

УДК 524.7

## Исследование происхождения небулярной эмиссии HeII в спектрах низко-металлических HII областей из Цифрового обзора неба Слоана

К.Б. Агиенко

Главная Астрономическая обсерватория НАН Украины

*Первичные звезды, вероятно, были очень горячие, массивные и излучали большое количество жесткого ионизирующего излучения. Лучшими местами для изучения такого жесткого излучения являются области ионизированного водорода, в которых проходят активные процессы звездообразования. Из седьмого выпуска Цифрового обзора неба Слоана мы создали выборку галактик с небулярной эмиссионной линией HeII  $\lambda 4686$  для проверки возможной связи между жестким ультрафиолетовым излучением и звездами Вольф–Райе. Теоретические модели предсказывают уменьшение интенсивности линии HeII с металличностью. В то же время наша выборка показывает что с уменьшением металличности интенсивность небулярной линии HeII не показывает сколько-нибудь заметного тренда, что согласуется с предыдущими исследованиями. Лишь половина спектров нашей выборки одновременно с небулярной эмиссией HeII показывают эмиссию HeII от звезд Вольф–Райе. Этот факт говорит о том, что звезды Вольф–Райе делают вклад в жесткое ионизирующее излучение в HII областях, но наряду с их излучением следует рассматривать и другие механизмы ионизации межзвездного газа.*

*ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ НЕБУЛЯРНОЇ ЕМІСІЇ HeII У СПЕКТРАХ НИЗЬКО-МЕТАЛІЧНИХ HII ОБЛАСТЕЙ ІЗ ЦИФРОВОГО ОГЛЯДУ НЕБА СЛОАНА, Агієнко К.Б. — Первинні зірки, імовірно, були дуже гарячі, масивні та випромінювали велику кількість жорсткого іонізуючого випромінювання. Кращими місцями для вивчення такого жорсткого випромінювання є області іонізованого водню, у яких проходять активні процеси зореутворення. Із сьомого випуску Цифрового огляду неба Слоана ми створили вибірку галактик з небулярної емісійною лінією HeII  $\lambda 4686$  для перевірки можливого зв'язку між жорстким ультрафіолетовим випромінюванням і зірками Вольф–Райе. Теоретичні моделі прогнозують зменшення інтенсивності лінії HeII з металевістю. У той же час наша вибірка показує, що зі зменшенням металевої інтенсивності небулярної лінії HeII не показує скільки-небудь помітного тренда, що узгоджується з попередніми дослідженнями. Лише половина спектрів нашої вибірки одночасно з небулярною емісією HeII показують емісію HeII від зірок Вольф–Райе. Цей факт говорить про те, що зірки Вольф–Райе роблять внесок у жорстке іонізуюче випромінювання в HII областях, але поряд з їхнім випромінюванням варто розглядати й інші механізми іонізації міжзоряного газу.*

*INVESTIGATION OF THE ORIGIN OF NEBULAR HeII EMISSION IN THE SPECTRA OF LOW-METALLICITY HII REGIONS FROM THE SLOAN DIGITAL SKY SURVEY, by Agienko K.B. — Primordial stars apparently were very hot and massive and emitted a lot of hard ionizing radiation. Regions of ionized hydrogen are the best places for studying such hard radiation, because of underlying starformation processes. To check a possible links between hard ultraviolet radiation and Wolf–Rayet (WR) stars we created a sample of galaxies with nebular emission line of HeII  $\lambda 4686$  from Sloan Digital Sky Service. Theoretical models predict decreasing of HeII emission line intensity with metallicity. Data from our sample did not show any significant trends. This observation is in good agreement with previous studies. Only a half of spectra from our sample show nebular HeII emission, superposed on broad HeII emission from WR stars. This point concludes that not only WR stars are responsible for origin of nebular HeII emission, but also other mechanisms make a contribution into hard ionizing radiation at HII regions.*

**Ключевые слова:** активные процессы и звездообразование в галактиках; интенсивность эмиссионных линий; звезды Вольф–Райе.

**Key words:** active processes and star formation in galaxies; intensity of emission lines; Wolf–Rayet stars.

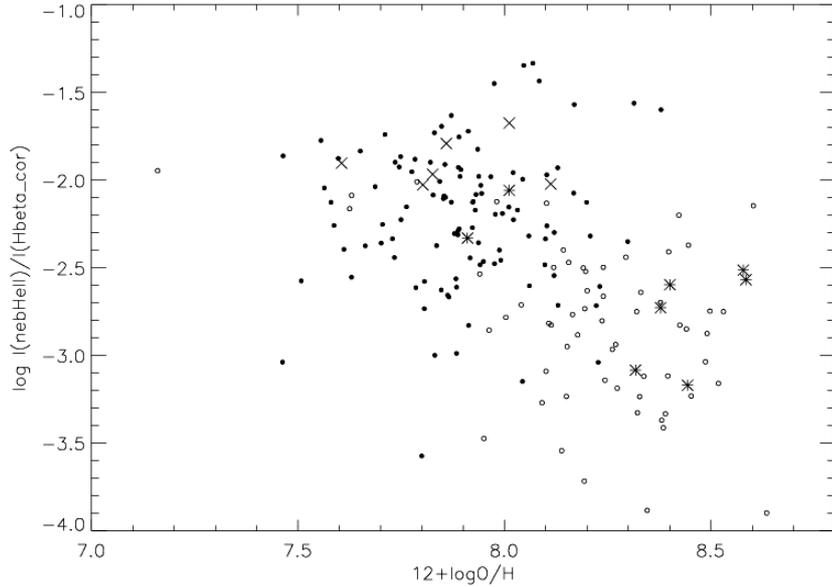
### 1. ВВЕДЕНИЕ

Массивные звезды оказывают фундаментальное воздействие на эволюцию галактик и межзвездную среду, несмотря на их относительно малое количество и короткое время жизни. По современным представлениям, Вольф–Райе (WR) звезды — это эволюционные потомки массивных O-звезд большой светимости, начальные массы от  $\geq 20M_{\odot}$  (модели эволюции звезд с учетом вращения [7]) до  $\geq 35M_{\odot}$  (модели без учета вращения [10]), на стадии горения гелиевого ядра или более поздних стадиях, когда происходит интенсивная потеря массы, наблюдаемая как мощный звездный ветер [6]. В спектрах звезд такой высокоскоростной ветер проявляется широкими эмиссионными линиями вследствие эффекта Доплера.

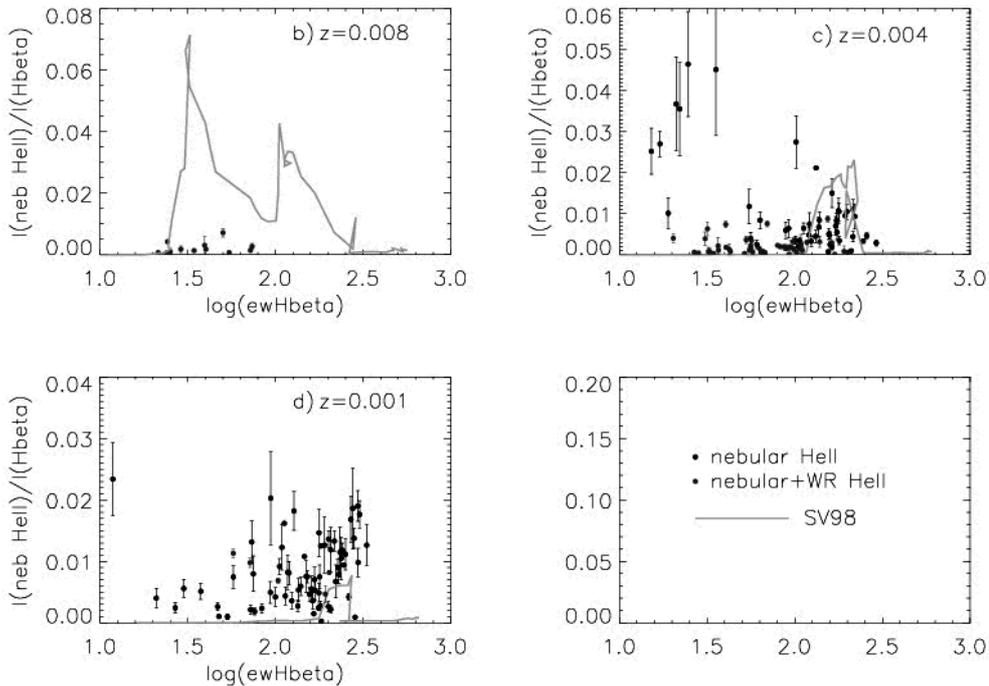
WR звезды по отдельности можно наблюдать в нашей Галактике, Магеллановых облаках и некоторых галактиках Местной группы. Поскольку в далеких галактиках получить спектр отдельной звезды технически невозможно, получают интегральный спектр целой галактики или отдельных ее частей. Поэтому всякая галактика называется WR-галактикой, если в ее интегральном спектре обнаружены

WR-особенности: «синий бамп» (состоящий из неразрешимой эмиссионной бленды близ  $\lambda 4650$ ) и «красный бамп» (широкая эмиссия на  $\lambda 5808$ ).

Главным признаком WR-галактики является широкая эмиссия ионизированного гелия на  $\lambda 4686$ . И в то же время значительная часть объектов показывает так же небулярную (узкую) эмиссию HeII  $\lambda 4686$ . Эта линия достаточно редка для Галактических областей ионизированного водорода (HII) [9] и обычна для планетарных туманностей, а также иногда наблюдается в тех областях HII, в которых не детектировались WR-звезды. Для образования такой линии необходимы источники фотонов с энергией  $> 54$  eV, поэтому происхождение ее все еще не до конца ясно. В результате последних исследований, предполагаемыми источниками такого излучения предполагаются WR-звезды [10, 3], а в дополнение к ним вклад O-звезд является значительным при низких металличностях [2].



**Рис. 1.** Распределение интенсивности HeII  $\lambda 4686$ , нормированной на  $H\beta$ , в зависимости от металличности объектов нашей выборки. Черными точками отмечены галактики с только небулярной эмиссией ионизированного гелия, белыми — спектры совмещающие небулярную и WR эмиссию HeII. Нескорректированные за апертуру спектры отмечены на рисунке крестиками для небулярной, а снежинками для небулярной+WR эмиссии.



**Рис. 2.** Зависимость интенсивности небулярной эмиссии HeII, нормированной на  $H\beta$ , от эквивалентной ширины  $H\beta$ . Черные и серые точки показывают небулярную и небулярную+WR эмиссии соответственно. Серая линия показывает расчеты максимальных величин  $I(\text{HeII})/I(H\beta)$  для разных металличностей. Доля тяжелых элементов указана на каждой панели.

## 2. ВЫБОРКА

Для изучения возможных механизмов, ответственных за образование небулярной эмиссионной линии HeII  $\lambda 4686$ , мы создали выборку из 200 спектров голубых компактных карликовых галактик и III областей из седьмого выпуска Цифрового обзора неба Sloan [1]. Все спектры нашей выборки показывают небулярную (узкую) эмиссию гелия. Приблизительно в 45% спектров небулярная эмиссия наложена на широкую эмиссию от WR. Поток от ионизированного гелия приходит из очень компактной области, которая полностью попадает в фибер спектрографа. В каждом спектре в пакете IRAF-SPLIT гауссианой была измерена небулярная линия или небулярная часть линии HeII  $\lambda 4686$ , расположенная на широкой компоненте. Поскольку область излучения  $H\beta$   $\lambda 4861$  протяженная, фибер не покрывает всю область эмиссии ионизированного газа, поэтому для линии водорода надо вводить коррекцию за эффект апертуры. Для этого мы сравнили фотометрическую яркость галактики ( $Mag_r$ ) со спектральной яркостью области, попадающей в фибер ( $fiberMag_r$ ), и по формуле Погсона получили корректировочный множитель:  $a = 2.512^{fiberMag_r - Mag_r}$ . Также все линии были скорректированы за межзвездную экстинкцию, коэффициент которой определялся по Бальмеровскому декременту [11].

## 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧНОСТИ ( $12 + \log O/H$ ).

Наиболее надежным методом определения металличности для III областей является так называемый «прямой»  $T_b$ -метод. Он справедлив, если в спектре наблюдается авроральная эмиссионная линия [OIII]  $\lambda 4363$ . Тогда электронная температура определяется по соотношению [OIII]  $\lambda 4363 / (\lambda 4959 + \lambda 5007)$  [5]. Для тех объектов, в спектрах которых линия [OIII]  $\lambda 4363$  не детектировалась, использовались эмпирические калибровки, основанные на сильных линиях OIII, NII, SII, подходящие для III областей во всем диапазоне металличностей [8]. Диапазон металличностей  $12 + \log O/H$  для нашей выборки варьируется в пределах от 7.16 до 8.6. Металличности галактик, спектры которых показывают «чистую» небулярную эмиссию HeII, без WR-эмиссии, варьируются в пределах 7.4–8.4. В работах [4, 2] также не было найдено небулярной эмиссии при металличности  $12 + \log O/H > 8.4$ .

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 показано распределение интенсивности HeII  $\lambda 4686$ , нормированной на  $H\beta$ , в зависимости от металличности объектов нашей выборки. Черными точками отмечены галактики с только небулярной эмиссией ионизированного гелия, белыми — спектры совмещающие небулярную и WR эмиссию HeII. Поскольку не было возможности скорректировать все спектры за апертуру, то нескорректированные спектры отмечены на рисунке крестиками для небулярной, а снежинками для небулярной+WR эмиссии. Из рисунка видно, что при более низких металличностях преобладают галактики, в которых не детектированы WR-особенности, следовательно при более этих металличностях межзвездный газ наряду с WR-звездами ионизируется обычными O-звездами.

Также из-за большого разброса точек не так заметен общий тренд снижения интенсивности небулярной эмиссии при больших металличностях и выравнивания ее при низких металличностях. В работе [2] лучше заметен этот тренд, причины которого не ясны.

Также мы сравнивали наши данные с моделью [10]. На рис. 2 показана эволюция с возрастом интенсивности небулярной HeII в зависимости от металличности. Эквивалентная ширина линии  $H\beta$  с известной степенью точности может быть использована как индикатор возраста вспышки звездообразования в галактике. Как видно из рис. 2 модель достаточно хорошо предсказывает значения интенсивности HeII при больших металличностях. При металличностях ниже идет систематическая недооценка приблизительно на два порядка. Также модель предсказывает возраст более узкие временные рамки эволюции вспышки. Поэтому при низких металличностях как и было сказано выше, возможно, в поток ионизирующий гелий, делают вклад обычные O-звезды, а также, на более поздних стадиях эволюции, вспышки сверхновых.

## 5. ВЫВОДЫ

Для изучения возможных механизмов ионизации гелия в III областях, мы создали выборку из 200 галактик из Цифрового обзора неба Sloan, показывающих небулярную эмиссию HeII  $\lambda 4686$ . Определили для них металличности и сравнили с моделью. Явных трендов не обнаружили. Модель [10] достаточно хорошо предсказывает значения  $I(HeII)/I(H\beta)$  только при металличностях  $12 + \log O/H \geq 8.0$ .

1. Abazajian K.N., Adelman-McCarthy J.K. The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey // *Ap.J.S.* — 2009. — **182**. — P. 543–558.
2. Brinchmann J., Kunth D., Durret F. Galaxies with Wolf-Rayet signatures in the low-redshift Universe. A survey using the Sloan Digital Sky Survey // *Astronomy and Astrophysics.* — 2008. — **485**. — P. 657–677.
3. Crowther P.A., Hadfield L.J. Reduced Wolf-Rayet line luminosities at low metallicity // *Astronomy and Astrophysics.* — 2006. — **449**. — P. 711–722.

4. *Guseva N.G., Izotov Y.I., Thuan T.X.* A Spectroscopic Study of a Large Sample Of Wolf-Rayet Galaxies // *Astrophys. J.* — 2000. — **531**, №2. — P.776–803.
5. *Izotov Y.I.* The chemical composition of metal-poor emission-line galaxies in the Data Release 3 of the Sloan Digital Sky Survey // *A&A.* — 2006. — **448**. — P.955–970.
6. *Maeder A., Conti P.* Massive star populations in nearby galaxies // *Annual Rev. Astron. and Astrophys.* — 1994. — **32**. — P.227–275.
7. *Meynet G., Maeder A.* Stellar evolution with rotation. XI. Wolf-Rayet star populations at different metallicities // *A&A.* — 2005. — **429**. — P.581–598.
8. *Pilyugin L.S., Mattsson L.* Abundance determination in HII regions from spectra without the [OII]3727+3729 line // *MNRAS.* — 2011. — **412**. — P.1145–1150.
9. *Schaerer D., Contini T., Kunth D.* Detection of Wolf-Rayet Stars of WN and WC Subtypes in Super-Star Clusters of NGC 5253 // *Astrophysical Journal Letters.* — 1997. — **481**. — P.75
10. *Schaerer D., Vacca W.D.* New models for Wolf-Rayet and O populations in young starbursts // *Astrophys. J.* — 1998. — **497**, №2. — P.618–644.
11. *Whitford A.E.* The law of interstellar reddening // *Astron. J.* — 1958. — **63**. — P.201–207.

Поступила в редакцию 23.11.2011