УДК 520.362:524.54

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ГАЗА В ТУМАННОСТИ ЛАГУНА В ЛИНИИ Н α со спектрометром defpos

© 2025 М. Шахан^{1*}

¹Университет Османие Коркут Ата, Османие, 80000 Турция Поступила в редакцию 21 марта 2024 года; после доработки 28 сентября 2024 года; принята к публикации 29 сентября 2024 года

Фабри-Перо спектрометр DEFPOS, расположенный в кудэ-выходе телескопа PTT-150 (Бакирлитепе, Анталья, Турция), использовался для измерения ионизованного газа в туманности Лагуна (M8), которая является областью H II (Sh2-25). Восемьдесят четыре спектра эмиссионных линий $H\alpha$, полученные для области H II, дают подробную информацию о некоторых физических свойствах газа, окружающего область H II. Ширина линий, скорости $V_{\rm LSR}$ и интенсивности $I_{\rm H\alpha}$ спектров излучения $H\alpha$ оказались в диапазонах от 27.5 ± 5.80 до 41.50 ± 1.99 км с⁻¹ (среднее значение 35.50 ± 2.05 км с⁻¹), от -13.67 ± 0.58 до 3.19 ± 0.72 км с⁻¹ (среднее значение -4.92 ± 0.32 км с⁻¹) и от 173.35 ± 9.97 Рл до $13\,834.20 \pm 21.56$ Рл (среднее значение 2247.65 ± 8.33 Рл) соответственно. Средняя скорость LSR и ширина линии туманности также сравнивались с предыдущими работами. Поскольку в литературе недостаточно информации об интенсивностях и скоростях LSR таких галактических источников с малым угловым размером, мы считаем, что спектрометр DEFPOS станет мощным инструментом для изучения диффузного ионизированного газа и эти новые результаты могут внести значительный вклад в литературу.

Ключевые слова: M3C: H II области — туманности: туманность Лагуна (M8, Sh2-25) — Instrumentation: интерферометр Фабри-Перо

1. ВВЕДЕНИЕ

Межзвездное пространство в Галактике, называемое межзвездной средой (M3C), содержит межзвездный газ (99%), такой как атомы, молекулы, ионы и электроны. Считается, что химический состав газа в M3C состоит в основном из водорода (91% по числу атомов), гелия (9%) и более тяжелых элементов (0.1%) (Haffner et al., 1999; Klessen and Glover, 2015; Sahan and Yegingil, 2017). M3C можно разделить на пять типов (McKee and Ostriker, 1977; Spitzer, 1978; Kulkarni and Heiles, 1988; Reynolds, 1991; Haffner et al., 1999, 2003; Ferriére, 2001; Gibson, 2002; Stahler and Palla, 2004; Bron, 2014; Klessen and Glover (2015):

- 1) очень холодная и темная молекулярная среда $(T = 10-20 \text{ K}, n_{\text{H}} = 10^2 10^6 \text{ cm}^{-3}, f = 1\%),$
- 2) холодная нейтральная среда (CNM, атомы, T = 50-100 K, $n_{\rm H} = 10^2 10^6$ см⁻³, f = 4%),
- 3) теплая нейтральная среда (WNM, $T = 6000 10\,000$ K, $n_{\rm H} = 0.2 0.5$ см⁻³, f = 30%),
- 4) теплая ионизованная среда (WIM, $T = 8000 12\,000$ K, $n_{\rm H} = 0.01 0.1$ см⁻³, f = 15%),

5) горячая ионизованная среда (HIM, $T \sim 10^6$ K, $n_{\rm H} \sim 0.001$ см⁻³, f = 50%).

Самые массивные и горячие звезды О и В в Млечном Пути излучают достаточное количество энергии в ультрафиолетовом диапазоне ($h\nu > 13.6$ эВ), это ионизирует окружающий газ, называемый классическими областями Н II (то есть классическими эмиссионными туманностями, а именно сферами Стремгрена, Strömgren, 1939), с газом при температурах 10⁴ K (Reynolds, 1984, 1989, 1993; Haffner et al., 1999, 2003, 2009; Ferriére, 2001; Bron, 2014; Sahan and Haffner, 2016; Sahan and Yegingil, 2017). Эмиссионные линии в оптическом диапазоне дают важную информацию о физических условиях в областях Н II.

Наиболее известной областью Н II является туманность Лагуна (M8, NGC 6523, Sharples-25: Sh2-25, W9), расположенная в рукаве Галактики Стрелец/Киля. Ионизованный газ в туманности Лагуна дает возможность изучить ионизированную газовую составляющую M3C. Туманность Лагуна ($l = 6^{\circ}.09, b = -1^{\circ}.29$) — одна из самых близких и ярких галактических областей Н II с линейным размером 0.5 пк, расположенная на расстоянии 1.8 ± 0.2 кпс от Земли, в созвездии Стрельца, в

^{*}E-mail: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

рукаве Киля нашей Галактики. Туманность М8 с видимой звездной величиной +4^m и видимым размером 90' является наиболее заметной из ряда областей звездообразования и остатков сверхновых. Она состоит из молодого рассеянного скопления NGC 6530 (White et al., 1997, 1998; Tothill et al., 2008) и ионизуется высокоэнергетичными фотонами, излучаемыми молодыми, горячими и массивными звездами (самыми горячими из которых являются 9 Sgr (HD 164794 типа O4V(f)), двойная HD 165052 со спектральным типом компонент O6.5V+O7.5V) (Rauw et al., 2002; Damiani et al., 2004, 2017; Tothill et al., 2008; Tiwari et al., 2018; Wright et al., 2019). Ионизованный газ в М8 можно рассматривать как суперпозицию четырех областей НІІ: туманности Песочные часы, ядра NGC 6523, остальной части NGC 6523/33 (ионизованной 9 Sgr) и самого крупного и разреженного компонента, ионизованного HD 165052 (Lynds and Oneil, 1982; Woodward et al., 1986).

Он был изучен в широком диапазоне длин волн, как показано Lada et al. (1976), Woodward et al. (1986), White et al. (1997), Wright et al. (2019), Tothill et al. (2002, 2008), Damiani et al. (2004), and Wright et al. (2019). White et al. (1997) coобщается об обнаружении второго по мощности источника излучения в мм- и субмм- линиях СО в направлении туманности Лагуна, M8. Damiani et al. (2004) представили новые рентгеновские данные, полученные с помощью телескопа Chandra ACIS в ходе глубокого (продолжительностью на 60 кс) рентгеновского наблюдения очень молодого скопления NGC 6530 км, и обнаружили 884 точечных источника рентгеновского излучения. Многоволновые наблюдения внутреннего ядра области туманности Песочные часы М8 были проведены Woodward et al. (1986). Lada et al. (1976) провели СО, радиоконтинуальные и оптические наблюдения в направлении звездообразующего комплекса NGC 6530-М 8. Проанализировав данные, они пришли к выводу, что наиболее вероятным источником ионизации для большей части Н II-области в M8 является Herschel 36. Tothill et al. (2002) представили карты в субмиллиметровом и миллиметроволновом диапазонах, отображающие молекулярный газ и пыль по периметру области Н II, M8. Tothill et al. (2008) исследовали туманность Лагуна, связанную с молодым (1-3 млн лет) рассеянным скоплением NGC 6530, и выявили элементы скопления с меньшей массой, обнаруженные с помощью рентгеновского излучения, излучения в линии $H\alpha$ и излучения в ближнем инфракрасном диапазоне. Wright et al. (2019) использовали астрометрические данные Gaia для проведения трехмерного кинематического исследования молодой



Рис. 1. Фотография туманности Лагуна (M8, Sh2-25) в рукаве Стрельца галактики Млечный Путь с видимым размером $90' \times 40'$ на расстоянии около 1.8 ± 0.2 кпк.

популяции в туманности Лагуна, сосредоточенной вокруг молодого скопления NGC 6530.

На рис. 1 представлено широкоугольное цветное изображение туманности Лагуна (M8, Sh2-25) из ESO/VPHAS+ (The VST Photometric H α Survey of the Southern Galactic Plane and Bulge in Chile¹) (Drew et al., 2014), полученное с использованием широкополосных фильтров B, V,R и узкополосного фильтра H α . Излучение Н α имеет красный цвет.

Этот обзор структурирован следующим образом: в разделе 2 приведены наблюдения с помощью спектрометра DEFPOS и анализ данных. В разделе 3 мы обсуждаем наши результаты по $H\alpha$, полученные из центра туманности Лагуна, включая расчет лучевой скорости, ширины линии и интенсивности по туманности. Наконец, мы суммируем наши результаты в разделе 4.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Некоторые важные физические параметры галактических областей Н II могут быть определены из наблюдений Н α . Спектрометры Фабри—Перо с высоким спектральным разрешением в основном используются для измерений ионизованного газа в областях Н II (Reynolds et al., 1990; Haffner et al., 2003; Şahan et al., 2009). Фабри—Перо спектрометр DEFPOS, расположенный на выходе кудэ (f/48) 150-сантиметрового телескопа RTT-150 в Национальной обсерватории ТЮБИТАК (Бакирлитепе, Анталия, Турция), использовался для обнаружения линии Н α λ 6563 центральной области туманности Лагуна (Sahan et al., 2005; Şahan et al., 2009; Sahan and Yegingil, 2017). Спектрометр

2025

231

¹https://www.eso.org/public/images/eso1403a/



Рис. 2. Полная карта неба Н α с размером изображения в 6°.5 × 6°.5, полученная по запросу SkyView (a). Туманность М 8 — это яркая область с координатами l = 5°.97 и b = -1°.18. Зеленым кружком диаметром около 0°.44 (26'.65) отмечена область, выбранная для наблюдений с использованием DEFPOS. Восемьдесят четыре синих круга представляют точки наблюдения с полем зрения DEFPOS диаметром 4' (b).

имеет поле зрения диаметром 4' (около 0°064) и разрешение по скорости около 27 км с⁻¹ в диапазоне 200 км с⁻¹ спектрального окна вблизи H α . Подробную информацию о спектрометре DEFPOS и обработке данных можно найти в Şahan et al. (2009), Sahan and Yegingil (2017).

Для целей данной работы были измерены в общей сложности 84 спектра эмиссионных линий $H\alpha \lambda 6563$ центральной области области H II (туманность Лагуна, Sh2-25) (рис. 2). На рис. 2а показана полная карта неба $H\alpha$ ($H\alpha$ Comp), полученная по запросу Sky View (Finkbeiner, 2003). Размер изображения этой карты составляет 6°5 × 6°5, размер пикселя 2'5, частота 456.79 ТГц, полоса пропускания 456.2–457.38 ТГц, разрешение 6' *FWHM* (полная ширина на половине максимума), интенсивность в рэлеях².

Яркая область внутри зеленого круга на рис. 2а — это ионизированный газ вокруг M8 (Ch2-25), расположенный за NGC 6530. Увеличенная версия выбранной области на рис. 2а показана на рис. 2b. Как видно из рис. 2b, общая наблюдаемая область составляет от l = 5°.86 до 6°.21, от b = -1°.57 до -1°.12 в галактических координатах. Зеленый круг диаметром около 0°.44 (26'.65), координаты центра l = 6°.07 и b = -1°.24, представляет собой общую площадь всех наблюдений, от 1 до 84, выполненных с помощью DEFPOS. Из-за того, что поле зрения DEFPOS составляло 4', было применено длительное время экспозиции, от 300 до 900 секунд (300, 420, 480, 540, 600, 900 с, как указано в таблице 1), для получения достаточного количества сигнала-соотношение к шуму в разные ночи наблюдений. Как видно на рис. 2b, 84 измеренных данных (пронумерованных от 1 до 84) были изображены синими кружками с радиусом 2', которые представляют поле зрения DEFPOS.

Для анализа данных был использован стандартный метод редукции ПЗС-данных, включающий удаление следов космических лучей, вычитание темновых токов и коррекцию за плоское поле. После процедуры стандартной редукции все изображения туманности были преобразованы в двумерные профили линий $H\alpha$ с использованием процедуры кольцевого суммирования. Процедура суммирования по кольцу — это свойство колец равной площади, соответствующих равным спектральным интервалам (Coakley et al., 1996; Şahan et al., 2009; Sahan and Yegingil, 2017). Каждый профиль линии Н α соответствует 50 спектральным элементам со спектральным разрешением 4 км с⁻¹ в спектральном окне вблизи $H\alpha$ (Sahan et al., 2009; Sahan and Yegingil, 2017). Эти спектры дают подробную информацию о распределении и кинематике ионизированного газа, полученного из области HII.

NGC 7000 (туманность Северная Америка или NAN), область ионизированного водорода с $120' \times 100'$ и видимой звездной величиной 4 на расстоянии приблизительно 0.8 ± 0.3 кпк (Blitz

 $^{^{2}}$ l Рл = $10^{6}/4\pi$ фотонов см $^{-2}$ ср $^{-1}$ с $^{-1}$ =

 $^{2.41 \}times 10^{-7}$ ерг см⁻² с⁻¹ ср⁻¹ на длине волны Н α .

еt al., 1982) в созвездии Лебедя (с центром в $l = 85^{\circ}.59$ and $b = -0^{\circ}.71$), была использована для калибровки абсолютной интенсивности данных DEFPOS (Şahan et al., 2009; Sahan and Yegingil, 2017). NGC 7000 была впервые откалибрована для $H\alpha$ с использованием стандартных звезд согласно Scherb (1981). Scherb (1981) определил интенсивность калибровочной области 0°.8 равной 850 ± 50 Рл. Все ПЗС-изображения были окончательно откалиброваны в рэлеях ($I_{H\alpha} = 900$ Рл) с использованием одной и той же области калибров-ки NGC 7000.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерения линий излучения ${
m H}lpha$ позволили получить подробную информацию о структуре, распределении и кинематике ионизированного газа низкой плотности, испускаемого из областей H II (Reynolds, 1984, 1985). В этом исследовании 84 спектра эмиссионных линий На в центре туманности Лагуна (М8), области Н II (Sh2-25) с центром в звездном скоплении NGC 6523, были получены с помощью спектрометра Фабри-Перо DEFPOS. После стандартных процедур обработки данных с помощью ПЗС-матрицы и кольцевого суммирования мы получили двумерный профиль линии $H\alpha$ для каждого отдельного спектра. Затем были определены лучевые скорости, ширина линий и интенсивность $H\alpha$ для двумерных спектров. Значения лучевой скорости, ширины линии и интенсивности, полученные из этих 84 ярких областей, приведены в таблице 1.

В таблице 1 в первом столбце приведен набор данных, пронумерованных от 1 до 84 для областей, представленных на карте на рис. 2b. В последующих трех столбцах указаны дата наблюдения, всемирное время (UT) и время экспозиции. В пятом и шестом столбцах указаны координаты галактическая широта и долгота в градусах соответственно. В следующих трех столбцах даны FWHM (в км с⁻¹), скорость (в км с⁻¹) относительно LSR и интенсивность ($I_{\rm H\alpha}$) (в Рл). В последнем столбце приводится мера эмиссии (ЕМ) в см⁻⁶ пк (1 пк = 3.086×10^{13} км), рассчитанная по уравнению (1). Поскольку интенсивность $H\alpha$ связана с плотностью газа (или мерой эмиссии, ЕМ), значения ЕМ также рассчитаны с использованием уравнения

$$EM(\mathrm{cm}^{-6}\,\mathrm{\pi K}) = \int n_e^2 \, dl = 2.75 \, T_4^{0.9} \, I_{\mathrm{H}\alpha}, \quad (1)$$

здесь $I_{\text{H}\alpha}$ измеряется в Рл (столбец 9 в таблице 1), а T_4 — это температура газа в 10⁴ К. Поскольку температура в теплой ионизованной среде колеблется в пределах 6000—10 000 К, мы выбрали

АСТРОФИЗИЧЕСКИЙ БЮЛЛЕТЕНЬ том 80 № 2 2025

температуру 8000 К (Reynolds, 1991; Haffner et al., 1998, 1999, 2003; Sahan and Haffner, 2016; Sahan and Yegingil, 2017). Все ошибки, указанные в таблице 1, являются стандартными ошибками, полученными в результате апроксимации данных функцией Гаусса.



Рис. 3. ПЗС-изображение, выбранное из центра туманности, обозначенной номером 42 на рис. 3b (а). Профиль линии, полученный с помощью процедуры суммирования по кольцу (b). Ромбы (\diamond) представляют галактический спектр Н α , в то время как сплошная кривая представляет наилучшее соответствие по Гауссу. Остаточные невязки приведены на нижней панели.

Пример спектра, выбранного из измеренных данных, представлен на рис. 3. Эти данные были получены 25 июня 2018 года (UT 23:18) после 600-секундной экспозиции. На рис. За показано необработанное изображение кольца Фабри-Перо в направлении l = 6.05 и b = -1.19, обозначенное числом 42 на рис. 2b. Это изображение на рис. За представляет спектр Н α в круговом луче диаметром 4' и охватывает спектральный диапазон 200 км с⁻¹ (4.4 Å). После стандартной редукции ПЗС-изображение на рис. За было преобразовано в двумерный линейный профиль Н α с помощью процедуры кольцевого суммирования (рис. 3b) (Coakley et al., 1996; Nossal et al., 1997; Şahan et al., 2009). На рис. 3b амплитуда в единицах Рл (км с⁻¹)⁻¹ сопоставлена с радиальной скоростью ($V_{\rm LSR}$) относительно LSR (местного стандарта покоя) в единицах км с⁻¹. Этот линейчатый спектр туманности состоит из 50 спектральных элементов, представленных ромбами (\diamond) в интервалах скоростей 4 км с⁻¹. Сплошная линия является результатом апроксимации наложенной функции Гаусса, которая была подогнана к данным методом наименьших квадратов. На рис. 3b вертикальная штриховая линия вблизи +8.0 км с⁻¹

представляет различия между центром спектра и его положением согласно апроксимации для LSR (Sahan and Yegingil, 2017; Şahan, 2018). Номер набора данных, галактические координаты, скорость $V_{\rm LSR}$, интенсивность FWHM и $I_{\rm H\alpha}$ спектра указаны в верхнем левом углу панели. Установлено, что скорость LSR, ширина линии и интенсивность линии излучения в спектре составляют -7.05 ± 0.12 км с⁻¹, 39.43 ± 0.78 км с⁻¹ и $13\,834.20 \pm 21.54$ Рл (см. таблицу 1) соответственно. Также было установлено, что мера эмиссии составляет $31\,122.02 \pm 48.46$ см⁻⁶ пк. На рис.3b показаны остаточные невязки, представляющие соби различия между галактическим спектром (ромбы) и вписанной сплошной линией.

Таблица 1. Наблюдения туманности Ориона (Sh2-281) в линии $H\alpha$ с помощью DEFPOS

No	Пата	UT,	$T_{\rm exp},$	l,	b,	FWHM,	Скорость,	$I_{\mathrm{H}lpha,}$	EM,
JN≌	дата	чч:мм	с	град.	град.	${ m km}{ m c}^{-1}$	${ m km}~{ m c}^{-1}$	Рл	см ⁻⁶ пк
1	26 июня 2018	21:31	420	6.34	-1.12	29.57 ± 7.07	2.54 ± 0.56	424.67 ± 1.78	955.34 ± 3.99
2	26 июня 2018	21:41	420	6.29	-1.08	33.2 ± 5.37	0.47 ± 0.07	709.85 ± 2.62	1596.90 ± 5.89
3	26 июня 2018	21:23	420	6.26	-1.02	33.20 ± 4.41	-0.05 ± 0.01	900.24 ± 3.20	2025.22 ± 7.20
4	7 июня 2017	23:10	900	6.21	-0.98	37.44 ± 2.61	-8.48 ± 0.66	1573.76 ± 6.09	3540.40 ± 13.69
5	7 июня 2017	00:53	900	6.43	-1.38	37.44 ± 3.92	-6.41 ± 0.60	657.88 ± 4.05	1480.00 ± 9.12
6	26 июня 2018	20:36	300	6.38	-1.34	28.79 ± 7.02	3.19 ± 0.72	552.15 ± 1.75	1242.15 ± 3.93
7	26 июня 2018	20:43	300	6.35	-1.28	33.20 ± 6.64	0.99 ± 0.18	760.14 ± 2.14	1710.05 ± 4.81
8	7 июня 2017	23:42	900	6.31	-1.19	37.44 ± 2.38	-7.58 ± 0.54	1094.41 ± 6.71	2462.03 ± 15.08
9	26 июня 2018	21:06	420	6.23	-1.11	33.46 ± 3.15	-0.57 ± 0.05	1743.22 ± 4.51	3921.62 ± 10.14
10	26 июня 2018	21:14	420	6.20	-1.05	31.65 ± 3.19	-1.87 ± 0.17	1258.46 ± 4.21	2831.09 ± 9.48
11	23 июня 2019	00:14	600	6.14	-0.96	35.80 ± 1.09	-11.08 ± 0.30	1423.26 ± 13.96	3201.83 ± 31.41
12	23 июня 2019	00:25	600	6.10	-0.90	36.06 ± 1.14	-11.96 ± 0.34	1359.53 ± 13.44	3058.46 ± 30.23
13	23 июня 2019	23:30	600	6.41	-1.45	34.76 ± 1.56	-4.31 ± 0.18	973.05 ± 9.48	2189.02 ± 21.33
14	23 июня 2019	23:20	600	6.36	-1.50	36.58 ± 1.16	-6.90 ± 0.20	1470.91 ± 13.38	3309.02 ± 30.10
15	25 июня 2018	23:28	300	6.35	-1.44	35.54 ± 2.68	-2.64 ± 0.18	1384.27 ± 5.64	3114.11 ± 12.68
16	26 июня 2018	20:30	300	6.32	-1.38	33.20 ± 4.93	1.64 ± 0.22	1292.79 ± 2.86	2908.32 ± 6.43
17	7 июня 2017	21:48	600	6.12	-1.30	37.44 ± 3.26	-10.86 ± 1.05	1372.33 ± 4.90	3087.25 ± 11.02
18	26 июня 2018	20:50	300	6.29	-1.25	33.20 ± 2.97	1.25 ± 0.10	1651.47 ± 4.73	3715.22 ± 10.65
19	25 июня 2018	23:49	300	6.22	-1.24	35.54 ± 1.77	-0.83 ± 0.04	4022.07 ± 8.53	9048.22 ± 19.20
20	26 июня 2018	20:57	420	6.24	-1.17	33.20 ± 1.60	-0.18 ± 0.01	2549.23 ± 8.78	5734.86 ± 19.76
21	24 июня 2018	23:36	600	6.16	-1.14	35.54 ± 2.55	-4.98 ± 0.32	3477.68 ± 5.91	7823.54 ± 13.29
22	25 июня 2018	23:56	300	6.13	-1.04	35.54 ± 2.28	-4.33 ± 0.25	1632.95 ± 6.63	3673.56 ± 14.91
23	25 июня 2018	00:04	300	6.08	-1.00	35.54 ± 2.54	-2.90 ± 0.19	1584.53 ± 5.95	3564.63 ± 13.38
24	23 июня 2019	20:38	600	6.05	-0.94	35.80 ± 0.82	-10.28 ± 0.21	1476.29 ± 18.65	3321.13 ± 41.97
25	23 июня 2019	20:49	600	6.03	-0.87	36.84 ± 1.35	-3.02 ± 0.10	1236.56 ± 11.56	2781.82 ± 26.00
26	23 июня 2019	21:43	600	6.29	-1.50	35.54 ± 1.52	-9.24 ± 0.36	1522.81 ± 9.90	3425.78 ± 22.28
27	7 июня 2017	00:18	900	6.25	-1.44	37.44 ± 1.60	-12.12 ± 0.47	173.35 ± 9.97	389.98 ± 22.43

No	Лата	UT,	$T_{\rm exp},$	l,	b,	FWHM,	Скорость,	$I_{\mathrm{H}lpha,}$	EM,
0 12	дата	чч:мм	с	град.	град.	${ m Km}{ m c}^{-1}$	${ m Km}~{ m c}^{-1}$	Рл	см ⁻⁶ пк
28	26 июня 2018	20:23	300	6.25	-1.38	33.20 ± 2.93	-1.09 ± 0.09	2199.07 ± 4.81	4947.12 ± 10.82
29	26 июня 2018	20:17	300	6.22	-1.31	33.98 ± 1.36	-1.61 ± 0.06	3851.83 ± 10.58	8665.24 ± 23.81
30	25 июня 2018	22:00	300	6.13	-1.22	38.13 ± 1.56	-5.24 ± 0.19	4423.33 ± 10.35	9950.92 ± 23.29
31	25 июня 2018	22:37	300	6.09	-1.13	37.09 ± 1.54	-7.31 ± 0.27	3316.13 ± 10.20	7460.11 ± 22.96
32	7 июня 2017	21:38	600	6.05	-1.08	37.66 ± 2.51	-7.62 ± 0.57	3468.06 ± 6.36	7801.90 ± 14.31
33	24 июня 2018	23:56	600	6.01	-1.02	37.87 ± 3.04	-2.77 ± 0.20	2622.65 ± 5.29	5900.03 ± 11.90
34	23 июня 2019	21:00	600	5.99	-0.96	36.84 ± 1.00	-8.98 ± 0.22	1781.11 ± 15.69	4006.86 ± 35.29
35	7 июня 2017	23:26	900	5.97	-0.90	37.44 ± 7.29	-11.21 ± 2.44	561.58 ± 2.19	1263.36 ± 4.93
36	23 июня 2019	00:35	600	5.91	-0.85	38.65 ± 2.62	-7.42 ± 0.45	670.26 ± 6.27	1507.84 ± 14.10
37	23 июня 2019	23:09	600	6.26	-1.56	34.76 ± 1.42	-5.61 ± 0.21	1595.29 ± 10.36	3588.83 ± 23.30
38	7 июня 2017	22:26	900	5.86	-1.22	37.44 ± 2.61	-8.48 ± 0.66	1575.90 ± 6.08	3545.21 ± 13.68
39	26 июня 2018	22:00	480	6.18	-1.44	33.20 ± 1.29	-0.83 ± 0.03	3322.51 ± 10.94	7474.46 ± 24.61
40	25 июня 2018	00:11	300	6.18	-1.37	35.54 ± 1.46	-6.41 ± 0.24	4886.52 ± 10.33	10992.93 ± 23.24
41	25 июня 2018	23:42	300	6.29	-1.32	36.06 ± 1.68	-4.59 ± 0.19	2814.75 ± 9.15	6332.18 ± 20.59
42	24 июня 2018	23:45	600	6.05	-1.19	39.43 ± 0.78	-7.05 ± 0.12	13834.20 ± 21.54	31122.02 ± 48.46
43	25 июня 2018	22:44	300	6.00	-1.13	36.58 ± 0.74	-7.05 ± 0.13	8856.13 ± 20.95	19923.13 ± 47.13
44	25 июня 2018	15:08	600	5.96	-1.08	35.54 ± 0.84	-1.87 ± 0.04	6635.23 ± 17.89	14926.90 ± 40.24
45	25 июня 2018	22:09	300	5.93	-1.01	36.84 ± 4.11	-4.20 ± 0.42	1427.94 ± 3.80	3212.36 ± 8.54
46	23 июня 2019	21:22	600	5.92	-0.95	37.87 ± 1.48	-8.46 ± 0.30	1219.84 ± 10.83	2744.21 ± 24.37
47	23 июня 2019	21:33	600	5.86	-0.94	37.35 ± 2.12	-6.90 ± 0.35	677.43 ± 7.50	1523.97 ± 16.87
48	23 июня 2019	00:47	600	5.85	-0.87	35.28 ± 3.20	-10.92 ± 0.90	377.60 ± 4.68	849.47 ± 10.52
49	23 июня 2019	23:42	600	6.21	-1.61	35.02 ± 1.48	-5.09 ± 0.20	998.76 ± 10.05	2246.86 ± 22.60
50	26 июня 2018	23:12	540	6.16	-1.56	30.61 ± 1.50	1.38 ± 0.06	1591.31 ± 8.63	3579.88 ± 19.41
51	26 июня 2018	02:13	480	6.13	-1.49	31.65 ± 2.70	0.86 ± 0.07	1510.89 ± 4.97	3398.96 ± 11.18
52	25 июня 2018	22:16	300	6.11	-1.42	35.54 ± 1.25	-3.94 ± 0.13	4375.07 ± 12.09	9842.35 ± 27.19
53	24 июня 2018	00:08	600	6.06	-1.37	35.54 ± 1.74	-4.98 ± 0.22	6557.63 ± 8.64	14752.33 ± 19.45
54	25 июня 2018	22:22	300	6.04	-1.28	36.32 ± 1.32	-2.51 ± 0.08	9261.10 ± 11.73	20834.17 ± 26.39
55	25 июня 2018	20:56	600	5.97	-1.27	36.84 ± 1.09	-4.72 ± 0.13	9984.19 ± 14.33	22460.87 ± 32.24
56	25 июня 2018	21:20	300	5.95	-1.48	35.54 ± 2.09	-4.98 ± 0.26	2258.40 ± 7.24	5080.59 ± 16.29
57	25 июня 2018	20:51	600	5.93	-1.15	35.54 ± 0.85	-5.24 ± 0.11	2693.27 ± 17.67	6058.90 ± 39.76
58	25 июня 2018	21:33	300	5.89	-1.10	38.91 ± 3.84	-2.77 ± 0.24	1240.93 ± 4.31	2791.65 ± 9.69
59	23 июня 2019	21:11	600	5.86	-1.01	37.35 ± 1.80	-7.55 ± 0.33	1001.38 ± 8.79	2252.75 ± 19.78
60	23 июня 2019	00:04	600	5.79	-0.96	38.65 ± 5.49	-8.72 ± 1.10	287.25 ± 3.00	646.22 ± 6.75
61	26 июня 2018	23:22	540	6.11	-1.60	29.60 ± 3.56	-0.60 ± 0.07	1323.36 ± 3.53	2977.09 ± 7.94
62	26 июня 2018	23:00	540	6.08	-1.54	33.98 ± 2.43	0.60 ± 0.04	1755.09 ± 5.93	3948.33 ± 13.33
63	7 июня 2017	00:01	900	6.06	-1.48	37.44 ± 2.10	-8.10 ± 0.51	1092.67 ± 7.56	2458.12 ± 17.00
64	25 июня 2018	23:29	300	6.01	-1.42	35.54 ± 1.48	-5.76 ± 0.22	3916.44 ± 10.16	8810.59 ± 22.87
65	25 июня 2018	23:18	300	5.96	-1.36	35.54 ± 1.63	-6.92 ± 0.29	4294.96 ± 9.28	9662.13 ± 20.89
66	25 июня 2018	21:53	300	5.90	-1.30	35.54 ± 1.36	-3.68 ± 0.13	3536.15 ± 11.14	7955.08 ± 25.06

Таблица 1. (Продолжение)

SAHAN

Таблица 1. (Продолжение)

N₂	Дата	UT,	$T_{\rm exp}$,	l,	b,	FWHM,	Скорость,	$I_{\mathrm{H}lpha,}$	EM,
		чч:мм	с	град.	град.	${ m km}{ m c}^{-1}$	${ m Km}~{ m c}^{-1}$	Рл	см ⁻⁶ пк
67	25 июня 2018	23:11	300	5.92	-1.23	35.54 ± 1.58	-4.07 ± 0.16	2798.90 ± 9.58	6296.53 ± 21.55
68	26 июня 2018	21:50	480	6.21	-1.50	33.20 ± 2.19	2.41 ± 0.15	2163.94 ± 6.44	4868.09 ± 14.50
69	25 июня 2018	22:59	300	5.85	-1.16	35.54 ± 1.69	-4.46 ± 0.19	2788.34 ± 8.94	6272.77 ± 20.12
70	23 июня 2019	22:27	600	5.82	-1.08	39.17 ± 3.21	-9.24 ± 0.67	641.99 ± 5.18	1444.24 ± 11.65
71	7 июня 2017	00:35	900	5.77	-1.03	41.50 ± 1.99	-13.67 ± 0.58	241.47 ± 8.70	543.22 ± 19.57
72	26 июня 2018	23:33	540	6.04	-1.61	28.53 ± 4.56	0.60 ± 0.09	543.07 ± 2.65	1221.72 ± 5.97
73	26 июня 2018	23:50	540	6.01	-1.53	27.50 ± 5.80	2.93 ± 0.58	595.84 ± 2.02	1340.42 ± 4.54
74	23 июня 2019	22:59	600	5.97	-1.59	34.76 ± 1.44	-5.87 ± 0.22	1589.19 ± 10.28	3575.11 ± 23.13
75	25 июня 2018	22:51	300	5.98	-1.20	35.54 ± 4.35	-3.68 ± 0.41	932.67 ± 3.47	2098.18 ± 7.81
76	23 июня 2019	20:15	600	5.94	-1.42	33.72 ± 0.68	-10.28 ± 0.19	2237.23 ± 21.21	5032.97 ± 47.73
77	25 июня 2018	21:47	300	5.89	-1.37	35.54 ± 1.98	-5.24 ± 0.26	2629.88 ± 7.64	5916.29 ± 17.18
78	23 июня 2019	21:54	600	5.83	-1.32	36.84 ± 0.99	-6.64 ± 0.16	1396.42 ± 15.88	3141.45 ± 35.72
79	23 июня 2019	22:05	600	5.79	-1.26	39.43 ± 2.28	-5.48 ± 0.28	804.95 ± 7.36	1810.85 ± 16.57
80	23 июня 2019	22:16	600	5.79	-1.20	36.84 ± 2.33	-8.98 ± 0.51	736.90 ± 6.73	1657.75 ± 15.14
81	23 июня 2019	22:37	600	5.77	-1.13	37.35 ± 4.00	-8.98 ± 0.86	366.74 ± 3.96	825.02 ± 8.92
82	23 июня 2019	23:53	600	5.88	-1.50	36.06 ± 2.57	-8.20 ± 0.53	476.31 ± 5.96	1071.53 ± 13.41
83	23 июня 2019	20:27	600	5.88	-1.44	34.76 ± 1.49	47.68 ± 0.30	1069.21 ± 9.87	2405.34 ± 22.21
84	23 июня 2019	22:48	600	5.83	-1.39	39.17 ± 2.25	-7.68 ± 0.39	715.37 ± 7.40	1609.34 ± 16.65

Еще четыре примера профилей туманных линий $H\alpha$ (номера областей: 43, 44, 54, 55), выбранных из яркой области в центре туманности, приведены на рис. 4. Галактические линии На и их наилучшее соответствие по Гауссу также представлены символами в виде ромба и сплошными линиями соответственно. Как упоминалось выше, эта яркая область НІІ освещена множеством массивных звезд спектральных классов О и В, таких как HD 165246, HD 165052, HD 164816, 9 Sgr, Herschel 36 и HD 164536 (Damiani et al., 2017). Для спектра, представленного на рис. 4а (номер 43, $l = 6^{\circ}.00$ и $b = -1^{\circ}.13$, время экспозиции 300 мин), значение $V_{\rm LSR}$, ширина линии и значения интенсивности оказались равными -7.05 ± 0.13 км с⁻¹, 36.58 ± 0.74 км с⁻¹ и 8856.13 ± 20.95 Рл соответственно. Было установлено, что мера эмиссии составляет 19923.13 ± 47.13 см⁻⁶ пк. Для спектра галактических линий, представленного на рис. 4b (номер 44, l = 5.96 и b = -1.08, время экспозиции 600 с), значение V_{LSR} и ширина линии оказались равными -1.87 ± 0.04 км с $^{-1}$ и 35.54 ± 0.84 км с⁻¹ соответственно. Значения интенсивности и меры эмиссии были определены как 6635.23 ± 17.89 Рл и $14\,926.90 \pm 40.24$ см $^{-6}$ пк соответственно. Для спектра, представленного на рис. 4c (номер 54, l = 6.04 и b = -1.28,

время экспозиции 300 с), значение $V_{\rm LSR}$, ширина линии и значения интенсивности были определены как -2.51 ± 0.08 км с⁻¹, 36.32 ± 1.32 км с⁻¹ и 9261.10 ± 11.73 Рл соответственно. Также было установлено, что показатель выбросов составляет 20834.17 ± 26.39 см⁻⁶ пк. Средняя лучевая скорость и *FWHM* спектра на рис. 4d (l = 5.97 и b = -1.27, время экспозиции 600 с) были представлены в виде -4.72 ± 0.13 км с⁻¹ и 36.84 ± 1.09 км с⁻¹, а интенсивность и показатель выбросов оказались равными 9984.19 ± 14.33 R и 22 460.87 ± 32.24 см⁻⁶ пк соответственно.

Все остальные спектры туманности Лагуна (M8, Sh2-25) были преобразованы в линейчатые профили, как показано на рис. 5. Номера наборов данных и галактические координаты (l, b) для каждого отдельного спектра были приведены в верхнем левом углу каждой отдельной панели. Вся информация, включая номера наблюдений, FWHM, скорость LSR, интенсивность и излучение, приведена в таблице 1. Интенсивность газа в центре области H II (при l = 6.05, b = -1.25) с площадью и диаметром около 13.58, ионизируемого высокоэнергитичными фотонами от молодых, горячих и массивных звезд O–B, варьируется от 2163.94 ± 6.44 до



Рис. 4. Четыре выбранных спектра Нα (номера: 43, 44, 54, 55) из яркой области в центре туманности Лагуна, содержащей молодое скопление NGC 6530.

13 834.20 ± 21.56 Рл. Интенсивность $I_{\rm H\alpha}$ уменьшается с 1781.11 ± 15.69 до 173.35 ± 9.97 Рл от центра к периферии. Из таблицы 1 и рис. 5 видно, что ширина линий спектров излучения Н α находится в диапазоне от 27.50 ± 5.80 км с⁻¹ (номер 73) до 41.50 ± 1.99 км с⁻¹ (номер 71) (среднее значение: 35.50 ± 2.49 км с⁻¹). Скорости LSR варьируются от -13.67 ± 0.58 км с⁻¹ (число 71) до 3.19 ± 0.72 км с⁻¹ (номер 6) (среднее значение: -4.92 ± 0.32 км с⁻¹). Также были обнаружены различия в интенсивности между 173.35 ± 9.97 Рл (номер 27) и 13834.20 ± 21.56 Рл (номер 42) (среднее значение: 2247.65 ± 8.73 Рл).

Ниже приводится сравнение наших радиальных скоростей $H\alpha$ в области H II M 8 с данными других авторов, приведенными в литературе.

По оценке Courtes et al. (1966), радиальная скорость равна -6.0 км c^{-1} при $l = 6^{\circ}2$, $b = -1^{\circ}6$. Dieter (1967) вычислил некоторые параметры, в том числе скорость V_{LSR} , равную $4.6 \pm 0.9 \text{ км c}^{-1}$, скорость V_{\odot} , равную -7.3 км c^{-1} , $T_e - 4570 \pm 980 \text{ K}$, расстояние составляет $1.44 \pm 0.25 \text{ кпк}$, а максимальная мера эмиссии равна $200 \times 10^3 \text{ см}^{-6}$ пк. Мегдег and Hoglund (1967) исследовали линию рекомбинации водорода 109α из 20 галактических радиоисточников, используя

20-канальный линейный радиометр с частотной коммутацией на 43-м телескопе NRAO. Одним из таких источников является туманность Лагуна со средним расстоянием 1.1 кпк. Они указали скорость $V_{\rm LSR}$ как $+3.5 \pm 1.9$ км с⁻¹ в радиоэфире $(V_{\rm HEL} = -8.1 \pm 1.9 \,\,{\rm кm}\,{
m c}^{-1}$ в радио, $-7.1\,\,{
m km}\,{
m c}^{-1}$ в оптическом). Miller (1968) также определил радиальную скорость туманности равной 2.66 км с⁻¹ $(V_{\text{Helio}} = -3.7 \pm 7 \text{ км c}^{-1})$. Foukal (1969) записал линейные профили На в 22 различных точках туманности М8, используя фотоэлектрический спектрометр Фабри-Перо. Скорости с их ожидаемыми ошибками колебались в туманности между -6.5 ± 1 км с⁻¹ и +9.0 ± 1 км с⁻¹. Bohuski (1973) представил результаты исследования профилей линий $H\alpha$ и [NII] в туманности Лагуна (M8) с использованием интерферометра Фабри-Перо на 1.3-м телескопе с металлическим зеркалом в Национальной обсерватории Китт-Пик и сообщил, что гелиоцентрические лучевые скорости (V_{Helio}), полученные из линейных профилей, варьировались от -16.7 до 0.5 км с⁻¹ (среднее значение -10.7 ± 4.2 км с $^{-1}$) в Нlpha и между -9.9 и 2.7 км с $^{-1}$ (среднее значение -5.2 ± 3.2 км с⁻¹) в [N II]. Blitz et al. (1982) составили каталог из 242 молекулярных облаков, связанных с оптическими областями Н II, включая область mboxSh2-25 Н II, используя



Рис. 5. Восемьдесят четыре профиля линий Hα из центральных положений M 8 (туманность Лагуна, Sh2-25) на рис. 2 были построены в зависимости от значения скорости LSR.



Рис. 5. Продолжение.



Рис. 5. Продолжение.

7-м телескоп в Bell Telephone Laboratories (BTL) и 5-м телескоп в обсерватории миллиметровых волн. Они определили скорость V_{CO} и ширину линии ?? для области Sh2-25 H II с расстоянием 1.8 ± 0.2 кпк ??: 12.0 ± 1.5 км с⁻¹ и 3.5 км с⁻¹ соответственно. Hanel (1987) использовал для получения фотографических интерферограмм в области M8 HII эталон Фабри-Перо с классическим расположением фокусного редуктора. Он получил радиальные скорости различных линий ([O III], H α , [N II], [S II]) в M8 в квадратах сетки длиной 50" (относительно LSR) и обнаружил вариации лучевых скоростей: от -1.3 до 10.6 км с $^{-1}$ (со средним 4.83 км с $^{-1}$) у [О III], от -4.3 до 11.7 км с $^{-1}$ (со средним 3.19 ± 0.72 км с $^{-1}$) в Н α , между 0.7 и 20.2 км с⁻¹ (со средним 10.8 км с⁻¹) в [N II] и между 2.7 и 23.4 км с⁻¹ (со средним 14.08 км с⁻¹) в [S II]. Lockman (1989) исследовал почти 462 области H II, обнаруженные в источниках радиоконтинуума вблизи плоскости Галактики со склонениями, превышающими или равными -37° , включая М 8, и определил скорость $V_{\rm LSR}$ и FWHM из М 8: 3.9 \pm 0.2 км с $^{-1}$ и 27.7 \pm 0.4 км с $^{-1}$ при $l = 5^{\circ}.97$, $b = -1^{\circ}.18$ соответственно. Fitch и соавторы (1990) наблюдали выброс $H\alpha$ из 284 источников, отобранных из каталога Blitz (1982) и Sharpless (1959), и еще 65 областей Н II меньшего размера, используя спектрометр Фабри-Перо. Они сообщили, что скорость V_{CO} и ширина линии составляют $+6.80 \pm 5.0$ км с $^{-1}$ и d24.7 ± 0.1 км с $^{-1}$ соответственно (d указывает на то, что линия излучения была отклонена от формы линии прибора). Drew et al. (2014) представили спектроскопическое исследование динамики ионизированного и нейтрального газа в туманности Лагуна, используя данные VLT-FLAMES, полученные в ходе обзора Gaia-ESO. Они дали радиальные скорости и ширину линий Н α , которые находятся в пределах от -10 до 0.0 км с⁻¹ и между 12.0 и 20.0 км с⁻¹ соответственно. Şahan (2018) измерил только один спектр с помощью спектрометра DEFPOS, 6 июня 2017 года при времени экспозиции 300 с в направлении l = 5.96, b = -1.16, и обнаружил, что скорость LSR, *FWHM* и интенсивность туманности составляют 7.34 ± 0.37 км с⁻¹, 35.33 ± 1.36 км с⁻¹ и 24 300.10 ± 6.36 Рл соответственно.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Туманность Лагуна (M8, Sh2-25) представляет собой сложную эмиссионную область активного звездообразования, которая является наиболее заметной из ряда звездообразующих областей и остатков сверхновых. В нашей работе мы представили первые результаты по этому объекту, полученные с помощью спектрометра Фабри-Перо DEFPOS, имеющего поле зрения диаметром 4', с восьмидесяти четырех различных направлений, выбранных вокруг центра туманности Лагуна $(90' \times 40')$. Наблюдения дают полезную информацию о регионе H II (M8, Sh2-25), такую как ширина линий (FWHM), радиальные скорости (V_{LSR}) и интенсивность (*I*_Н α). Наши наблюдения показывают значительные вариации радиальных скоростей от -13.67 ± 0.58 до 3.19 ± 0.72 км с $^{-1}$ (среднее -4.92 ± 0.32 км с⁻¹). Ширина *FWHM* профилей линий, полученных в настоящем исследовании,

варьируется от 27.50 ± 5.80 до 41.50 ± 1.99 км с $^{-1}$ (среднее 35.50 ± 2.49 км с⁻¹). В целом ширину линий следует рассматривать как тепловую и турбулентную составляющие. Интенсивности также были найдены между $173.35\pm9.97\,{\rm R}$ $(EM = 389.98 \pm 22.43 \text{ см}^{-6} \text{ пк})$ (номер 27) и 13834.20 ± 21.56 R (*EM*=31122.02±48.46 см⁻⁶пк) (номер 42) (среднее 2247.65 ± 8.33 R). Значения интенсивности в целом уменьшаются от центра к внешней части М8. профилей линий, полученных в настоящем исследовании, варьируются от 27.50 ± 5.80 км с⁻¹ до 41.50 ± 1.99 км с⁻¹ (среднее 35.50 ± 2.49 км с⁻¹). В целом, ширину линий следует рассматривать как тепловую и турбулентную составляющие. Также были найдены интенсивности: между $173.35 \pm 9.97 \, \text{Рл}$ $(EM = 389.98 \pm 22.43 \text{ см}^{-6} \,\mathrm{пк})$ (номер 27) и 13834.20 ± 21.56 P π ($EM = 31122.02\pm48.46$ см⁻⁶пк) (номер 42) (среднее 2247.65 ± 8.33 Рл). Значения интенсивности в целом уменьшаются от центра к внешней части М8. Данные о радиальных скоростях, приведенные в этом исследовании, указывают на то, что ионизированный газ удаляется от молекулярного облака. Некоторые физические параметры, в частности средняя скорость LSR и средняя ширина линии туманности, были сравнены с аналогичными из некоторых предыдущих работ. Результаты данных DEFPOS, особенно ($V_{\rm LSR}$), были сопоставлены с более ранними исследованиями, такими как Courtes et al. (1966), Mezger and Hoglund (1967), Foukal (1969), Bohuski (1973), Blitz et al. (1982), Hanel (1987), Lockman (1989), Fich et al. (1990), Drew et al. (2014) и Şahan (2018). Спектрометр DEFPOS с небольшим полем зрения (4') представляет собой мощный инструмент для изучения диффузного ионизированного газа в областях Н II. Мы считаем, что наша работа по туманности Лагуна (М8, Sh2-25) может внести значительный вклад в литературу.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Это исследование было профинансировано Национальной обсерваторией ТЮБИТАК (TUG, Анталия, Турция) в рамках проекта № 18ARTT150-1274.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов в связи с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- L. Blitz, M. Fich, and A. A. Stark, Astrophys. J. Suppl. 49, 183 (1982). DOI:10.1086/190795
- 2. T. J. Bohuski, Astrophys. J. 183, 851 (1973). DOI:10.1086/152272
- 3. E. Bron, *Ph. D. Thesis*, (Université Paris Diderot, Paris, 2014).
- 4. M. M. Coakley, F. L. Roesler, R. J. Reynolds, and S. Nossal, Applied Optics LP, **35** (33), 6479 (1996). DOI:10.1364/AO.35.006479
- 5. G. Courtes, P. Cruvellier, Y. Georgelin, and N. Astier, Journal des Observateurs **49**, 329 (1966).
- F. Damiani, R. Bonito, L. Prisinzano, et al., Astron. and Astrophys. 604, id. A135 (2017). DOI:10.1051/0004-6361/201730986
- 7. F. Damiani, E. Flaccomio, G. Micela, et al., Astrophys. J. 608 (2), 781 (2004). DOI:10.1086/420779
- 8. N. H. Dieter, Astrophys. J. **150**, 435 (1967). DOI:10.1086/149347
- 9. J. E. Drew, E. Gonzalez-Solares, R. Greimel, et al., Monthly Notices Royal Astron. Soc. 440 (3), 2036 (2014). DOI:10.1093/mnras/stu394
- K. M. Ferriére, Reviews of Modern Physics 73 (4), 1031 (2001). DOI:10.1103/RevModPhys.73.1031
- 11. M. Fich, R. R. Treffers, and G. P. Dahl, Astron. J. **99**, 622 (1990). DOI:10.1086/115356
- D. P. Finkbeiner, Astrophys. J. Suppl. 146 (2), 407 (2003). DOI:10.1086/374411
- 13. P. Foukal, Astrophys. and Space Sci. 4 (2), 127 (1969). DOI:10.1007/BF00650948
- 14. S. J. Gibson, ASP Conf. Ser., 276, 235 (2002).
- 15. N. Y. Gnedin, S. C. O. Glover, R. S. Klessen, and V. Springel, *Star Formation in Galaxy Evolution: Connecting Numerical Models to Reality* (Springer-Verlag GmbH, Berlin, 2016). DOI:10.1007/978-3-662-47890-5
- L. M. Haffner, R. J. Dettmar, J. E. Beckman, et al., Reviews of Modern Physics 81 (3), 969 (2009). DOI:10.1103/RevModPhys.81.969
- M. Haffner, R. J. Reynolds, and S. L. Tufte, Astrophys. J. 501 (1), L83 (1998). DOI:10.1086/311449
- L. M. Haffner, R. J. Reynolds, and S. L. Tufte, Astrophys. J. **523** (1), 223 (1999). DOI:10.1086/307734
- L. M. Haffner, R. J. Reynolds, S. L. Tufte, et al., Astrophys. J. Suppl. **149** (2), 405 (2003). DOI:10.1086/378850
- 20. A. Hanel, Astron. and Astrophys. 176, 347 (1987).
- 21. S. R. Kulkarni and C. Heiles, Galactic and Extragalactic Radio Astronomy, 2nd ed. (Springer-Verlag, Berlin and New York, 1988), pp. 95–153.
- 22. C. J. Lada, T. R. Gull, C. A. Gottlieb, and E. W. Gottlieb, Astrophys. J. 203, 159 (1976). DOI:10.1086/154058

- 23. F. J. Lockman, Astrophys. J. Suppl. **71**, 469 (1989). DOI:10.1086/191383
- 24. B. T. Lynds and E. J. Oneil, Jr., Astrophys. J. **263**, 130 (1982). DOI:10.1086/160488
- 25. C. F. McKee and J. P. Ostriker, Astrophys. J. **218**, 148 (1977). DOI:10.1086/155667
- 26. P. G. Mezger and B. Hoglund, Astrophys. J. **147**, 490 (1967). DOI:10.1086/149031
- 27. J. S. Miller, Astrophys. J. **151**, 473 (1968). DOI:10.1086/149450
- 28. S. Nossal, F. L. Roesler, M. M. Coakley, and R. J. Reynolds, J. Geophys. Research **102** (A7), 14541 (1997). DOI:10.1029/97JA00293
- 29. G. Rauw, Y. Nazé, E. Gosset, et al., Astron. and Astrophys. **395**, 499 (2002). DOI:10.1051/0004-6361:20021230
- 30. R. J. Reynolds, Astrophys. J. **282**, 191 (1984). DOI:10.1086/162190
- 31. R. J. Reynolds, Astrophys. J. 298, L27 (1985). DOI:10.1086/184560
- 32. R. J. Reynolds, Astrophys. J. **339**, L29 (1989). DOI:10.1086/185412
- 33. R. J. Reynolds, Astrophys. J. 372, L17 (1991). DOI:10.1086/186013
- 34. R. J. Reynolds, AIP Conf. Proc. **278** (1), 156 (1993). DOI:10.1063/1.44005
- 35. R. J. Reynolds, F. L. Roesler, F. Scherb, and J. Harlander, SPIE Conf. Proc. **1235**, 610 (1990). DOI:10.1117/12.19124
- R. J. Reynolds and S. L. Tufte, Astrophys. J. 439, L17 (1995). DOI:10.1086/187734
- 37. M. Şahan, Turkish Journal of Physics **42** (3), 242 (2018). DOI:10.3906/fiz-1711-14
- 38. M. Sahan and L. M. Haffner, Astron. J. 151 (6), article id. 147 (2016). DOI:10.3847/0004-6256/151/6/147
- 39. M. Sahan and I. Yegingil, J. Astrophys. and Astron.
 38 (4), article id. 67 (2017). DOI:10.1007/s12036-017-9486-1

- 40. M. Sahan, I. Yegingil, N. Aksaker, et al., Chinese J. Astron. Astrophys. 5 (2), 211 (2005). DOI:10.1088/1009-9271/5/2/013
- 41. M. Şahan, I. Yeğingil, and N. Aksaker, Research in Astron. and Astrophys. 9 (2), 237 (2009). DOI:10.1088/1674-4527/9/2/013
- 42. F. Scherb, Astrophys. J. **243**, 644 (1981). DOI:10.1086/158630
- 43. S. Sharpless, Astrophys. J. Suppl. 4, 257 (1959). DOI:10.1086/190049
- L. Spitzer, *Physical processes in the interstellar medium* (A Wiley-Interscience Publication, New York, 1978).
- 45. S. W. Stahler and F. Palla, *The Formation of Stars* (Wiley-VCH, Berlin, 2004).
- 46. B. Strömgren, Astrophys. J. **89**, 526 (1939). DOI:10.1086/144074
- 47. M. Tiwari, K. M. Menten, F. Wyrowski, et al., Astron. and Astrophys. 615, id. A158 (2018). DOI:10.1051/0004-6361/201732437
- 48. N. F. H. Tothill, M. Gagné, B. Stecklum, and M. A. Kenworthy, arXiv e-prints astro/ph:0809.3380 DOI:10.48550/arXiv.0809.3380
- 49. N. F. H. Tothill, G. J. White, H. E. Matthews, et al., Astrophys. J. **580** (1), 285 (2002). DOI:10.1086/343068
- 50. G. J. White, B. Nisini, J. C. Correia, et al., ASP Conf. Ser. **132**, 113 (1998).
- 51. G. J. White, N. F. H. Tothill, H. E. Matthews, et al., Astron. and Astrophys. **323**, 529 (1997).
- 52. C. E. Woodward, J. L. Pipher, H. L. Helfer, et al., Astron. J. **91**, 870 (1986). DOI:10.1086/114065
- 53. N. J. Wright, R. D. Jeffries, R. J. Jackson, et al., Monthly Notices Royal Astron. Soc. 486 (2), 2477 (2019). DOI:10.1093/mnras/stz870

Studies of the Lagoon Nebula in the H α Emission Line Using DEFPOS Spectrometer

M. Sahan¹

¹Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye, 80000 Turkey

DEFPOS Fabry–Perot spectrometer, located at the coude exit of the RTT-150 telescope (Bakirlitepe, Antalya, Turkey), has been used to measure the ionized gas within the Lagoon Nebula (M 8) which is an H II region (Sh2-25). Eighty-four H α emission line spectra obtained from the H II region provide detailed information about some physical properties of the gas surrounding the H II region. The line widths, $V_{\rm LSR}$ velocities, and $I_{\rm H}\alpha$ intensities of the H α emission spectra were found to be in the range from 27.5 ± 5.80 to 41.50 ± 1.99 km s⁻¹ (mean 35.50 ± 2.05 km s⁻¹), -13.67 ± 0.58 and 3.19 ± 0.72 km s⁻¹ (mean -4.92 ± 0.32 km s⁻¹), and 173.35 ± 9.97 R and 13834.20 ± 21.56 R (mean 2247.65 ± 8.33 R), respectively. The mean LSR velocity and line width of the nebula were also compared with previous works. Since there is not enough information on intensities and LSR velocities of such galactic sources with low angular size in the literature, we believe that DEFPOS spectrometer will provide a powerful tool for the study of the diffuse ionized gas, and these new results may have significant contributions to the literature.

Keywords: interstellar medium: HII regions—nebulae: Lagoon Nebula (M8, Sh2-25) instrumentation: Fabry–Perot interferometer