

УДК 523.5

К.Г. ДЖАКУШЕВА, Э.Г. МЫЧЕЛКИН

О ВОЗМОЖНОЙ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ МЕХАНИЗМА СВЕЧЕНИЯ ПЕРИФЕРИИ ТУМАННОСТИ M-42

В свете недавнего уникального открытия мягкого рентгеновского излучения [1] спектральные и поляризационные данные, полученные ранее в Астрофизическом институте им. В.Г.Фесенкова при наблюдениях M42, можно рассматривать как результат влияния достаточно универсального механизма высвечивания мягкого рентгена (и, как мы ожидаем, жесткого УФ), исходящих от темной в видимом диапазоне области – SW-cavity. В этой связи предлагается исследование аналогичных, прежде всего звездообразующих, областей в различных туманностях для программы ВКО-УФ.

Введение. M42 – типичная массивная область звездообразования, в молекулярном облаке которой формируются тысячи звезд при коллапсе ядра облака. Трудно представить себе другую столь же детально исследованную область звездообразования и, тем не менее, именно здесь новые исследования преподносят сюрпризы.

Мягкий X-ray феномен в M42 – уникальное открытие 2007-2008 г. Наблюдения, выполненные с X-ray Multi-Mirror satellite XMM-Newton (обзор его – 1\2 диаметра поля почти полностью покрывает EON- Extended Orion Nebula – см рис.1, слева), показывают [1], что в северо-западную часть туманности M42 проникает горячая плазма с температурой 1.7-2.1 милли. К° (!) (на рис.1 пунктиром – “Southwest cavity”), которая является X-ray источником. Диффузная эмиссия

«SW cavity» заполняет пространство между ИК-волокнистыми структурами, образованными теплой пылью на западе и юге.

По наблюдениям Chandra X-ray Observatory в течение 30 лет аналогичная диффузная эмиссия в центральной НП области не была зарегистрирована, вероятно, из-за более плотной завесы нейтрального газа, чем перед EON. В двух областях “SWcavity” зарегистрирована очень низкая плотность нейтрального газа: $N_H = (4.1 \pm 0.7) \times 10^{20} \text{ см}^{-2}$ в 1σ-уровне для N-области и $\leq 10^{20} \text{ см}^{-2}$ для S. Вокруг Трапеции в поле $17' \times 17'$ отмечены все звезды, являющиеся рентгеновскими источниками. На рис.1 справа показана X-ray эмиссия “SWcavity”, растущая в сторону UV.

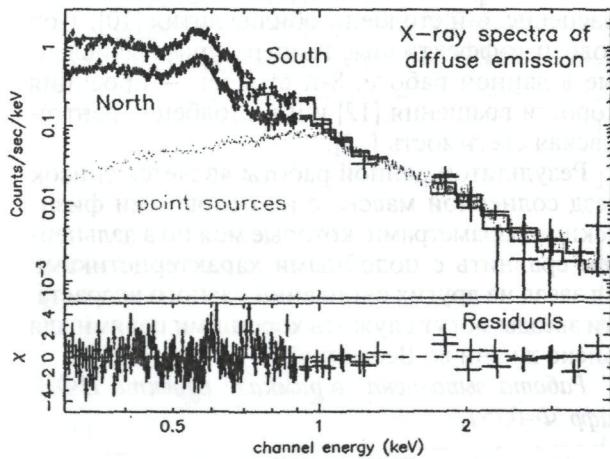
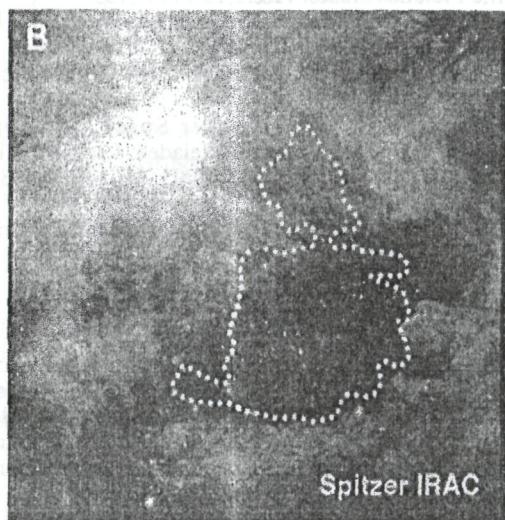


Рис 1.

Горячая плазма располагается перед плотным молекулярным газом и, следовательно, перед более разреженным оптически-видимым фронтом ионизации на поверхности молекулярного облака. Более жесткая звездная эмиссия и отсутствие плотной группы молодых звезд в этом районе показывают, что мягкий ($\sim 0.1\text{KeV}$) X-гату не может быть неразрешенной звездной эмиссией, но является подлинно диффузной. Наблюданная X-гату светимость пропорциональна объемной мере эмиссии $(EM) = n_e^2 V$: для N-полости $\sim (1.5 \pm 0.3)10^{54} \text{cm}^{-3}$ и $\sim (1.9 \pm 0.3)10^{54} \text{cm}^{-3}$ для S-полости.

Структуры M42, их возраст (~ 3 Муг) и отсутствие структур в виде остаточных фрагментов оболочки в радио-диапазоне – это серьезное возражение против присутствия в данной области supernovabubble, подобно тому, что наблюдается а Большом Магеллановом облаке. Единственным эффективным источником свечения диффузной "SW cavity" могут быть звездные ветры высокой скорости от Трапеции, которые способны разогреть наблюданную плазму. Действительно, ветер от $\theta^1\text{OriC}$ имеет кинетическую энергию

$$L_w = \dot{M}V^2/2 \approx 7 \times 10^{35} \text{erg} \cdot \text{c}^{-1} \text{nc} - \\ - 2(\dot{M} \approx 8 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{yr}^{-1}, V_w \approx 1650 \text{km/c}),$$

т.е. на четыре порядка превышает светимость "cavity". Исправленная за поглощение собственная X-гату светимость диффузного источника $L_* \approx 3.4 \cdot 10^{31} \text{эрг} \cdot \text{с}^{-1} \text{nc}^{-2}$ [1].

Периферийная структура туманности Ориона не является уникальным морфологическим образованием: подобные структуры довольно часто встречаются во многих диффузных туманностях. Волокна и сферические конденсации в этих областях представляют собой уплотнения вещества, образовавшиеся, из первоначально более разреженной среды, так что в туманности наряду с рассеянием вещества происходит также его конденсация. В связи с этим особого внимания заслуживают и сходные с волокнистыми образованиями – светлые и темные ободки или дуги, окаймляющие темные области.

Действительно, исследования, о которых речь пойдет ниже, показали, что характер взаимодействия газового и пылевого вещества в значительной мере определяется свойствами именно таких областей. Это особенно характерно для M42,

тем более что здесь плотность пыли увеличивается к границе зоны HII [2].

Реальная возможность исследования периферийных областей подобных туманностей в оптическом диапазоне возникла благодаря применению в астрономической практике электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Одной из основных особенностей данной методики является использование ЭОП как для стандартной регистрации спектра исследуемого объекта, так и для одновременного обзора прилегающего участка неба, что чрезвычайно важно для уверенного отождествления наблюдавших областей туманности и соответствующих слабых объектов. В результате появилась уникальная возможность надежно устанавливать слабые объекты (до 17-18 зв. вел.), например, строго на середину входной щели спектрографа, а также фотографировать конечные площадки. Соответствующий спектрограф, рассчитанный для работы совместно с телескопом с относительным отверстием 1:10 - 1:40, был установлен на 700-мм телескопе АЗТ-8 Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова. Аналогичный ЭОП эффективно использовался также в конструкции трехканального электрополяриметра, установленного на 500-мм телескопе АФИФ системы Д.Д.Максутова.

Наблюдения. Основная задача спектральных наблюдений заключалась, во первых, в определении локальной электронной плотности по отношению интенсивностей линий дублета серы $[SII]\lambda\lambda 6717, 6731 \text{\AA}$, и, во-вторых, в качественном анализе ионизации в отдельных областях туманности по характерному отношению:

$$K = I(\lambda 6678 \text{HeI}) / I(\lambda 6717[SII] + \lambda 6731[SII]),$$

где линии HeI и [SII] имеют очень близкие потенциалы ионизации. Существенно, что с возрастанием ионизации HeI увеличивает свою интенсивность, но сера переходит в состояние [SIII], так что линии [SII] заметно ослабевают.

Линии дублета [SII] (первый потенциал серы 10,4 eV) весьма удобны для определения электронной плотности. Во-первых, они легко разрешаются при наблюдениях со сравнительно низкими дисперсиями. Во-вторых, во всех туманностях, возбуждаемых звездами типа B2 (и более горячими), эти линии яркие. В-третьих, в большинстве областей, свечение которых обусловлено излучением звезд спектрального класса O6 (и

более горячими), сера находится в состоянии [SIII], линии же [SII] наблюдаются только в периферийных областях и во внутренних областях плотных сгустков. Указанные особенности приобретают особую ценность при изучении тонкой структуры отдаленных от центра областей туманности, для которых в данное время еще не имеется спектральных наблюдений.

В туманности Ориона значения $n_e(SII)$ и $n_e(CIII)$ примерно одинаковы [3]. Отсюда следует, что в туманностях со звездами типа O7 и более раннего спектрального класса значения $n_e(SII)$ достаточно правильно задают электронные плотности сильно возбужденных диффузных туманностей, так что вся оптическая информация об электронных плотностях основана на измерениях интенсивностей линий красного дублета серы. Существенно, что определенные по указанной методике электронные плотности не зависят от расстояния до туманности и межзвездного поглощения. Однако некоторые искажения в определении плотностей могут быть обусловлены тем, что линия $[SII]\lambda 6717 \text{ \AA}^0$ может бледниться линией неона $[NeI]\lambda 6717 \text{ \AA}^0$ атмосферного происхождения. Необходим контроль этого эффекта. Он осуществляется по линии $[NeI]\lambda 6678 \text{ \AA}^0$, интенсивность которой в два раза превышает интенсивность линии $[NeI]\lambda 6717 \text{ \AA}^0$.

Оценки электронной плотности в M42 [4,5] свидетельствуют о неоднородном распределении газа и о наличии в периферийных областях туманности компактных уплотнений с линейными размерами 0,03-0,05 пк (при оценке расстояния до туманности в 500 пк). Значения плотности в них в ряде случаев достигают 10^3 см^{-3} .

Компактные сгустки высокой электронной плотности появились, скорее всего, в результате прохождения ударных волн. Внешний вид волокнистых образований на западном краю туманности напоминают «стоящую волну». Конкретно, характерные для данной области вариации плотностей мы связываем с расширением начальной зоны Стремгрена. Именно расширение первоначальной зоны Стремгрена приводит к уменьше-

нию ее оптической толщи в лаймановском континууме. Поэтому вслед за ударной волной по сжатому нейтральному газу неизбежно распространяется ионизационный скачок. Поскольку прошедшая по нейтральному веществу ударная волна способна повышать давление в области НI до величины, равной давлению в области НII, то по обе стороны вторичного ионизационного скачка возникает область высокого давления. С гидродинамической точки зрения вторичный ионизационный фронт вызывает явления, соответствующие поверхностному взрыву (в движущейся среде), в обе стороны от которого распространяются возмущения. Расчет такого движения в приближении малости этих возмущений, показывает [6], что возмущения, распространяющиеся от ионизационного фронта в сторону от Трапеции — самой активной и яркой области в туманности Ориона — см. рис. 1, могут привести к повышению плотности вещества во внешних частях зоны НII. Именно этим можно объяснить процесс образования наблюданной периферийной структуры туманности.

Резюме поляризационных исследований. По многочисленным измерениям в M42 наблюдается повышенная линейная поляризация, характерная для отражательных туманностей. При этом оказывается:

1. Степень поляризации систематически увеличивается в длинноволновую часть спектра.

2. Радиально-симметричная ориентация преимущественных колебаний электрического вектора характерна как для континуума, так и для эмиссионных линий спектра.

3. Степень поляризации во всех направлениях к периферийным областям туманности возрастает в среднем до $\sim 10\text{-}15\%$.

По наблюдениям на 50 см телескопе АФИФ с помощью электрополяриметра с ЭОП УМ92 [7] на фоне сравнительно плавного хода $P(g)$ в западном направлении от Трапеции было отмечено резкое увеличение степени поляризации излучения в континууме. Значительно возрастает поляризация и в эмиссионных линиях ($P \gg 30\%$) на расстоянии $\sim 2,5\text{-}3$ пс от Трапеции. На водородное излучение в туманности Ориона, обусловленное непосредственно газовым облаком, накладывается то же самое излучение, но рассеянное и частично поляризованное пылью [8,9].

Линейная поляризация в области “SW-cavity” обнаружена со строго ориентированной плоскостью поляризации $\theta=140^\circ$ [7], и степенью поля-

ризации P до 13 %. Столь высокая поляризация могла быть обусловлена рассеянием излучения при прохождении через пыль, ориентированную под воздействием потока горячей плазмы, разогретой мощными звездными ветрами от Трапеции. Новейшие измерения мощного мягкого рентгена на периферии M42 [1] указывают на существование таких газово-плазменных потоков, в полном согласии с проведенными нами ранее поляризационными измерениями в тех же областях.

Влияние активной области на периферию и всю туманность представляется достаточно типичным явлением для диффузных туманностей. Так, в частности, на краю туманности NGC 2023, в области, где нами на основе поляризационных измерений сначала было выявлено отклонение от радиальной ориентации Е-векторов [17], в дальнейшем было обнаружено ИК-скопление. Не исключено влияние такого же механизма и в случае туманностей Омега [10-14] и NGC 2024 [15,16], где в области темного залива обнаружены скрытые поглощающими облаками ИК-скопления только что формирующихся звезд.

Наши комплексные [10-13,15] и ИК-измерения [14,16] показали, что затемненные в оптике периферийные области ряда туманностей являются в то же время характерными областями с различными стадиями звездообразования, вероятно, инициированного и ускоряемого такими же процессами типа ударных волн, что и в туманности Ориона ("SW-cavity"). Как выяснилось [1], эти процессы могут проявляться в виде мягкой X-тав эмиссии. Поскольку спектрально мягкий рентген смыкается с жестким ультрафиолетом, представляется целесообразным провести УФ-измерения областей начального звездообразования, тем более, что УФ может оказаться энергетически более предпочтительным.

Заключение. Наша Галактика (как и другие с активными областями звездообразования) может содержать, с одной стороны, многообразие сверхновых с их мощным рентгеновским излучением. С другой стороны, необходим X-Ray и UV-мониторинг структурообразующих плазменных потоков (как в "SW-cavity"), постоянно пополняемых под действием звездных ветров от множества различных орионоподобных областей звездообразования (типа «Трапеции»), дополнительно к указанным мощным, но редким вспышкам сверхновых.

Для получения исчерпывающих данных по спецификации и энергетике происходящих там

универсальных процессов желательны также квазисинхронные ИК-измерения тех же областей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gudel M., Kevin R., et all. /Million-Degree Plasma Pervading the Extended Orion Nebula. //ArXiV: astro-ph/0712.046.
2. Джакушева К.Г. // Труды АФИ АН КазССР. 1978, т.31, с.45.
3. Глушков Ю.И. и др. // АЦ АН СССР. 1983. №1301.
4. Джакушева К.Г. // АЦ АН СССР. 1984. №1320.
5. Джакушева К.Г. // Труды АФИ АН КазССР. 1987. Т.48. С.33.
6. Гершберг Р.Е. / Строение галактических туманностей и некоторые вопросы эволюции межзвездной среды. // Кандидатская диссертация. Москва. 1962.
7. Джакушева К.Г. Городецкий Д.И. // АЦ 1975. №869)
8. Рожковский Д.А., Джакушева К.Г.// Труды АФИ АН Каз ССР. 1972. Т.19.
9. Джакушева К.Г. // Труды АФИ АН КазССР. 1979. Т.34. С 14.
10. Глушков Ю.И., Джакушева К.Г., Карягина З.В. // АЦ. 1982. №1228.
11. Джакушева К.Г., Рспаев Ф.К., Андабаева Л.Э. // Известия МОН РК. 1998. Серия ф.-м. №4. С.118-122.
12. Джакушева К. Г. // Известия МОН РК. 2001. Серия ф.-м. №4. С.47-52.
13. Андабаева Л.Э. // Известия МОН РК. 2001. Серия ф.- м. №4. С.53-57.
14. Felli M., Stanga R. IR observations of starforming region in M17. // Astrophysics prepr. 1986. No. 27.
15. Джакушева К.Г. // АЦ АН России. 1971. № 660. С.2.
16. Grasdalen G.L. // Ap.J. 1974. V. 193. P. 373-383.
17. Джакушева К.Г., Матягин В.С. // Труды АФИ АН КазССР. 1973. Т.20. С. 69-77.

Резюме

M42 тумандық шетінін "SW cavity" активіті аймағынан жұмсақ X-сөule және қатыл ультракүлгін эмиссиялық сөулелер шығады; олар ФАФИ алынған спектрлік және поляриметриялық бақылау мәліметтеріне әсер етеді.

Summary

The original spectroscopic and polarimetric data for M42 obtained in Fesenkov Astrophysical Institute can be treated as a result of influence of the soft X-ray emission discovered in active region "SW cavity". The complex UV-observations of that and similar star-forming regions for WSO-UV programme are proposed.

Астрофизический институт
им В.Г. Фесенкова г. Алматы Поступила 14.06 апреля 2008 г.