

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra22.02.112>

УДК 524.527.7

PACS numbers: 98.38.Er,
97.10.FyВ. М. ШУЛЬГА, А. В. АНТЮФЕЕВ, С. Ю. ЗУБРИН,
В. В. МЫШЕНКО, В. И. ПОДЪЯЧИЙ,
А. М. КОРОЛЕВ, А. Н. ПАТОКАРадиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Мистецтв, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: shulga@rian.kharkov.ua

НАБЛЮДЕНИЕ НЕТИПИЧНЫХ МАЗЕРОВ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ RT-22 В 2004–2013 ГОДАХ

Предмет и цель работы: *Исследуются особенности излучения метанольных мазеров класса I на переходе $\delta_0 - 7_1 A^+$ (95 ГГц) в областях, ассоциируемых с областями формирования новых протозвезд, и в остатках сверхновых и переменность SiO ($J = 2 - 1$) мазера в R Cassiopeiae.*

Методы и методология: *Поиск метанольных мазеров класса I основывается на идее совпадения областей их излучения с областями излучения OH мазеров на переходе внутри нижнего уровня энергии на частоте 1720 МГц (переход $^2P_{3/2}$ $J = 3/2 - F = 2 - 1$).*

Результаты: *Обнаружены метанольные мазеры на переходе $\delta_0 - 7_1 A^+$ (95 ГГц) в остатках сверхновых IC 443 и Kes 79 и зарегистрированы особенности излучения метанольных мазеров в нескольких объектах, впервые показаны особенности переменности излучения мазера SiO на переходе $J = 2 - 1$ в R Cassiopeiae.*

Заключение: *Переменность метанольных и SiO мазеров является их общим свойством. На примере трех объектов показана возможность использования OH мазера на частоте 1720 МГц в качестве индикатора при поиске мазеров класса I на молекуле метанола. Особенно это важно при изучении мазерного излучения в остатках сверхновых, что подтверждается обнаружением метанольных мазеров на переходе $\delta_0 - 7_1 A^+$ (95 ГГц) в остатках сверхновых IC 443 и Kes 79. Особенности переменности спектров излучения в R Cassiopeiae свидетельствуют об образовании и исчезновении мазеров SiO на переходе $J = 2 - 1$.*

Ключевые слова: *мазерное излучение, остатки сверхновых, молекулярные облака, метанол, SiO*

1. Введение

Мазерное излучение рассматривается в современной астрофизике как индикатор процессов, происходящих на различных этапах формирования звезд. В настоящее время обнаружены мазеры на нескольких молекулах, среди них наиболее распространенными в межзвездной среде являются гидроксильные мазеры (OH мазеры), мазеры на парах воды (H_2O мазеры), метанольные мазеры (CH_3OH мазеры) и мазеры на молекулах окиси кремния (SiO мазеры). Первые три наблюдаются на ранних стадиях звездообразования, в то время как SiO мазеры, как правило, обнаруживаются в звездах, находящихся на конечных этапах звездной эволюции. В последние два десятилетия исследователи процессов звездообразования проявляют усиленный интерес к метанольным мазерам. В миллиметровом диапазоне зарегистрировано

излучение более 20 линий молекул метанола, находящихся в межзвездной среде. При этом возбуждение различных переходов между уровнями энергии может определяться двумя механизмами – радиационным и столкновительным. В соответствии с этим метанольные мазеры разделяются на два класса – класс II и класс I [1, 2]. Поиск и обнаружение метанольных мазеров класса II облегчается тем, что их сильное излучение наблюдается в сантиметровом диапазоне, а также тем, что существуют достаточно обширные исследования II областей, компактных инфракрасных образований или областей миллиметрового и субмиллиметрового излучения (см., например, работы [3–5]), которые также являются индикаторами звездообразования и в которых может иметь место радиационный механизм возбуждения. Сильные метанольные мазеры класса I наблюдаются в основном в миллиметровом диапазоне и до сих пор нет полного понимания, с какими астрофизическими объектами их можно ассоциировать. По-видимому, этим можно объяснить меньшее количество обзоров наблюдаемых

© В. М. Шульга, А. В. Антюфеев, С. Ю. Зубрин,
В. В. Мышенко, В. И. Подъячий, А. М. Королев,
А. Н. Патока, 2017

метанольных мазеров класса I как на одиночных радиотелескопах [6–10], так и на интерферометрах [11, 12]. Наверное, самый физически обоснованный поиск мазеров класса I был проведен в областях звездообразования с высокоскоростными биполярными потоками [10] и в инфракрасных облаках [8].

В наших исследованиях сделана попытка обратить внимание на некоторые общие свойства метанольных мазеров и OH мазеров. В работах [13, 14] было показано, что можно ожидать пространственного совпадения метанольных и OH мазеров из-за испарения газа из оболочки пыли, нагреваемой слабой ударной волной. В дальнейшем теоретическое моделирование мазерного возбуждения показало, что мазерное излучение на обеих молекулах может существовать одновременно при инфракрасном излучении от нагретой пыли [15]. На переходах внутри нижнего уровня энергии в некоторых объектах наблюдается мазер на частоте 1720 МГц (переход ${}^2\Pi_{3/2}$ $J = 3/2$ $F = 2 - 1$), в возбуждении которого столкновительные процессы играют существенную роль [16]. Поэтому с 2006 по 2013 гг. на радиотелескопе проводились наблюдения областей, в которых ранее было обнаружено излучение OH молекулы на частоте 1720 МГц. Выбор источников основывался на обширном обзоре по излучению молекулы OH [17], а также более поздних исследованиях [18]. Вместе с тем их перечень был расширен объектами, связанными с остатками сверхновых с потоками межзвездного вещества, которые могли способствовать образованию столкновительного мазерного излучения. В нескольких остатках сверхновых OH мазеры были обнаружены [19, 20]. К сожалению, нам не удалось провести систематические исследования больших выборок объектов по причине ограниченности времени наблюдений (наблюдения на РТ-22 ограничивались двумя-тремя неделями в году, поисковые наблюдения метанольных мазеров занимали не более 5 % наблюдательного времени). К сожалению, наблюдения на РТ-22 с 2014 г. стали для нас недоступными по независящим от нас причинам.

Что касается других известных миллиметровых мазеров, то в нашей работе приведены результаты наблюдений SiO мазера в направлении R Cassiopeiae. Этот объект использовался при

наблюдениях, как правило, для проверки точности наведения радиотелескопа. Но обнаруженные временные изменения миллиметрового спектра излучения молекулы SiO на переходе $J = 2 - 1$ оказались незамеченными другими исследователями в период наших наблюдений с 2006 по 2013 гг.

2. Метанольный мазер на переходе $8_0 - 7_1 A^+$ в направлении IRAS 05358+3543

IRAS 05358+3543 (известный также под именами G173.481+2.445, S231, S233IR) относится к выборке из 69 детально изучаемых в последнее десятилетие протозвездных объектов большой массы [21–24]. Находящийся на расстоянии около 1.8 кпк он имеет высокую болометрическую светимость, и происходящие в нем процессы формирования массивных звезд подтверждаются мазерным излучением [25–27] и наличием биполярных потоков [28, 29]. Мазерное OH излучение на переходах основного уровня ${}^2\Pi_{3/2}$ было обнаружено на частотах 1665 и 1667 МГц [18]. Переход на частоте 1720 МГц молекулы OH наблюдается в поглощении. Этот источник ассоциируется с метанольными мазерами как класса I, так и класса II. В нем наблюдается сильный мазер на частоте 6.7 ГГц [30]. Мазеры класса I обнаружены на частотах 44 ГГц [31] и 95 ГГц [32]. При наблюдениях в 1992 г. на частоте 95 ГГц было зарегистрировано характерное для мазера узкополосное излучение с интенсивностью около 50 Ян на лучевой скорости около -17 км/с [32]. Следующее наблюдение, проведенное в период с июня по сентябрь 2010 г., позволяет предположить, что мазер в этом источнике является переменным, при этом излучение происходит на двух лучевых скоростях (-16.05 и -18.84 км/с) со значительно меньшей интенсивностью (1.26 и 5.86 Ян) [10].

Наши наблюдения метанольного мазера были проведены на частоте 95.169463 ГГц также в 2010 г. (10–11 ноября). Полученные нами спектры мазерного излучения более близки к спектрам и параметрам излучения, наблюдавшимся в 1992 г., [32] и существенно отличаются от результатов наблюдений в июне-сентябре 2010 г. [10]. Из рис. 1 видно, что излучение состоит из двух компонентов – узкополосного и широкополосного. В табл. 1 приведены параметры излучения, полученные в

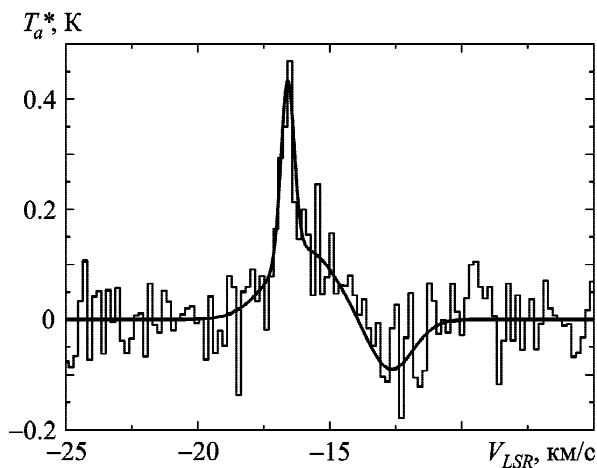


Рис. 1. Спектр излучения метанольного мазера, полученный нами в 2010 г.

наших и предшествующих наблюдениях. Узкополосное (мазерное) излучение изменяет свое положение почти на 1 км/с. Область скоростей, которую занимает широкополосное излучение, более характерна для теплового излучения, чем для мазерного. Наибольшее отличие состоит в обнаружении поглощения в относительно большой полосе, смещенной от положения пика мазерного излучения на спектре (рис. 1). Объяснением этого может быть сложная пространственная структура области излучения (о чем упоминалось в ряде статей, например, [23, 33]), когда на луче зрения находятся молекулярная область мазерного излучения и область в состоянии термодинамического равновесия. В табл. 1 приведены параметры линий излучения и поглощения, найденные из моделирования общего контура тремя гауссианами, показанного на рис. 1 черной сплошной линией.

3. Метанольные мазеры на переходе $8_0 - 7_1 A^+$ в остатках сверхновых IC 443 и Kes 79

Остатки сверхновых могут быть хорошими объектами для проверки роли столкновительных механизмов возбуждения в мазерном излучении. ОН мазер на частоте 1720 МГц рассматривается как индикатор взаимодействия ударной волны с молекулярными облаками и столкновительного механизма возбуждения молекул. В работе [34], по-видимому, впервые было отмечено, что в ряде остатков сверхновых наблюдается узкополосное излучение ОН (1720 МГц) и широкополосное поглощение на остальных переходах основного состояния молекулы ОН. В дальнейшем это было подтверждено детальными исследованиями мазеров в остатках сверхновых [35–37], в том числе и в интересующем нас IC 443 [38]. Более того, было обнаружено, что мазерное излучение на частоте 1720 МГц может быть пространственно протяженным [39]. Это может оказаться весьма важным при поиске мазеров в остатках сверхновых больших размеров.

К моменту начала наших исследований в 2004 г. не существовало систематических исследований метанольных мазеров в остатках сверхновых. Поэтому мы начали использовать известные области, в которых существует излучение ОН (1720 МГц) для поиска в остатках сверхновых мазерного излучения молекулы метанола. Информация о наблюдении нами в 2004 г. метанольного мазера (95 ГГц) класса I в остатке сверхновой Kes 79 [40, 41] вызвала определенный интерес. К сожалению, этот результат не был подтвержден наблюдениями на других телескопах, напри-

Таблица 1. Параметры наблюдаемых в направлении IRAS 05358+3543 метанольных мазеров на переходе $8_0 - 7_1 A^+$

Дата	Координаты	V_{LSR} , км/с	Интенсивность, T_a^*	Полоса излучения, км/с	Примечание	Литература
1992 г.	$\alpha = 05:35:51.3$ $\delta = 35:44:16$ (J1950)	-17	50 Ян	1.57	Мазер	[32]
июнь-сентябрь 2010 г.	$\alpha = 05:39:10.6$ $\delta = 35:45:19$ (J2000)	-16.05	2.18 Ян	1.26	Мазер?	[10]
		-18.84	1.84 Ян	5.58	Широкополосное излучение	
10–11 ноября 2010 г.	$\alpha = 05:39:13$ $\delta = 35:45:38.7$ (J2000)	-16.6	20 Ян		Мазер	Настоящая работа
		-16.0	6 Ян		Тепловое излучение	
		-12.7	-0.09 К		Поглощение	

мер в работе [42]. Вместе с тем позднее появились результаты наблюдений в остатках сверхновых метанольных мазеров класса I, но на других частотах [43, 44].

Метанольный мазер (95 ГГц) в остатке сверхновой IC 443. Источник 189.0+2.9, который ассоциируется с остатком сверхновой IC 443, был отобран из обзора [17]. В нем наблюдались поглощение молекулой OH на переходах ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=1-1$ (1665 МГц) и ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=2-2$ (1667 МГц) и интенсивное узкополосное излучение на частоте 1720 МГц (переход ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=2-1$). Этот источник был ассоциирован как мазерный, что подтвердилось изучением его поляризационных свойств [19]. В работе [38] было открыто существование в IC 443 протяженных областей с мазерным OH (1720 МГц) излучением и широкополосным поглощением на остальных трех переходах: ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=2-2$; ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=1-1$ и ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=1-2$.

Наблюдения были проведены в октябре 2010 г. На рис. 2 показан спектр излучения молекулы метанола на частоте 95.169516 ГГц. Слабая интенсивность сигнала потребовала 1.5 ч наблюдения источника. Параметры спектра определялись с использованием аппроксимации функцией Гаусса. Излучение с интенсивностью $T_a^* = 0.08$ К наблюдается на лучевой скорости $V_{LSR} = -6.6$ км/с в характерной для мазеров узкой полосе 0.5 км/с.

Метанольный мазер (95 ГГц) в остатке сверхновой Kes 79. Остаток сверхновой Kes 79 (G33.6+0.1)

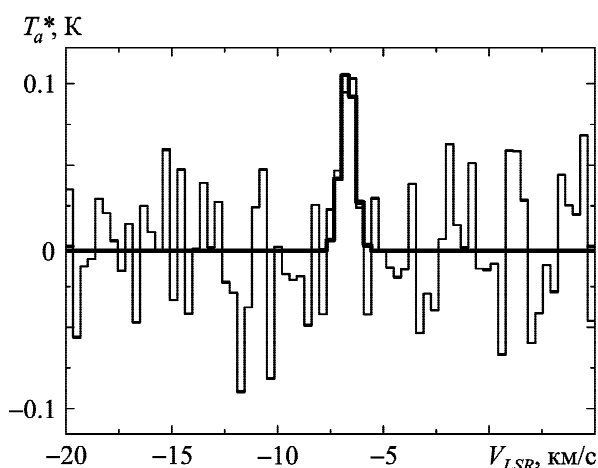


Рис. 2. Спектр излучения метанольного мазера в остатке сверхновой IC 443

расположен почти в плоскости Галактики на расстоянии от Солнца примерно 7.1 кпк [45]. В его центре находится пульсирующий с периодом 105 мс рентгеновский источник [46, 47], оставшийся после взрыва сверхновой.

Относительно небольшие угловые размеры Kes 79 (около 10 угловых минут) дают хорошую возможность для достаточно быстрого картографирования. Наблюдение пространственного распределения излучения молекул CO и HCO⁺ позволило предположить существование взаимодействия остатка с молекулярным облаком [48, 49]. В работе [40] были проведены наблюдения остатка сверхновой Kes 79 и детальное исследование этого взаимодействия в линии молекулы ¹³CO.

Слабое широкополосное поглощение молекулой OH на частоте 1667 МГц (переход ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=2-2$) было обнаружено в Kes 79 в интервале лучевых скоростей от 95 до 115 км/с [35], и впервые был сделан вывод о взаимодействии этого остатка сверхновой с молекулярными облаками по наблюдениям молекулы OH. Данные, приведенные в работе [17], также показывают существование как поглощения, так и излучения на различных переходах и разных интервалах лучевых скоростей в направлении ($l = 33.1$, $b = 0.0$). Сообщение о первом детектировании излучения молекулы OH на переходе ${}^2P_{3/2} J=3/2 F=2-1$ (1720 МГц) сделано в работе [50].

Первое детектирование метанольного мазера класса I на частоте 95.169516 ГГц (переход $8_0-7_1A^+$) было выполнено нами в 2004 г. Данные были опубликованы в работах [40, 41]. В дальнейшем была предпринята попытка временного мониторинга этого мазера. Мы зарегистрировали мазерное излучение последний раз в 2009 г. Все наблюдения проводились в направлении на точку с координатами $\alpha = 18:52:48.05$ и $\delta = 00:40:43.4$ (J2000). На рис. 3 показаны спектры мазерного излучения метанола на частоте 95 ГГц, полученные в 2004 г., 2006 г. и 2009 г. Первые два спектра взяты из работы [40]. Наши данные свидетельствуют о сильной переменности излучения. Параметры мазеров приведены в табл. 2. В дальнейших наблюдениях 2010–2013 гг. мазерное излучение метанола зарегистрировано не было. Мы предполагаем, что за три года произошло затухание мазера. По-видимому, этим

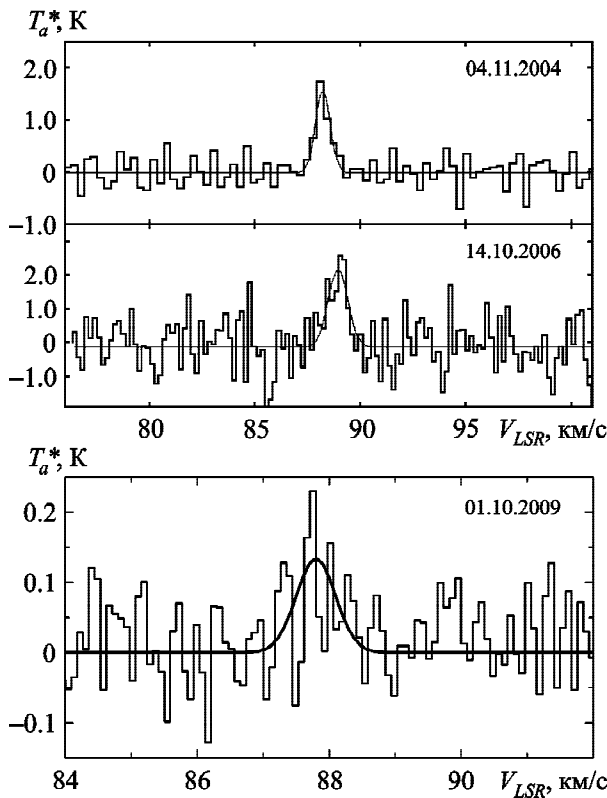


Рис. 3. Динамика изменений интенсивности метанольного мазера ($8_0 - 7_1 A^+$) с 2004 по 2010 гг.

Таблица 2. Параметры метанольных ($8_0 - 7_1 A^+$) мазеров в период с 2004 по 2010 гг.

Дата	T_a^* , К	V_{LSR} , км/с	Полоса излучения, км/с	Среднеквадр. отклонение шума, К
04.11.2004	1.5 (0.3)	88.2 (0.1)	0.83 (0.18)	0.24
14.10.2006	2.3 (0.5)	88.8 (0.1)	1.09 (0.28)	0.45
17.07.2007				0.2
05.08.2008				0.15
01.10.2009	0.08 (0.03)	87.9 (0.3)	0.8 (0.4)	0.07
12.10.2010				0.06
06.11.2011				0.08
06.11.2013– 10.11.2013				0.09

Примечание. В скобках приведена погрешность.

можно объяснить отрицательные результаты при попытках наблюдений этого мазера после 2009 г., предпринимавшихся другими исследователями [42], которые ориентировались на наши данные 2004–2006 гг., когда интенсивность излучения была очень большой.

4. Мазер на переходе $3_1 - 4_0 A^+$ (107.01 ГГц) в W3(OH)

Расположенная относительно близко (на расстоянии 2.4 кпк от Солнца [51]) массивная область звездообразования W3(OH) относится к хорошо изученным объектам. Она ассоциируется с ультракомпактной H II областью со звездой класса O7 и, на самом деле, состоит из двух объектов – W3(OH) и W3(H₂O). Расстояние между ними на небесной сфере составляет около 4 угловых секунд [52], вследствие чего они не разрешаются на небесной сфере в наблюдениях на радиотелескопе РТ-22 (ширина диаграммы направленности 48 угловых секунд на частоте 87.7 ГГц). Предполагается, что эти два объекта находятся на разных стадиях развития [53]. В области W3(OH) наблюдаются практически все метанольные мазеры класса II [53].

Наблюдения на переходе $3_1 - 4_0 A^+$ (107.01 ГГц) до нас проводились в работах [53–55]. Наблюдавшийся нами в 2006 г. спектр показан на рис. 4, а. Сравнение со спектром, приведенным на рис. 4, б,

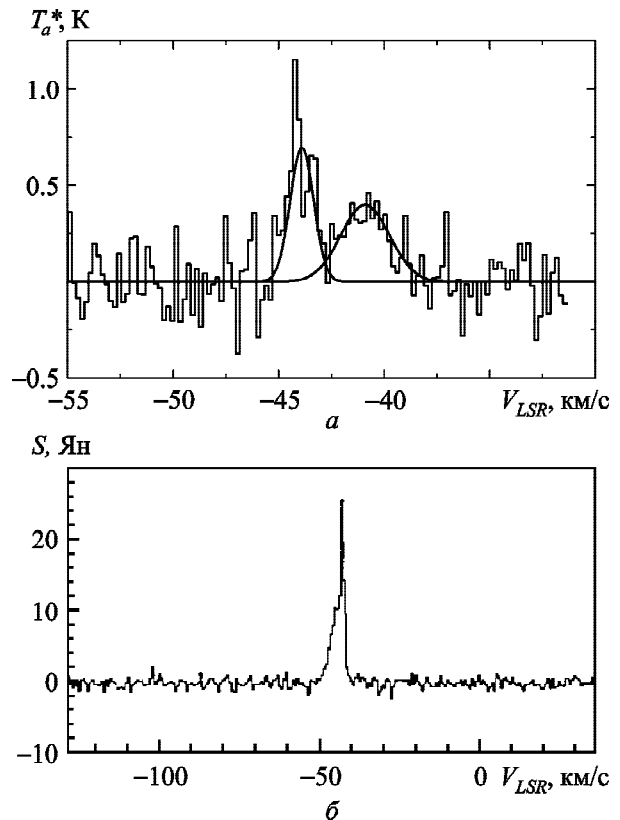


Рис. 4. Излучение метанола в W3(OH) на переходе $3_1 - 4_0 A^+$ в 2006 г. (РТ-22, Крым) (а) и в 1995 г. (РТ-20, Онсала) (б)

который наблюдался раньше на радиотелескопе с примерно такими же параметрами (PT-20, обсерватория Онсала, Швеция) [54], подтверждает переменность метанольных мазеров.

В спектрах, полученных в 2006 г., четко видны две линии излучения, одна из которых (43.5 км/с), по-видимому, мазерная. Вторая имеет большую ширину. Мы предполагаем, что это спектры излучения из двух областей – W3(OH) и W3(H₂O). Более широкий спектр, по-видимому, может относиться к более “теплому” источнику W3(H₂O).

5. SiO ($J = 2 - 1$, $\nu = 0$) мазер на частоте 86.2 ГГц в R Cassiopeiae

Молекулярные SiO мазеры на переходе $J = 2 - 1$, $\nu = 0$ (частота 86.2 ГГц) не относятся к постоянным объектам наших наблюдений. Они наблюдаются, как правило, не при рождении новых звезд, а вблизи звезд, которые прошли фазы активной термоядерной жизни (как, например, мириды). Тем не менее в наших наблюдениях они использовались для постоянного контроля принимаемой частоты и точности наведения/сопровождения

антенны радиотелескопа. В результате мы накопили информацию о годовых изменениях в спектрах излучения этих мазеров с 2006 по 2013 гг. Не претендуя на полноту (измерения проводились только один раз в году), полученные данные представляют интерес, поскольку в литературе отсутствуют данные постоянного мониторинга мазера на указанном переходе в R Cassiopeiae.

На рис. 5 показаны спектры SiO ($J = 2 - 1$, $\nu = 0$) мазера в 2006–2013 гг. Наблюдаемые во времени радикальные изменения указывают на возникновение новых и исчезновение ранее существовавших мазеров. При этом естественны изменения частот и интенсивностей мазерного излучения. Подтверждение этого мы нашли в работе [56]. Авторы имели уникальную возможность почти ежедневного мониторинга R Cassiopeiae на протяжении шести лет. Хотя эти наблюдения были сделаны на другом мазерном переходе на частоте 43.1 ГГц, они полностью подтверждают наше предположение о сильной переменности излучения SiO ($J = 2 - 1$, $\nu = 0$) мазера на частоте 86.2 ГГц. Более того, наблюдается корреляция в переменности обоих мазеров.

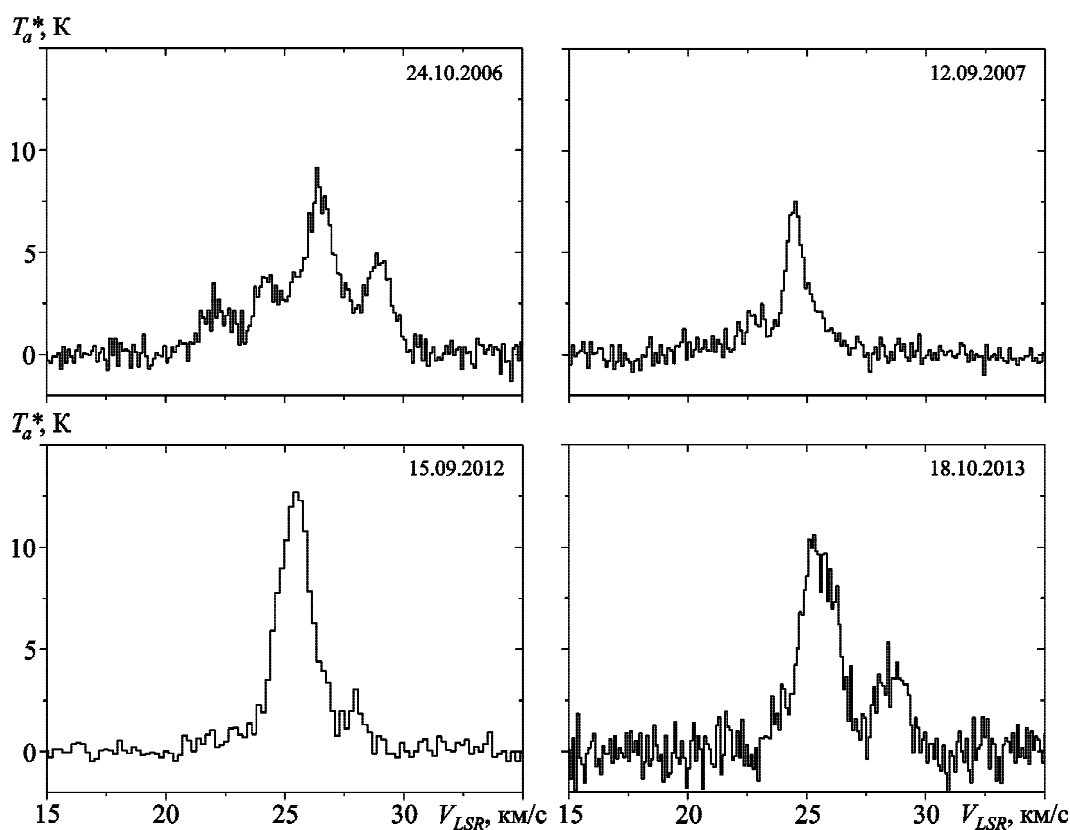


Рис. 5. Спектры SiO ($J = 2 - 1$, $\nu = 0$) мазера в 2006–2013 гг.

6. Выводы

В работе представлены особенности излучения нескольких мазеров, которые отличаются от наблюдавшихся ранее. Общим их свойством является переменность. Для трех объектов подтверждена идея о том, что общий (столкновительный) механизм возбуждения метанольных мазеров класса I и перехода внутри нижнего уровня энергии молекулы OH на частоте 1720 МГц (переход $^2\Pi_{3/2} J = 3/2 F = 2 - 1$) позволяет использовать наблюдения последнего как возможный индикатор при поиске мазеров на молекулах метанола. Особенно это важно при изучении мазерного излучения в остатках сверхновых, что подтверждается обнаружением метанольного мазера на переходе $8_0 - 7_1 A^+$ (95 ГГц) в остатке сверхновой IC 443.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Menten K.* Methanol Masers and Submillimeter Wavelength Water Masers in Star-Forming Regions // Proc. of the Atoms, ions and molecules: New results in spectral line astrophysics, ASP Conference Series. – San Francisco, USA. – 1991. – P. 119–136.
2. *Batrla W., Matthews H. E., Menten K. M., and Walmsley C. M.* Detection of Strong Methanol Masers Towards Galactic H II Regions // Nature. – 1987. – Vol. 326, No. 6108. – P. 49–51. DOI: 10.1038/326049a0
3. *Minier V., Ellingsen S. P., Norris R. P., and Booth R. S.* The Protostellar Mass Limit for 6.7 GHz Methanol Masers – I. A Low-Mass YSO Survey // Astron. Astrophys. – 2003. – Vol. 403, No. 3. – P. 1095–1100. DOI: 10.1051/0004-6361:20030465
4. *Pestalozzi M. R., Minier V., and Booth R. S.* A General Catalogue of 6.7-GHz Methanol Masers: I. Data // Astron. Astrophys. – 2005. – Vol. 432, No. 2. – P. 737–742. DOI: 10.1051/0004-6361:20035855
5. *Ellingsen S. P.* Methanol Masers: Reliable Tracers of the Early Stages of High-Mass Star Formation // Astrophys. J. – 2006. – Vol. 638, No. 1. – P. 241–261. DOI: 10.1086/498673
6. *Haschick A. D., Menten K. M., and Baan W. A.* Detection of Widespread Strong Methanol Masers at 44 GHz // Astrophys. J. – 1990. – Vol. 354. – P. 556–567. DOI: 10.1086/168715
7. *Slysh V. I., Kalenskii S. V., Val'ts I. E., and Otrupcek R.* The Parkes Survey of Methanol Masers at 44.07 GHz // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1994. – Vol. 268, Is. 2. – P. 464–474. DOI: 10.1093/mnras/268.2.464
8. *Bayandina O. S., Val'ts I. E., and Larionov G. M.* Class I Methanol Maser Emission in Infrared Clouds and the Third Version of the Astro Space Center MMI/SFR Catalog // Astron. Rep. – 2012. – Vol. 56, No. 7. – P. 553–563. DOI: 10.1134/S1063772912060029
9. *Ellingsen S. P.* The Relationship Between Class I and Class II Methanol Masers // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2005. – Vol. 359, Is. 4. – P. 1498–1516. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2005.09010.x
10. *Gan C.-G., Chen X., Shen Z.-Q., Xu Y., and Ju B.-G.* A Search for 95 GHz Class I Methanol Masers in Molecular Outflows // Astrophys. J. – 2013. – Vol. 763, No. 1. – id 2. DOI: 10.1088/0004-637X/763/1/2
11. *Kurtz S., Hofner P., and Álvarez C. V.* A Catalog of CH₃OH 7₀-6₁A⁺ Maser Sources in Massive Star-Forming Regions // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 2004. – Vol. 155, No. 1. – P. 149–165. DOI: 10.1086/423956
12. *Cyganowski C. J., Brogan C. L., Hunter T. R., and Churchwell E.* A Class I and Class II CH₃OH Maser Survey of Egos From the Glimpse Survey // Astrophys. J. – 2009. – Vol. 702. – P. 1615–1647. DOI: 10.1088/0004-637X/702/2/1615
13. *Hartquist T. W., Menten K. M., Lepp S., and Dalgarno A.* On the Spatial Coincidence of Hydroxyl and Methanol Masers // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1995. – Vol. 272, Is. 1. – P. 184–188. DOI: 10.1093/mnras/272.1.184
14. *Litovchenko I. D., Bayandina O. S., Alakoz A. V., Val'ts I. E., Larionov G. M., Mukha D. V., Nabatov A. S., Konovalenko A. A., Zakharenko V. V., Alekseev E. V., Nikolaenko V. S., Kulishenko V. F., and Odintsov S. A.* OH 1720-MHz Lines as Tracers of Bipolar Outflows in the Vicinity of Class I Methanol Masers // Astron. Rep. – 2012. – Vol. 56, No. 7. – P. 536–552. DOI: 10.1134/S1063772912060042
15. *Cragg D. M., Sobolev A. M., and Godfrey P. D.* Modelling Methanol and Hydroxyl Masers in Star-Forming Regions // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2002. – Vol. 331, No. 2. – P. 521–536. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2002.05226.x
16. *Elitzur M.* Inversion of the OH 1720-MHz Line // Astrophys. J. – 1976. – Vol. 203. – P. 124–131. DOI: 10.1086/154054
17. *Turner B. E.* A Survey of OH Near the Galactic Plane // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. – 1979. – Vol. 37. – P. 1–332.
18. *Edris K. A., Fuller G. A., and Cohen R. J.* A Survey of OH Masers Towards High Mass Protostellar Objects // Astron. Astrophys. – 2007. – Vol. 465, No. 3. – P. 865–877. DOI: 10.1051/0004-6361:20066280
19. *Claussen M. J., Frail D. A., Goss W. M., and Gaume R. A.* Polarization Observations of 1720 MHz OH Masers Toward the Three Supernova Remnants W28, W44, and IC 443 // Astrophys. J. – 1997. – Vol. 489, No. 1. – P. 143–159. DOI: 10.1086/304784
20. *Frail D. A., Goss W. M., Reynoso E. M., Giacani E. B., Green A. J., and Otrupcek R.* A Survey for OH (1720 MHz) Maser Emission Toward Supernova Remnants // Astron. J. – 1996. – Vol. 111. – P. 1651–1659. DOI: 10.1086/117904
21. *Sridharan T. K., Beuther H., Schilke P., Menten K. M. and Wyrowski F.* High-Mass Protostellar Candidates. I. The Sample and Initial Results // Astrophys. J. – 2002. – Vol. 566, No. 2. – P. 931–944. DOI: 10.1086/338332
22. *Beuther H., Schilke P., Menten K. M., Motte F., Sridharan T. K. and Wyrowski F.* High-Mass Protostellar Candidates. II. Density Structure From Dust Continuum and CS Emission // Astrophys. J. – 2002. – Vol. 566, No. 2. – P. 945–965. DOI: 10.1086/338334
23. *Williams S. J., Fuller G. A., and Sridharan T. K.* The Circumstellar Environments of High-Mass Protostellar Objects – I. Submillimetre Continuum Emission // Astron.

- Astrophys. – 2004. – Vol. 417, No. 1. – P. 115–133. DOI: 10.1051/0004-6361:20031733
24. Fuller G. A., Williams S. J., and Sridharan T. K. The Circumstellar Environment of High Mass Protostellar Objects – III. Evidence of Infall? // *Astron. Astrophys.* – 2005. – Vol. 442, No. 3. – P. 949–959. DOI: 10.1051/0004-6361:20042110
 25. Menten K. M. The Discovery of a New, Very Strong, and Widespread Interstellar Methanol Maser Line // *Astrophys. J.* – 1991. – Vol. 380. – P. L75–L78. DOI: 10.1086/186177
 26. Tofani G., Felli M., Taylor G. B., and Hunter T. R. Exploring the Engines of Molecular Outflows. Radio Continuum and H₂O Maser Observations // *Astron. Astrophys. Supp. Ser.* – 1995. – Vol. 112. – P. 299–346.
 27. Minier V. and Booth R. S. A Methanol Line Survey Toward High-Mass Star-Forming Regions // *Astron. Astrophys.* – 2002. – Vol. 387. – P. 179–186. DOI: 10.1051/0004-6361:20020290
 28. Snell R. L., Dickman R. L., and Huang Y.-L. Molecular Outflows Associated with a Flux-Limited Sample of Bright Far-Infrared Sources // *Astrophys. J.* – 1990. – Vol. 352. – P. 139–148. DOI: 10.1086/168521
 29. Beuther H., Schilke P., Gueth F., McCaughrean M., Andersen M., Sridharan T. K., and Menten K. M. IRAS 05358+3543: Multiple Outflows at the Earliest Stages of Massive Star Formation // *Astron. Astrophys.* – 2002. – Vol. 387, No. 3. – P. 931–943. DOI: 10.1051/0004-6361:20020319
 30. Szymczak M., Hrynek G., and Kus A. J. A Survey of the 6.7 GHz Methanol Maser Emission from IRAS Sources – I. Data // *Astron. Astrophys. Supp. Ser.* – 2000. – Vol. 143, No. 2. – P. 269–301. DOI: 10.1051/aas:2000334
 31. Bachiller R., Menten K. M., Gomez-Gonzalez J., and Barcia A. The 44 GHz Methanol Masers – Results of an Extensive Survey in the 7₀-6₁A⁺ Line // *Astron. Astrophys.* – 1990. – Vol. 240. – P. 116–122.
 32. Kalenskii S. V., Liljestroem T., Val'ts I. E., Vasil'kov V. I., Slysh V. I. and Urpo S. Observations of Methanol Masers at 95 GHz // *Astron. Astrophys. Supp. Ser.* – 1994. – Vol. 103. – P. 129–134.
 33. Minier V., Burton M. G., Hill T., Pestalozzi M. R., Purcell C. R., Garay G., Walsh A. J., and Longmore S. Star-Forming Protoclusters Associated with Methanol Masers // *Astron. Astrophys.* – 2005. – Vol. 429, No. 3. – P. 945–960. DOI: 10.1051/0004-6361:20041137
 34. Goss W. M. and Robinson B. J. OH Emission at 1720 MHz in the Direction of Non-Thermal Galactic Sources // *Astrophys. Lett.* – 1968. – Vol. 2. – P. 81–86.
 35. Green D. A. Sensitive OH Observations Towards 16 Supernova Remnants // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1989. – Vol. 238, Is. 3. – P. 737–751. DOI: 10.1093/mnras/238.3.737
 36. Yusef-Zadeh F., Wardle M., Rho J., and Sakano M. OH (1720 MHz) Masers and Mixed-Morphology Supernova Remnants // *Astrophys. J.* – 2003. – Vol. 585, No. 1. – P. 319–323. DOI: 10.1086/345932
 37. Wardle M., Yusef-Zadeh F., and Geballe T. R. A Model for OH (1720 MHz) Masers Associated with Supernova Remnants, and an Application to Sgr A East // *ArXiv Astrophysics e-prints*. [Электронный ресурс] 1998. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/9804146>
 38. Hewitt J. W., Yusef-Zadeh F., Wardle M., Roberts D. A., and Kassim N. E. Green Bank Telescope Observations of IC 443: the Nature of OH (1720 MHz) Masers and OH Absorption // *Astrophys. J.* – 2006. – Vol. 652, No. 2. – P. 1288–1296. DOI: 10.1086/508331
 39. Hewitt J. W., Yusef-Zadeh F., and Wardle M. A Survey of Hydroxyl Toward Supernova Remnants: Evidence For Extended 1720 MHz Maser Emission // *Astrophys. J.* – 2008. – Vol. 683, No. 1. – P. 189–206. DOI: 10.1086/588652
 40. Shulga V. M., Zubrin S. Y., and Myshenko V. V. Observation of ¹³CO and Methanol Line Emission from Supernova Remnant Kes 79 // *Radio Phys. Radio Astron.* – 2012. – Vol. 3, Is. 1. – P. 19–26. DOI: 10.1615/RadioPhysicsRadioAstronomy.v3.i1.30
 41. Zubrin S. Y. and Shulga V. M. The 95 GHz Methanol Maser Towards the Supernova Remnant Kes 79 // 15th Young Scientists Conference Proceedings. – Kyiv, Ukraine: Taras Shevchenko National University. – 2008. – P. 41–43.
 42. Frail D. A. Supernova Remnant Shock - Molecular Cloud Interactions. Masers as Tracers of Hadronic Particle Acceleration // *Mem. S. A. It.* – 2011. – Vol. 82. – P. 703–708.
 43. Pihlström Y. M., Sjouwerman L. O., Frail D. A., Clausen M. J., Mesler R. A., and Mcewen B. C. Detection of Class I Methanol (CH₃OH) Maser Candidates in Supernova Remnants // *Astron. J.* – 2014. – Vol. 147, No. 4. – P. 73–81. DOI: 10.1088/0004-6256/147/4/73
 44. McEwen B. C., Pihlström Y. M., and Sjouwerman L. O. Class I Methanol (CH₃OH) Maser Conditions Near Supernova Remnants // *Astrophys. J.* – 2014. – Vol. 793, No. 2. – id. 133. DOI: 10.1088/0004-637X/793/2/133
 45. Case G. L. and Bhattacharya D. A New Σ-D Relation and its Application to the Galactic Supernova Remnant Distribution // *Astrophys. J.* – 1998. – Vol. 504, No. 2. – P. 761–772. DOI: 10.1086/306089
 46. Seward F. D., Slane P. O., Smith R. K., and Sun M. A Compact Central Object in the Supernova Remnant Kesteven 79 // *Astrophys. J.* – 2003. – Vol. 584, No. 1. – P. 414–417. DOI: 10.1086/345600
 47. Gotthelf E. V., Halpern J. P., and Seward F. D. Discovery of a 105 ms X-Ray Pulsar in Kesteven 79: on the Nature of Compact Central Objects in Supernova Remnants // *Astrophys. J.* – 2005. – Vol. 627, No. 1. – P. 390–396. DOI: 10.1086/430300
 48. Scoville N. Z., Yun M. S., Clemens D. P., Sanders D. B. and Waller W. H. Molecular Clouds and Cloud Cores in the Inner Galaxy // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 1987. – Vol. 63. – P. 821–915. DOI: 10.1086/191185
 49. Green D. A. and Dewdney P. E. Shocked Molecular Material Associated with the Supernova Remnant G33.6+0.1? // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1992. – Vol. 254, Is. 4. – P. 686–692. DOI: 10.1093/mnras/254.4.686
 50. Green A. J., Frail D. A., Goss W. M., and Otrupcek R. Continuation of a Survey of OH (1720 MHz) Maser Emission Towards Supernova Remnants // *Astron. J.* – 1997. – Vol. 114. – P. 2058–2067. DOI: 10.1086/118626
 51. Hachisuka K., Brunthaler A., Menten K. M., Reid M. J., Imai H., Hagiwara Y., Miyoshi M., Horiuchi S., and Sasao T. Water Maser Motions in W3(OH) and a Determination of Its Distance // *Astrophys. J.* – 2006. – Vol. 645. – P. 337–344. DOI: 10.1086/502962

52. Qin S.-L., Schilke P., Wu J., Liu T., Wu Y., Sánchez-Monge Á., and Liu Y. SMA Observations of the W3(OH) Complex: Dynamical Differentiation Between W3(H₂O) and W3(OH) // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2016. – Vol. 456, Is. 3. – P. 2681–2691. DOI: 10.1093/mnras/stv2801
53. Sutton E. C., Sobolev A. M., Ellingsen S. P., Cragg D. M., Mehringer D. M., Ostrovskii A. B., and Godfrey P. D. New Class II Methanol Masers in W3(OH) // *Astrophys. J.* – 2001. – Vol. 554. – P. 173–189. DOI: 10.1086/321349
54. Val'ts I. E., Dzura A. M., Kalenskii S. V., Slysh V. I., Booth R. S. and Winnberg A. The Discovery of Methanol Masers at 107 GHz // *Astron. Astrophys.* – 1995. – Vol. 294. – P. 825–830.
55. Slysh V. I., Val'ts I. E., Kalenskii S. V., and Larionov G. M. Class II Methanol Masers - Planets Around an O-Star // *Astron. Rep.* – 1999. – Vol. 43. – P. 657–662.
56. McIntosh G. C. and Patriat R. The Lifetime of R Cassiopeia's SiO Maser Features // *Publ. Astron. Soc. Pac.* – 2010. – Vol. 122, No. 896. – P. 1187–1194. DOI: 10.1086/656420

REFERENCES

1. MENTEN, K., 1991. Methanol Masers and Submillimeter Wavelength Water Masers in Star-Forming Regions. In: *Atoms, Ions and Molecules: New Results in Spectral Line Astrophysics. ASP Conference Series*. vol. 16, pp. 119–136
2. BATRLA, W., MATTHEWS, H. E., MENTEN, K. M. and WALMSLEY, C. M., 1987. Detection of Strong Methanol Masers Towards Galactic H II Regions. *Nature*. vol. 326, no. 6108, pp. 49–51. DOI: 10.1038/326049a0
3. MINIER, V., ELLINGSEN, S. P., NORRIS, R. P. and BOOTH, R. S., 2003. The Protostellar Mass Limit for 6.7 GHz Methanol Masers - I. A low-mass YSO survey. *Astron. Astrophys.* vol. 403, no. 4, pp. 1095–1100. DOI: 10.1051/0004-6361:20030465
4. PESTALOZZI, M. R., MINIER, V. and BOOTH, R. S., 2005. A General Catalogue of 6.7-GHz Methanol Masers: I. Data. *Astron. Astrophys.* vol. 432, no. 2, pp. 737–742. DOI: 10.1051/0004-6361:20035855
5. ELLINGSEN, S. P., 2006. Methanol Masers: Reliable Tracers of the Early Stages of High-Mass Star Formation. *Astrophys. J.* vol. 638, no. 1, pp. 241–261. DOI: 10.1086/498673
6. HASCHICK, A. D., MENTEN, K. M. and BAAN, W. A., 1990. Detection of Widespread Strong Methanol Masers at 44 GHz. *Astrophys. J.* vol. 354, pp. 556–567. DOI: 10.1086/168715
7. SLYSH, V. I., KALENSKII, S. V., VAL'TTS, I. E. and OTRUPCEK, R., 1994. The Parkes Survey of Methanol Masers at 44.07 GHz. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* vol. 268, is. 2, pp. 464–474. DOI: 10.1093/mnras/268.2.464
8. BAYANDINA, O. S., VAL'TTS, I. E. and LARIONOV, G. M., 2012. Class I Methanol Maser Emission in Infrared Clouds and the Third Version of the Astro Space Center MMI/SFR Catalog. *Astron. Reps.* vol. 56, no. 7, pp. 553–563. DOI: 10.1134/S1063772912060029
9. ELLINGSEN, S. P., 2005. The Relationship Between Class I and Class II Methanol Masers. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 359, is. 4, pp. 1498–1516. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2005.09010.x
10. GAN, C.-G., CHEN, X., SHEN, Z.-Q., XU, Y. and JU, B.-G., 2013. A Search for 95 GHz Class I Methanol Masers in Molecular Outflows. *Astrophys. J.* vol. 763, no. 1, id 2. DOI: 10.1088/0004-637X/763/1/2
11. KURTZ, S., HOFNER, P. and ÁLVAREZ, C. V., 2004. A Catalog of CH₃OH 7₀–6₁ A⁺ Maser Sources in Massive Star-forming Regions. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* vol. 155, no. 1, pp. 149–165. DOI: 10.1086/423956
12. CYGANOWSKI, C. J., BROGAN, C. L., HUNTER, T. R. and CHURCHWELL, E., 2009. A Class I and Class II CH₃OH Maser Survey of EGOs from the GLIMPSE Survey. *Astrophys. J.* vol. 702, pp. 1615–1647. DOI: 10.1088/0004-637X/702/2/1615
13. HARTQUIST, T. W., MENTEN, K. M., LEPP, S. and DALGARNO, A., 1995. On the Spatial Coincidence of Hydroxyl and Methanol Masers. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 272, is. 1, pp. 184–188. DOI: 10.1093/mnras/272.1.184
14. LITOVCHENKO, I. D., BAYANDINA, O. S., ALAKOZ, A. V., VAL'TSS, I. E., LARIONOV, G. M., MUKHA, D. V., NABATOV, A. S., KONOVALENKO, A. A., ZAKHARENKO, V. V., ALEKSEEV, E. V., NIKOLAENKO, V. S., KULISHENKO, V. F. and ODINTSOV, S. A., 2012. OH 1720-MHz Lines as Tracers of Bipolar Outflows in the Vicinity of Class I Methanol Masers. *Astron. Rep.* vol. 56, no. 7, pp. 536–552. DOI: 10.1134/S1063772912060042
15. CRAGG, D. M., SOBOLEV, A. M. and GODFREY, P. D., 2002. Modeling Methanol and Hydroxyl Masers in Star-forming Regions. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 331, is. 2, pp. 521–536. DOI: 10.1046/j.1365-8711.2002.05226.x
16. ELITZUR, M., 1976. Inversion of the OH 1720-MHz Line. *Astrophys. J.* vol. 203, pp. 124–131. DOI: 10.1086/154054
17. TURNER, B. E., 1979. A Survey of OH Near the Galactic Plane. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* vol. 37, pp. 1–332.
18. EDRIS, K. A., FULLER, G. A. and COHEN, R. J., 2007. A Survey of OH Masers Towards High Mass Protostellar Objects. *Astron. Astrophys.* vol. 465, no. 3, pp. 865–877. DOI: 10.1051/0004-6361:20066280
19. CLAUSSEN, M. J., FRAIL, D. A., GOSS, W. M. and GAUME, R. A., 1997. Polarization Observations of 1720 MHz OH Masers Toward the Three Supernova Remnants W28, W44, and IC 443. *Astrophys. J.* vol. 489, no. 1, pp. 143–159. DOI: 10.1086/304784
20. FRAIL, D. A., GOSS, W. M., REYNOSO, E. M., GIACANI, E. B., GREEN, A. J. and OTRUPCEK, R., 1996. A Survey for OH (1720 MHz) Maser Emission Toward Supernova Remnants. *Astron. J.* vol. 111, pp. 1651–1659. DOI: 10.1086/117904
21. SRIDHARAN, T. K., BEUTHER, H., SCHILKE, P., MENTEN, K. M. and WYROWSKI, F., 2002. High-Mass Protostellar Candidates. I. The Sample and Initial Results. *Astrophys. J.* vol. 566, no. 2, pp. 931–944. DOI: 10.1086/338332
22. BEUTHER, H., SCHILKE, P., MENTEN, K. M., MOTTE, F., SRIDHARAN, T. K. and WYROWSKI, F., 2002. High-Mass Protostellar Candidates. II. Density Structure from Dust Continuum and CS Emission. *Astrophys. J.* vol. 566, no. 2, pp. 945–965. DOI: 10.1086/338334
23. WILLIAMS, S. J., FULLER, G. A. and SRIDHARAN, T. K., 2004. The Circumstellar Environments of High-Mass Protostellar Objects – I. Submillimetre Continuum Emission.

- Astron. Astrophys.* vol. 417, no. 1, pp. 115–133. DOI: 10.1051/0004-6361:20031733
24. FULLER, G. A., WILLIAMS, S. J. and SRIDHARAN, T. K., 2005. The Circumstellar Environment of High-Mass Protostellar Objects - III. Evidence of Infall? *Astron. Astrophys.* vol. 442, no. 3, pp. 949–959. DOI: 10.1051/0004-6361:20042110
 25. MENTEN, K. M., 1991. The Discovery of a New, Very Strong, and Widespread Interstellar Methanol Maser Line. *Astrophys. J.* vol. 380, pp. L75–L78. DOI: 10.1086/186177
 26. TOFANI, G., FELLI, M., TAYLOR, G. B. and HUNTER, T. R., 1995. Exploring the Engines of Molecular Outflows. Radio Continuum and H₂O Maser Observations. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* vol. 112, pp. 299–346.
 27. MINIER, V. and BOOTH, R. S., 2002. A Methanol Line Survey Toward High-Mass Star-Forming Regions. *Astron. Astrophys.* vol. 387, pp. 179–186. DOI: 10.1051/0004-6361:20020290
 28. SNELL, R. L., DICKMAN, R. L. and HUANG, Y.-L., 1990. Molecular Outflows Associated with a Flux-Limited Sample of Bright Far-Infrared Sources. *Astrophys. J.* vol. 352, pp. 139–148. DOI: 10.1086/168521
 29. BEUTHER, H., SCHILKE, P., GUETH, F., MCCAUGHREAN, M., ANDERSEN, M., SRIDHARAN, T. K. and MENTEN, K. M., 2002. IRAS 05358+3543: Multiple Outflows at the Earliest Stages of Massive Star Formation. *Astron. Astrophys.* vol. 387, no. 3, pp. 931–943. DOI: 10.1051/0004-6361:20020319
 30. SZYMCZAK, M., HRYNEK, G. and KUS, A. J., 2000. A Survey of the 6.7 GHz Methanol Maser Emission from IRAS sources – I. Data. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* vol. 143, no. 2, pp. 269–301. DOI: 10.1051/aas:2000334
 31. BACHILLER, R., MENTEN, K. M., GOMEZ-GONZALEZ, J. and BARCIA, A., 1990. The 44 GHz Methanol Masers – Results of an Extensive Survey in the 7₀–6₁A⁺ Line. *Astron. Astrophys.* vol. 240, pp. 116–122.
 32. KALENSKII, S. V., LILJESTROEM, T., VAL'TTS, I. E., VASIL'KOV, V. I., SLYSH, V. I. and URPO, S., 1994. Observations of Methanol Masers at 95 GHz. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* vol. 103, pp. 129–134.
 33. MINIER, V., BURTON, M. G., HILL, T., PESTALOZZI, M. R., PURCELL, C. R., GARAY, G., WALSH, A. J. and LONGMORE, S., 2005. Star-Forming Protoclusters Associated with Methanol Masers. *Astron. Astrophys.* vol. 429, no. 3, pp. 945–960. DOI: 10.1051/0004-6361:20041137
 34. GOSS, W. M. and ROBINSON, B. J., 1968. OH Emission at 1720 MHz in the Direction of Non-Thermal Galactic Sources. *Astrophys. Lett.* vol. 2, pp. 81–86.
 35. GREEN, D. A., 1989. Sensitive OH Observations Towards 16 Supernova Remnants. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 238, is. 3, pp. 737–751. DOI: 10.1093/mnras/238.3.737
 36. YUSEF-ZADEH, F., WARDLE, M., RHO, J. and SAKANO, M., 2003. OH (1720 MHz) Masers and Mixed-Morphology Supernova Remnants. *Astrophys. J.* vol. 585, no. 1, pp. 319–323. DOI: 10.1086/345932
 37. WARDLE, M., YUSEF-ZADEH, F. and GEBALLE, T. R., 1998. A Model for OH (1720 MHz) Masers Associated with Supernova Remnants, and an Application to Sgr A East. *ArXiv Astrophysics e-prints*. [online]. Available from: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/9804146>
 38. HEWITT, J. W., YUSEF-ZADEH, F., WARDLE, M., ROBERTS, D. A. and KASSIM, N. E., 2006. Green Bank Telescope Observations of IC 443: The Nature of OH (1720 MHz) Masers and OH Absorption. *Astrophys. J.* vol. 652, no. 2, pp. 1288–1296. DOI: 10.1086/508331
 39. HEWITT, J. W., YUSEF-ZADEH, F. and WARDLE, M., 2008. A Survey of Hydroxyl Toward Supernova Remnants: Evidence for Extended 1720 MHz Maser Emission. *Astrophys. J.* vol. 683, no. 1, pp. 189–206. DOI: 10.1086/588652
 40. SHULGA, V. M., ZUBRIN, S. Y. and MYSHENKO, V. V., 2012. Observation of ¹³CO and Methanol Line Emission from Supernova Remnant Kes 79. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 3, is. 1, pp. 19–26. DOI: 10.1615/RadioPhysicsRadioAstronomy.v3.i1.30
 41. ZUBRIN, S. Y. and SHULGA, V. M., 2008. The 95 GHz Methanol Maser towards the Supernova Remnant Kes 79. In: *15th Young Scientists Conference Proceedings*. Kyiv, Ukraine: Taras Shevchenko National University, pp. 41–43.
 42. FRAIL, D. A., 2011. Supernova Remnant Shock – Molecular Cloud Interactions. Masers as Tracers of Hadronic Particle Acceleration. *Mem. S. A. It.* vol. 82, pp. 703–708.
 43. PIHLSTRÖM, Y. M., SJOUWERMAN, L. O., FRAIL, D. A., CLAUSSEN, M. J., MESLER, R. A. and MCEWEN, B. C., 2014. Detection of Class I Methanol (CH₃OH) Maser Candidates in Supernova Remnants. *Astron. J.* vol. 147, no. 4, pp. 73–81. DOI: 10.1088/0004-6256/147/4/73
 44. MCEWEN, B. C., PIHLSTRÖM, Y. M. and SJOUWERMAN, L. O., 2014. Class I Methanol (CH₃OH) Maser Conditions near Supernova Remnants. *Astrophys. J.* vol. 793, no. 2, id. 133. DOI: 10.1088/0004-637X/793/2/133
 45. CASE, G. L. and BHATTACHARYA, D., 1998. A New Σ -D Relation and Its Application to the Galactic Supernova Remnant Distribution. *Astrophys. J.* vol. 504, no. 2, pp. 761–772. DOI: 10.1086/306089
 46. SEWARD, F. D., SLANE, P. O., SMITH, R. K. and SUN, M., 2003. A Compact Central Object in the Supernova Remnant Kesteven 79. *Astrophys. J.* vol. 584, no. 1, pp. 414–417. DOI: 10.1086/345600
 47. GOTTHELF, E. V., HALPERN, J. P. and SEWARD, F. D., 2005. Discovery of a 105 ms X-Ray Pulsar in Kesteven 79: On the Nature of Compact Central Objects in Supernova Remnants. *Astrophys. J.* vol. 627, no. 1, pp. 390–396. DOI: 10.1086/430300
 48. SCOVILLE, N. Z., YUN, M. S., CLEMENS, D. P., SANDERS, D. B. and WALLER, W. H., 1987. Molecular Clouds and Cloud Cores in the Inner Galaxy. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* vol. 63, pp. 821–915. DOI: 10.1086/191185
 49. GREEN, D. A. and DEWDNEY, P. E., 1992. Shocked Molecular Material Associated with the Supernova Remnant G33.6+0.1? *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 254, is. 4, pp. 686–692. DOI: 10.1093/mnras/254.4.686
 50. GREEN, A. J., FRAIL, D. A., GOSS, W. M. and OTRUPCEK, R., 1997. Continuation of a Survey of OH (1720 MHz) Maser Emission Towards Supernova Remnants. *Astron. J.* vol. 114, pp. 2058–2067. DOI: 10.1086/118626
 51. HACHISUKA, K., BRUNTHALER, A., MENTEN, K. M., REID, M. J., IMAI, H., HAGIWARA, Y., MIYOSHI, M., HORIUCHI, S. and SASAO, T., 2006. Water Maser Motions in W3(OH) and a Determination of Its Distance. *Astrophys. J.* vol. 645, pp. 337–344. DOI: 10.1086/502962

52. QIN, S.-L., SCHILKE, P., WU, J., LIU, T., WU, Y., SÁNCHEZ-MONGE, Á. and LIU, Y., 2016. SMA Observations of the W3(OH) Complex: Dynamical Differentiation Between W3(H₂O) and W3(OH). *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 456, is. 3, pp. 2681–2691. DOI: 10.1093/mnras/stv2801
53. SUTTON, E. C., SOBOLEV, A. M., ELLINGSEN, S. P., CRAGG, D. M., MEHRINGER, D. M., OSTROVSKII, A. B. and GODFREY, P. D., 2001. New Class II Methanol Masers in W3(OH). *Astrophys. J.* vol. 554, pp. 173–189. DOI: 10.1086/321349
54. VAL'TTS, I. E., DZURA, A. M., KALENSKII, S. V., SLYSH, V. I., BOOTH, R. S. and WINNBERG, A., 1995. The Discovery of Methanol Masers at 107 GHz. *Astron. Astrophys.* vol. 294, pp. 825–830.
55. SLYSH, V. I., VAL'TTS, I. E., KALENSKII, S. V. and LARIONOV, G. M., 1999. Class II Methanol Masers – Planets Around an O-Star. *Astron. Rep.* vol. 43, pp. 657–662.
56. MCINTOSH, G. C. and PATRIAT, R., 2010. The Lifetime of R Cassiopeia's SiO Maser Features. *Publ. Astron. Soc. Pac.* vol. 122, no. 896, pp. 1187–1194. DOI: 10.1086/656420

V. M. Shulga, O. V. Antyufeyev, S. Y. Zubrin, V. V. Myshenko, V. I. Piddyachiy, A. M. Korolev, and O. M. Patoka

Institute of Radio Astronomy,
National Academy of Sciences of Ukraine,
4, Mystetstv St., Kharkiv, 61002, Ukraine

OBSERVATIONS OF NON TYPICAL MASERS AT THE RT-22 RADIO TELESCOPE IN 2004–2013

Purpose: Some peculiarities of emission of Class I methanol masers on the $8_0 - 7_1 A^+$ transition at 95 GHz in sources closely associated with protostar-forming regions and in supernova remnants are studied. Here belongs the investigation of SiO ($J = 2 - 1$) maser variability in R Cassiopeiae, too.

Design/methodology/approach: Search for Class I methanol masers is based on the idea of coincidence of regions of their emission with sources of OH masing transition in the bottom level of energy at frequency of 1720 MHz ($^2\Pi_{3/2}$ $J = 3/2$ $F = 2 - 1$).

Findings: Two methanol masers on transition $8_0 - 7_1 A^+$ (95 GHz) in the supernova remnants IC 443 and Kes 79 are detected. Variabilities of SiO maser emission on transition $J = 2 - 1$ in R Cassiopeiae are shown for the first time.

Conclusions: Variability of methanol and SiO masers is their general feature. On the example of three objects, the possibility of using the 1720 MHz OH maser as an indicator in the search for Class I methanol masers is shown. Especially it is important

in the study of methanol maser emission in supernova remnants that has been proved to be true by detection of methanol masers on transition $8_0 - 7_1 A^+$ (95 GHz) in IC 443 and Kes 79. Features of spectra variability of emission in R Cassiopeiae testify to formation and disappearance of SiO ($J = 2 - 1$) masers.

Key words: maser radiation, supernova remnants, molecular clouds, methanol, SiO

V. M. Шульга, О. В. Антюфеев, С. Ю. Зубрін,
В. В. Мищенко, В. І. Піддячий,
О. М. Корольов, О. М. Патока

Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Мистецтв, 4, м. Харків, 61002, Україна

СПОСТЕРЕЖЕННЯ НЕТИПОВИХ МАЗЕРІВ НА РАДІОТЕЛЕСКОПІ РТ-22 У 2004–2013 РОКАХ

Предмет і мета роботи: Досліджуються особливості випромінювання метанольних мазерів класу I на переході $8_0 - 7_1 A^+$ (95 ГГц) у областях, асоційованих з областями формування нових протозірок, і в залишках наднових та змінність SiO ($J = 2 - 1$) мазера в R Cassiopeiae.

Методи і методологія: Пошук метанольних мазерів класу I ґрунтується на ідеї співпадіння областей їх випромінювання з областями випромінювання OH мазерів на переході всередині нижнього рівня енергії на частоті 1720 МГц (перехід $^2\Pi_{3/2}$ $J = 3/2$ $F = 2 - 1$).

Результати: Виявлено метанольні мазери на переході $8_0 - 7_1 A^+$ (95 ГГц) у залишках наднових IC 443 та Kes 79 і зареєстровано особливості випромінювання метанольних мазерів у декількох об'єктах, вперше показано особливості змінності випромінювання мазера SiO на переході $J = 2 - 1$ в R Cassiopeiae.

Висновки: Змінність метанольних та SiO мазерів є їхньою спільною властивістю. На прикладі трьох об'єктів показано можливість використання OH мазера на частоті 1720 МГц у якості індикатора при пошуку мазерів класу I на молекулі метанолу. Особливо це важливо у вивченні мазерного випромінювання в залишках наднових, що підтверджується виявленням метанольних мазерів на переході $8_0 - 7_1 A^+$ (95 ГГц) в залишках наднових IC 443 та Kes 79. Особливості змінності спектрів випромінювання в R Cassiopeiae свідчать про утворення і зникнення мазерів SiO на переході $J = 2 - 1$.

Ключові слова: мазерне випромінювання, залишки наднових, молекулярні хмари, метанол, SiO

Стаття постуила в редакцію 10.03.2017