

داده های ما با انتخاب تعدادی کهکشان از آرشیو داده های تلسکوپ 6 متری RAS SAO با عنوان ASPID [2] که با کاهنده های کانونی چند منظوره که با SCORPIO و SCORPIO-2 (افانسیو و موبسیو (2005) و (2011) [3 و 4] مشاهده و رصد شده اند، استخراج شده است. نمونه ای اصلی، کهکشانهای ماریچی و کوتوله با نسبت سیگنال به نویز بالا در نقشه های پراکندگی سرعت گاز یونیزه مشاهده شده است، برای هر کهکشان در لیست، ما حضور داده ها را در مد long-slit طیف نگار یک محدوده ی نوری بزرگ بررسی کرده ایم که در برخی از موارد چشمگیر و جالب توجه، مشاهدات اضافی انجام شده است، مشاهدات تداخل سنجی فابری پرو با تداخل سنچ FPI 501 در خط نشری  $H\alpha$  انجام گرفته است؛ مشخصات نمونه های مورد بررسی را در جدول 1 مشاهده میکنید. در نهایت نقشه های پراکندگی سرعت بدست آمده از مشاهدات تداخل سنجی با نسبت خطوط طیفی حاصل از مشاهدات طیف سنجی ترکیب شده است.

جدول 1: ویژگیهای کهکشانهای مورد مطالعه و پارامترهای مشاهداتی آنها

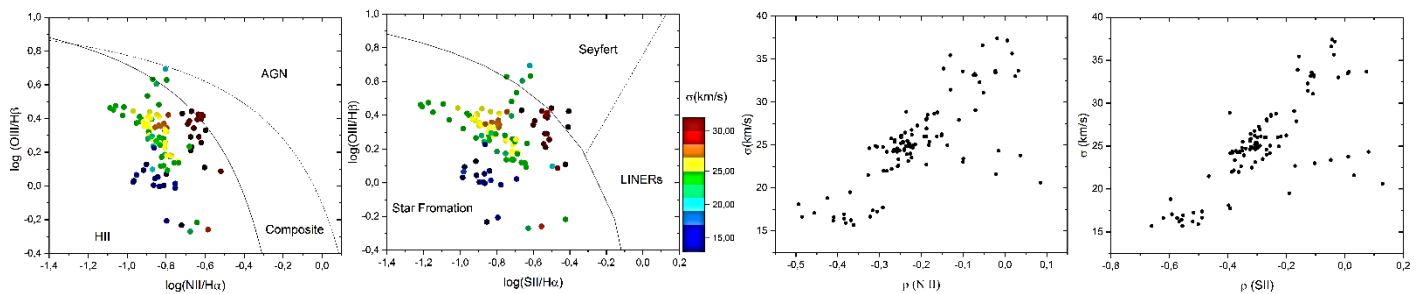
| Galaxy   | D (Mpc) | $M_B$  | Spectroscopy     |                          |                          | Scanning FPI             |                          |
|----------|---------|--------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          |         |        | Instrument       | $\Delta\lambda(A^\circ)$ | $\delta\lambda(A^\circ)$ | $\Delta\lambda(A^\circ)$ | $\delta\lambda(A^\circ)$ |
| UGC 8313 | 9.65    | -14.77 | SCORPIO-2        | 3500-7500                | 13                       | $H\alpha$                | 0.8                      |
| NGC 4068 | 4.27    | -15.17 | SCORPIO-2        | 3500-7500                | 13                       | $H\alpha$                | 0.4                      |
| UGC 8508 | 2.69    | -13.09 | SCORPIO/SCORPIO2 | 3500-7500                | 13                       | $H\alpha$                | 0.8                      |
| Mrk 370  | 10.85   | -16.83 | SCORPIO          | 3500-7500                | 13                       | $H\alpha$                | 0.8                      |

## نمودارهای $\sigma$ -BPT و $\rho$ - $\sigma$

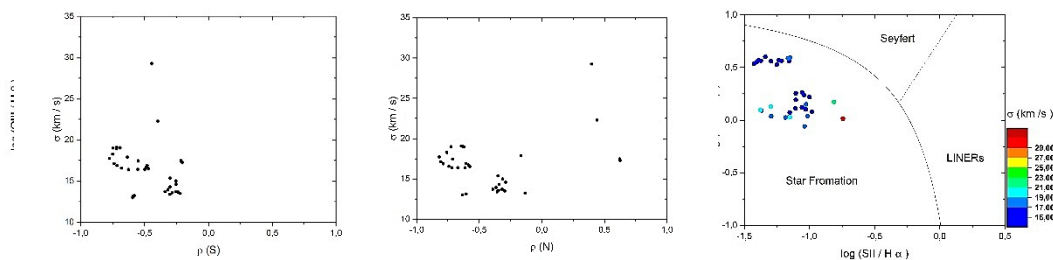
ما پراکندگی سرعت گاز یونیزه را به عنوان انحراف استاندارد از پروفایل گوسی که بر خط نشری  $H\alpha$  بعد از محاسبات مربوط به ابزار تداخل سنچ FPI و کم کردن سهم پهن شدگی گرمایی در ناحیه HII منطبق شده است، تعریف میکنیم (موبسیو و اگورو (2008) [15]. نمایی مشاهده شده خط  $H\alpha$  با تابع ویگت انطباق داده شده است که تلفیقی از توابع گوس و لورنتس است که به ترتیب مربوط به نمایه ابزار تداخل سنجی و پهن شدگی خطوط نشری مشاهده شده می باشند. نتایج این انطباق برای ایجاد نقشه های دوبعدی میدان سرعت گازهای یونیزه و نیز برای تهیه نقشه های پراکندگی سرعت در امتداد خط دید مستقل از آثار ابزار و نیز برای تصاویر کهکشان در طول موج  $H\alpha$  استفاده شده است. کمترین فاصله از مرز ناحیه ی HII بر اساس معادلات موجود در کولی و دیگران (2001 و 2006) [6 و 17 برای تک تک نقاط در نمودارهای BPT که ما آن را  $\rho$  می نامیم. برای تشخیص مکانیزم تحریک گاز یونیزه حائز اهمیت است. مقادیر منفی این پارامتر مربوط به نقاطی هستند که ناشی از فوتو یونیزاسیون ایجاد شده ناشی از ستارگان جوان می باشند، در حالی که مقادیر مثبت  $\rho$  مربوط به دیگر مکانیزم های تحریک می باشند. ما مقادیر  $\rho$  برای نمودار  $\beta H\alpha - [O III] / H / [N II]$  را با  $\beta H\alpha - [O III] / H / [S II]$  و مقادیر آن برای  $\beta H\alpha - [O III] / H / [S II]$  را با  $\rho$  (S II) نشان می دهیم. در ادامه نمودارهای  $\sigma$ -BPT مربوط به Mrk 370 و NGC4068 و نمودار  $\rho$ - $\sigma$  مربوط به آنها خواهند آمد. نمودارهای  $\sigma$ -BPT با توجه به روابط موجود در کولی و دیگران (2001 و 2006) به نواحی مختلفی تقسیم شده اند. همبستگی بین  $\rho$  و  $\sigma$  زمانی خود رانشان میدهد که تحریک گاز ناشی از امواج شوک باشد، در حالی که در ناحیه HII که سرعت آشفته گی گاز پایین است، این همبستگی دیده نمیشود.

## نمونه های مورد بررسی

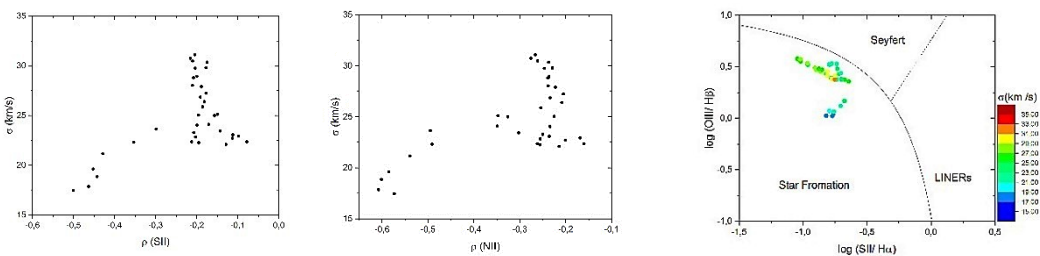
نمودارهای  $\sigma$ -BPT و  $\rho$ - $\sigma$  مربوط به Mrk 370 را در شکل 1 و همین موارد برای NGC 4068 را در شکل 2، برای UGC 8313 در شکل 3 و نمودارهای مربوط به UGC8508 را در شکل 4 مبینید.



شکل 1: سمت چپ نمودارهای تشخیصی مقایسه ای برای کهکشان Mrk 370 بر اساس نسبت خطوط با مشاهدات long-slit با تلسکوپ 6 متری SAORAS. نقاط رنگی مربوط به سرعت های پراکندگی متفاوتند که بر اساس مشاهدات تداخل سنجی بدست آمده است. مقیاس رنگی بر حسب km/s می باشد. سمت راست نمودارهای  $\rho - \sigma$  را می بینید. در اینجا همبستگی بارزی بین  $\rho$  و  $\sigma$  مشاهده میشود که نشان از وجود سهم امواج شوک در تحرک گازها میباشد.



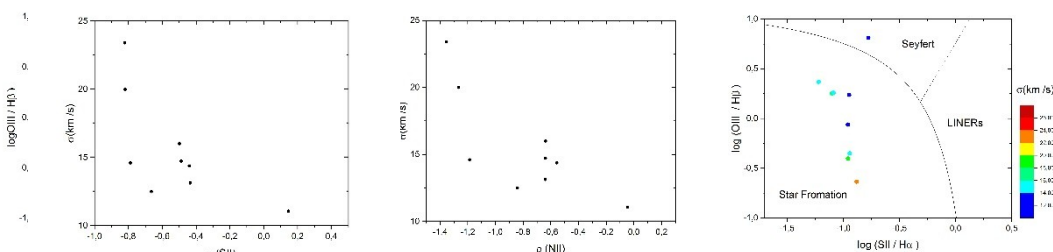
شکل 2: مشابه شکل برای کهکشان NGC 4068. در اینجا بین  $\rho$  و  $\sigma$  همبستگی محکمی دیده نمیشود، ولی مقادیر مثبت  $\rho$  میتواند نشانهی مکانیزم هایی به غیر از فوتوایونیزاسیون برای تحرک گاز باشد.



شکل 3: مشابه شکل 1 برای کهکشان UGC 8313. در اینجا بین  $\rho$  و  $\sigma$  همبستگی تا حدودی دیده میشود، اگرچه مقادیر مثبت  $\rho$  را نداریم.

در شکل 1 نقاط قرمز رنگ در سمت چپ با پراکندگی سرعت بالا برای ما جالب توجه میباشند، این نقاط می توانند نمایندهی وجود ساز و

کار غیر ستاره های یونیزاسیون گازها در این کهکشان باشد که با توجه به همبستگی موجود بین  $\rho$  و  $\sigma$  در سمت راست مورد تایید است. در شکل 2 مشاهده میشود برای نمودار  $\beta H\alpha - \frac{[O III] / H}{[N II]}$  تعدادی نقطه در نواحی به غیر از ناحیه HII وجود دارند اما بین  $\rho$  و  $\sigma$  همبستگی چندانی مشاهده نمیشود. در شکل 3 همبستگی بین  $\rho$  و  $\sigma$  تا حدودی قابل مشاهده است و در شکل 4 این همبستگی ظاهراً وجود ندارد اگرچه تعداد داده های ما برای قضاوت کم می باشد



شکل 4: مشابه شکل 1 برای کهکشان UGC8508. در اینجا بین  $\rho$  و  $\sigma$  ظاهراً همبستگی وجود ندارد گرچه تعداد داده های ما برای قضاوت کم است.

## نتیجه گیری

ما رابطه  $\sigma$ -BPT و همبستگی  $\sigma$  و  $\rho$  را برای چهار کهکشان ستاره زای نزدیک با کمک مشاهدات انجام شده با تلسکوپ 6 متری SAO RAS مورد بررسی قرار داده ایم. نتایج این مطالعه به صورت زیر است: در کهکشان Mrk 370 نقاط با پراکندگی سرعت بالا در مرز و خارج از ناحیه تشکیل ستاره دیده میشوند که نماینده وجود ساز و کار غیر ستاره های برای تحریک گازهای یونیزه در این کهکشان است که وجود همبستگی  $\rho$  و  $\sigma$  مهر تأییدی بر حضور امواج شوک در این نمونه میباشد. در کهکشان NGC 4068 با وجود اینکه همبستگی  $\rho$  و  $\sigma$  چندان مشهود نمیشود اما مقادیر مثبت  $\rho$  وجود سازو کاری به جز سهم ستارگان داغ جوان را برای تحریک گاز آشکار میکند که در مطالعات بعدی به آن میپردازیم. در کهکشان UGC 8313 اگرچه نقاط زیادی با پراکندگی سرعت بالا مشاهده نمی شوند اما همبستگی بین  $\rho$  و  $\sigma$  تا حدودی قابل مشاهده است. در کهکشان UGC 8508 نقاط جالب توجه با سرعت پراکندگی بالا وجود ندارند و البته تعداد داده های ما برای تشخیص وجود یا عدم وجود همبستگی بین  $\rho$  و  $\sigma$  کم است، ولی به نظر میرسد این همبستگی وجود ندارد.

در ادامه این کار ما قصد داریم با مقایسه و ویژگی های این کهکشان ها به دنبال دلایل وجود یا عدم وجود همبستگی بین  $\rho$  و  $\sigma$  بپردازیم.

## مرجع ها

- [1] Baldwin, J. A., Phillips, M. M., & Terlevich, R., "Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects", *PASP* **93**, (1981) 5
- [2]. <http://alcor.sao.ru/index.php?L=en>
- [3] Afanasiev, V. L. & Moiseev, A. V., "The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope", *Astronomy Letters* **31** (2005) 194
- [4] Afanasiev, V. L. & Moiseev, A. V., "Scorpio on the 6 m Telescope: Current State and Perspectives for Spectroscopy of Galactic and Extragalactic Objects", *Baltic Astronomy* **20**, (2011) 363
- [5] Egorov, O. V., Lozinskaya, T. A., Moiseev, A. V., Shchekinov, Y. A., "Complexes of triggered star formation in supergiant shell of Holmberg II", *MNRAS* **464**, (2017), 1833
- [6] L. J. Kewley L. J., Dopita M. A., Sutherland R. S., Heisler C.A., Trevena J., "Theoretical modeling of starburst galaxies", *The Astrophysical Journal* **556**, (2001) 121
- [7] Kewley, L. J., Groves, B., Kauffmann, G., & Heckman, T., The host galaxies and classification of active galactic nuclei, *MNRAS* **372**, (2006) 961