

УДК 524.3–77

ВСПЫШКА МАЗЕРА ОН В ТУМАННОСТИ W3

© 2016 И. В. Госачинский^{1*}, С. А. Гренков², А. В. Ипатов², И. А. Рахимов²

¹Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН,
Санкт-Петербург, 196140, Россия

²Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, 191187 Россия

Поступила в редакцию 4 марта 2016 года; принята в печать 28 мая 2016 года

Представлены результаты трехлетних наблюдений мазеров ОН на частоте 1665 МГц в источнике W3 (ОН), проведенных на 32-м антенне обсерватории Светлое. Обнаружено, что наиболее активной в период с декабря 2011 г. по март 2012 г. была область излучения на лучевой скорости -46.2 км с^{-1} . В последующее время эта область активности не проявляла. Наиболее впечатляющей оказалась вспышка ее излучения 23 января 2012 г. в UT 03:27. В этот момент поток ее излучения увеличился в семь раз за время 90 с, а затем уменьшился до прежнего уровня. Такое характерное время дает оценку верхнего предела линейного размера мазерного пятна $0.18 \text{ а.е. } (2.7 \times 10^{12} \text{ см})$. В 2013–2014 гг. обнаружены вариации интенсивности компонент на -47.6 и -45.1 км с^{-1} с характерными временами порядка 10 часов, причем изменения потоков правой и левой поляризаций явно антикоррелированы. Такие явления в излучении мазеров ОН обнаружены впервые и не объясняются никакими моделями переменности мазеров.

Ключевые слова: *мазеры — звезды:формирование — МЗС:индивидуальные:W3*

1. ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью излучения межзвездных молекулярных мазеров является их сильная переменность. Обычно различают переменность излучения на коротких масштабах времени (минуты–часы) и длинных масштабах (дни–годы). Сводку ранних наблюдений переменности мазеров гидроксила (ОН) с 1965 по 1972 гг. можно найти в работе Салливана и Керстхольта [1], а более поздних — в работе Клегга и Корде [2]. В последней работе приведен также исчерпывающий список инструментальных эффектов, которые могут исказить наблюдательные данные. Оказалось, что переменны практически все исследованные источники ОН на всех четырех частотах квадруплета этой радиолинии с относительной амплитудой до 100% на длинных масштабах времени и до 20% на коротких. Считается, что на длинных масштабах переменность может быть связана с изменением внутренних характеристик источников излучения, в то время как такая интерпретация переменности на коротких масштабах времени часто приводит к противоречивым результатам, так что иногда считают, что это — мерцания на неоднородностях межзвездной среды. Следует

заметить, что, несмотря на пятидесятилетнюю историю исследования этого явления, не существует его приемлемой физической модели.

Наиболее ярким представителем источников мазерного излучения ОН I класса (области звездообразования, главные линии более яркие) является туманность W3. Это весьма популярный объект, результаты исследования которого опубликованы в большом количестве статей. Мы упомянем здесь лишь полученные в последнее десятилетие с использованием антенн с высоким угловым разрешением. Структура области мазерного излучения ОН на волне 18 см в туманности W3 изучена в работах Райта и др. [3] и Фиша и др. [4] с помощью системы апертурного синтеза VLBA, которая на этой волне имеет полуширину диаграммы направленности около 5 миллисекунд дуги. Обнаружено более 250 мазерных «пятен» (dots), имеющих угловые размеры менее 10 миллисекунд дуги и сильную круговую поляризацию. Вся область имеет угловой размер около $2'' (5.83 \times 10^{16} \text{ см})$ и вытянута по склонению. Мазерные пятна образуют некоторую X-образную структуру и две дуги по краям. Райт и др. [3] обнаружили градиент лучевой скорости по диску этой структуры величиной $\pm 2 \text{ км с}^{-1}$ на краях, что как-будто свидетельствует о вращении, но распределение собственных движений «пятен» противоречит такой интерпретации и

*E-mail: gosachinskij@mail.ru

скорее похоже на расширение. В этих работах отождествлены также 70–80 «зеemanовских пар,» расщепление линий которых по лучевым скоростям дает оценку средней величины магнитного поля порядка 5.9 мГс. Отметим, что среди большого количества мазерных «пятен» на частоте 1665 МГц имеется лишь восемь ярких (поток больше 10 Ян), и ни одно из них не входит в «зеemanовскую пару,» т.е. круговая поляризация их излучения около 100%. Более того, «пятна» с близкими лучевыми скоростями, но с разным направлением круговой поляризации существенно различаются по координатам, т.е. представляют собой разные объекты. Расстояние туманности W3 от Солнца определено в работе Рейда и др. [5] с помощью измерения тригонометрических параллаксов и равно 1.95 ± 0.04 кпс. Следует упомянуть также исследование структуры W3(OH) на частоте 1665 МГц, сделанное с помощью сети «Квазар» в работе Матвеевко и др. [6].

Переменность излучения различных компонент линии OH на волне 18 см в W3(OH) изучена в работах Рамачандрана и др. [7] и Ласкара и др. [8] с помощью наблюдений на той же системе VLBA в 1996 и 2005 г. соответственно в течение сетов длительностью 12 и 15 часов, т.е. целенаправленно велся поиск переменности на коротких временных масштабах. Обнаружены статистически значимые флуктуации яркости мазерных «пятен» на масштабах времени 15–20 и 5–20 минут в крыльях линий (а не в максимумах!), причем авторы считают, что это не могут быть межзвездные мерцания. В качестве объяснения этого странного эффекта авторы предположили изменение типа мазера от ненасыщенного в крыльях линии до насыщенного — в максимумах, хотя количественная проработка этой идеи не приведена.

В декабре 2011 г. мы начали программу исследования переменности мазеров OH и H₂O на 32-м радиотелескопе интерферометрической сети «Квазар» в пос. Светлое (Ленинградская обл.). После обнаружения необычного явления в излучении линии OH на частоте 1665 МГц 23 января 2012 г. в туманности W3 все выделяемое нам наблюдательное время было посвящено исследованию переменности этого объекта. В этой статье мы представляем результаты трех лет (2012–2014 гг.) этих наблюдений.

2. АППАРАТУРА И МЕТОДИКА

32-м антенна [9] на волне 18 см имеет полуширину диаграммы направленности 20' и эффективную площадь 480 м², чувствительность антенны по потоку составляет 5.7 Ян К⁻¹. Регистрируются обе

круговые поляризации в двух совершенно независимых каналах штатной приемной системы «Квазар» [10], развязка между каналами в селекторе круговых поляризаций — 16 дБ (40 раз). Динамический диапазон по мощности аналоговой части тракта обоих каналов порядка 60 дБ. Два усилителя ВЧ, охлаждаемые до водородного уровня, обеспечивают шумовую температуру системы порядка 50 К. В двух видеоконверторах используются полосы шириной 0.25 МГц, сигналы которых поступают на двухканальный БПФ-спектроанализатор [11], имеющий 2 × 2048 спектральных каналов шириной 0.488 кГц (0.088 км с⁻¹). Перевод отсчетов спектров в единицы антенной температуры осуществляется по измерениям сигнала калибровочных шумовых генераторов в соответствии с методом калибровки, описанным в работе Кольцова [12], с учетом неравномерности частотной характеристики. Из каждого спектра вычиталась нулевая линия, вычислявшаяся как линейная регрессия между выбранными участками профиля вне сигнала радиолинии.

Стабильность калибровочных генераторов, а также параметров антенны и приемников проверялась в каждом цикле наблюдений по измерениям опорных источников 3С 295, 3С 147, 3С 123 и Тау А, координаты и потоки которых на волне 18 см взяты из работы Витцеля и др. [13]. Первичное время накопления составляло порядка 10 с, после чего измеренные спектры заносились в архив на диск, а при последующей обработке производилось осреднение по времени с выбранными интервалами от 0.5 до 5 мин. Средний квадрат флуктуаций, автоматически вычисляемый по участкам спектра, свободным от излучения линии, составлял соответственно от 2.44 Ян до 0.78 Ян. Измерения проводились сетями продолжительностью примерно по 20 мин., после чего производилось отведение антенны от источника для регистрации нулевой линии профилей, визуальной инспекции наличия помех и калибровки по опорным источникам. Диапазон высот наблюдения туманности W3 составлял от 32° до 70°. Следует заметить, что некоторые компоненты профиля линии OH в туманности W3 очень яркие (поток больше 300 Ян). Это приводит к увеличению шумовой температуры системы на частотах максимумов этих линий в 2–2.5 раза и к соответствующему ухудшению чувствительности в максимумах излучения этих компонент. Кроме того, отмечено наличие флуктуаций коэффициента усиления (не более 2%), что, конечно, для ярких компонент также несколько увеличивает средний квадрат флуктуаций.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Пример профиля линии OH на частоте 1665 МГц, полученный 4 марта 2012 г. с осреднением на

интервале 60 с, приведен на рис. 1. Сплошной линией обозначено излучение в правой круговой поляризации, штриховой — в левой. Лучевые скорости приведены относительно Местного стандарта покоя (LSR). По вертикальной оси приведен поток в Ян ($10\text{--}26 \text{ Вт м}^{-2} \text{ Гц}^{-1}$). Пронумерованы детали профиля, изменение яркости которых исследовалось в нашей работе. Сравнение наших профилей с профилем полной интенсивности линии ОН на частоте 1665 МГц, полученным в 1996 г. и приведенным в работе Райта и др. [3], показывает, что, несмотря на 15-летний интервал времени, общая структура профилей ярких деталей неизменна. Кроме того, в работе Матвеевко и др. [6] приведены профили линии ОН на частоте 1665 МГц, полученные на 32-м радиотелескопе системы «Квазар» в ст. Зеленчукская в январе 2013 г., т.е. прямо во время нашего цикла наблюдений. Сравнение этих профилей с нашими показывает их полную идентичность, за исключением компоненты 2 на лучевой скорости -46.2 км с^{-1} в правой круговой поляризации, которая, как указано ниже, к середине 2012 г. почти полностью затухла.

На следующих рисунках приведены кривые блеска указанных на рис. 1 деталей профиля в максимумах их излучения. Максимум излучения каждой из пронумерованных деталей спектра программа обработки находила автоматически, что исключало влияние возможного смещения их лучевой скорости в профилях как физически существующего, так и аппаратного из-за нестабильности частот гетеродинов. К сожалению, выделить излучение в крыльях профилей деталей не представляется возможным, т.к. в нашу широкую диаграмму направленности попадает большое количество слабых компонент на различных лучевых скоростях. Следует заметить, что и яркие компоненты могут быть блендами излучения 2–3 мазерных «пятен», что заметно, например, по профилю компоненты 3 в левой круговой поляризации на рис. 1. Правда, такое раздвоение было замечено лишь в одной компоненте и далеко не всегда, так что разделение таких тесных бленд не проводилось.

На рис. 2 приведены среднесуточные кривые блеска четырех деталей профиля линии ОН на частоте 1665 МГц за весь период наблюдения в правой и левой круговых поляризациях. Видно, что деталь 2 на лучевой скорости -46.2 км с^{-1} в правой поляризации в начале 2012 г. проявляла довольно бурную активность, однако уже к апрелю 2012 г. ее излучение упало примерно в пять раз, и в дальнейшем особой активности она не проявляла. Излучение на той же лучевой скорости в левой поляризации гораздо более мощное, но относительно стабильное. По данным Фиша и др. [4], в 2005 г. на этой лучевой скорости наблюдалось несколько

ярких «пятен» в левой поляризации и ни одного — в правой. Деталь 3 в правой круговой поляризации в 2013–2014 гг. увеличила свою яркость примерно на 40%. В левой круговой поляризации все детали были относительно более стабильными.

3.1. Вспышка 23 января 2012 г.

На рис. 3 приведены кривые блеска 23 января 2012 г. с осреднением по 30 с, добавлена деталь 5 на лучевой скорости -42.6 км с^{-1} . Поскольку яркости деталей сильно различаются, на некоторых рисунках пришлось изменить масштаб по вертикальным осям с целью большей ясности изображения. Вертикальными барами показан фактический диапазон среднеквадратичных флуктуаций $\pm\sigma$, вычисленный по участкам спектра, свободным от излучения линии. Отсутствие бара означает, что этот диапазон оказался меньше размера значка. Видно, что в некоторых деталях около UT 03:27 произошли довольно бурные пертурбации. Особенно необычным было поведение детали 2 в правой круговой поляризации. На интервале около 90 с яркость этой детали увеличилась примерно в семь раз (до 170 Ян), а затем вернулась к исходному состоянию. Полуширина ее профиля была равна 0.5 км с^{-1} и во время вспышки оставалась стабильной с точностью до 5%. В левой круговой поляризации на той же лучевой скорости сигнал увеличился лишь на 34%. Однако интереснее всего то, что возмущение охватило также и соседние компоненты профиля линии: яркость компоненты 1 увеличилась примерно в два раза в обеих круговых поляризациях, а у компонент 3 и 4 в тот же момент времени яркость уменьшилась (!) в правой поляризации и оставалась стабильной в левой.

Эти изменения выглядят более ясными на рис. 4 в шкале лучевых скоростей. Здесь приведены разности (на верхних рисунках) и отношения (на нижних) потоков деталей в момент максимума излучения в UT 03:27 и в спокойном состоянии. Столь необычное явление требует более подробного обсуждения возможных аппаратных дефектов. Во-первых, изменения коэффициента усиления являются совершенно невероятными, потому что наблюдаемая полоса изменений потока составляет около 2 км с^{-1} (около 11 кГц), а ширина полос пропускания обоих трактов усилителей вплоть до БПФ-спектроанализатора не менее 0.25 МГц, так что любые изменения коэффициента усиления должны быть коррелированы в этой широкой полосе. Кроме того, калибровка усиления в обоих каналах осуществлялась непрерывно по сигналам шумовых генераторов, используемых также в качестве пилот-сигналов. Внезапное изменение мощности сигналов этих генераторов маловероятно и

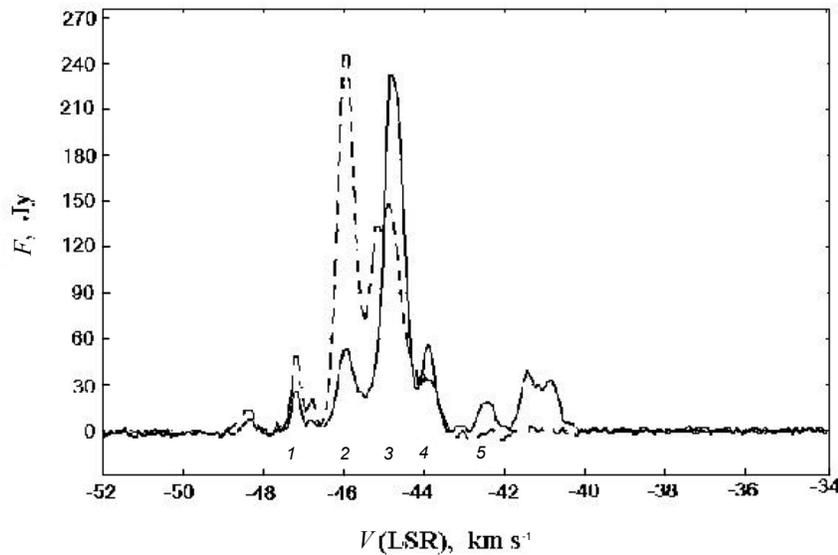


Рис. 1. Профиль линии ОН на частоте 1665 МГц 4 марта 2012 г. в UT 15:01:57 с осреднением 60 с. Сплошная линия — правая круговая поляризация, штриховая — левая. Лучевые скорости относительно Местного стандарта покоя (LSR). Пронумерованы детали профиля, кривые блеска которых приведены на следующих рисунках.

еще менее вероятен узкополосный характер такого изменения. Собственно спектральный анализ производился в БПФ-спектроанализаторе, который является цифровым устройством и как таковой не подвержен никаким флуктуациям. Во-вторых, следует принимать во внимание возможное наличие узкополосных помех. Однако, если кратковременная узкополосная помеха, точно совпавшая по частоте с деталью 2 и увеличившая ее излучение, в принципе возможна, то уменьшение в тот же момент яркости детали 3 из-за той же помехи выглядит совершенно невероятным. По тем же причинам можно исключить какое-либо влияние земной атмосферы и погоды (атмосферные осадки на луче зрения и в антенной системе).

Как указано выше, в начале 2012 г. компонента 2 проявляла очень высокую активность. Однако поскольку наши наблюдения проводились всего лишь 1–2 раза в месяц и располагались по времени случайным образом, нам не удалось зарегистрировать повторные вспышки излучения столь же подробно, как 23 января 2012 г. Тем не менее еще два раза подобные явления, вероятно, имели место. Один из таких случаев приведен на рис. 5. Здесь изображены кривые блеска 4 марта 2012 г. с осреднением по 150 с. Выделены звездочками четыре измерения от UT 10:30 до 13:00. Видно, что в UT 11:53 поток детали 2 в правой поляризации увеличился примерно в 3.5 раза, в то время как потоки деталей 3 и 4 уменьшились соответственно на 45% и 70%. Характер изменения потоков деталей такой же, как и 23 января 2012 г., но профили регистрировались с интервалом примерно

1 час, и детальный характер изменений потоков неизвестен. В течение последующих 2.5 лет поток излучения детали 2 оставался на уровне примерно 20 Ян, и его быстрые изменения не зарегистрированы.

В 2013–2014 г. изменения яркости на масштабах времени порядка минут наблюдались также в детали 3. Пример кривых блеска 30 сентября 2014 г. с осреднением по 30 с приведен на рис. 6. Интересно, что максимум потока излучения детали 3 в правой круговой поляризации произошел в UT 15:12, в то время как в левой — на 4 минуты раньше. Однако относительные изменения яркости этой детали невелики: 45% в правой поляризации и 30% в левой. Поэтому в дальнейшем быструю переменность этой детали мы пока не рассматриваем.

3.2. Переменность излучения ОН на масштабе часов

В 2013–2014 гг. на кривых блеска деталей профиля линии ОН на частоте 1665 МГц было замечено еще одно странное явление. На рис. 7 приведены результаты измерений 15 июля 2013 г. с осреднением по времени 300 с. Видно, что за время порядка 10 часов поток излучения деталей 1 и 3 существенно изменялся в обеих круговых поляризациях: деталь 1 в правой — в три раза, в левой — в 1.8 раза, деталь 3 в правой — на 25%, в левой — на 30%. Самое интересное то, что изменения потоков этих деталей в правой и левой круговых поляризациях явно антикоррелированы.

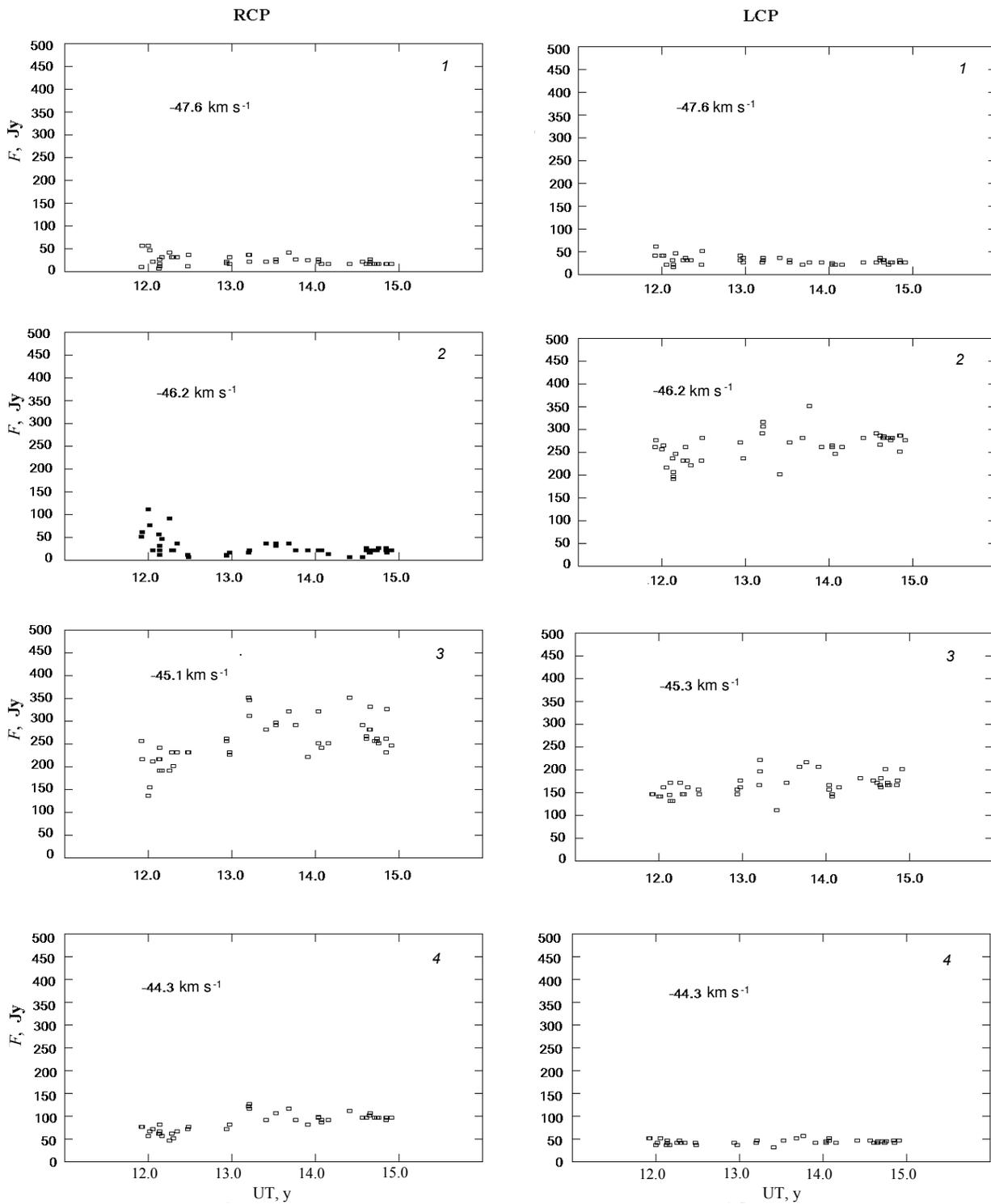


Рис. 2. Среднесуточные кривые блеска деталей профиля ОН за три года 2012–2014 гг. в правой и левой круговых поляризациях.

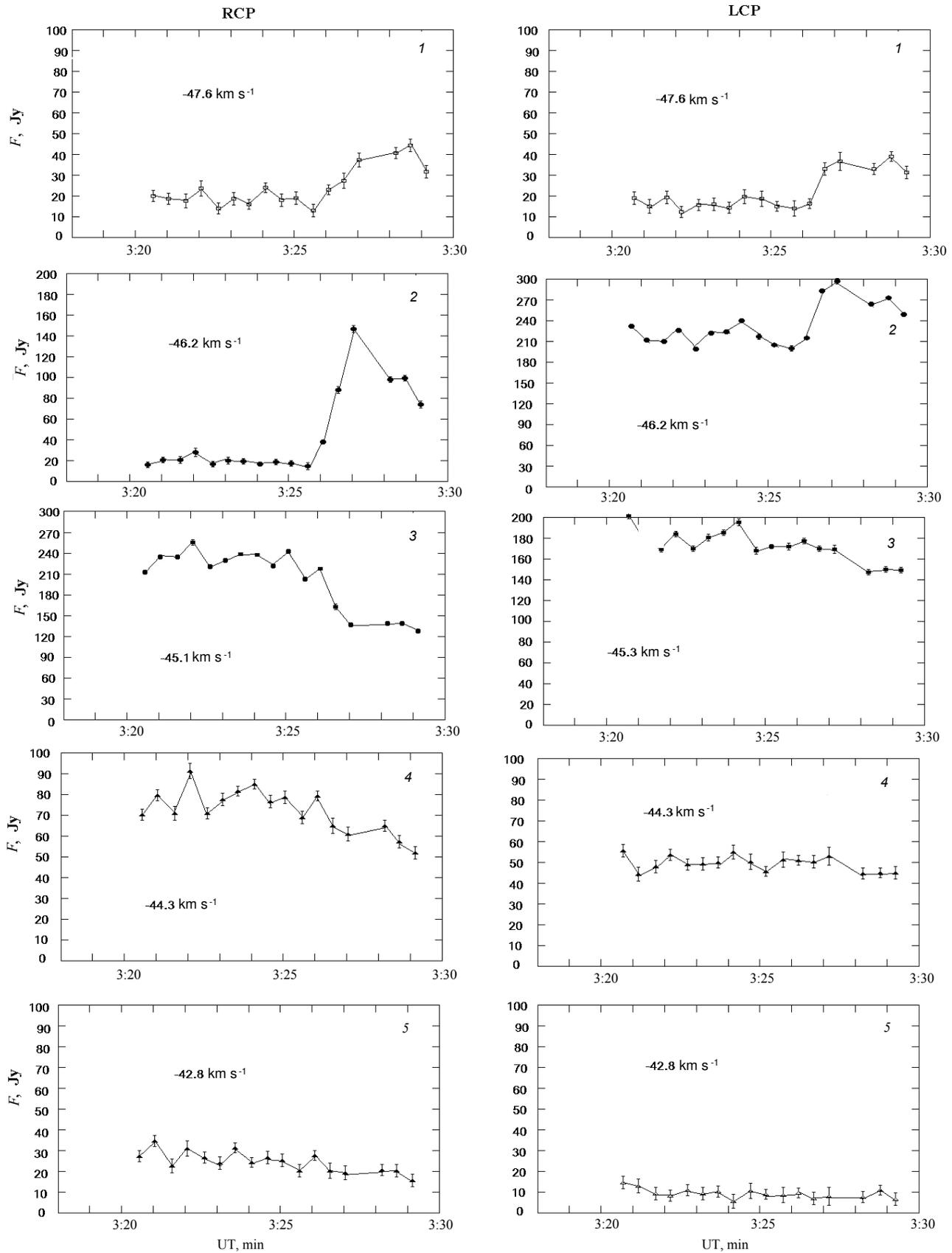


Рис. 3. Кривые блеска 23 января 2012 г. с осреднением по 30 с. Добавлена деталь 5 на лучевой скорости -42.6 km s^{-1} .

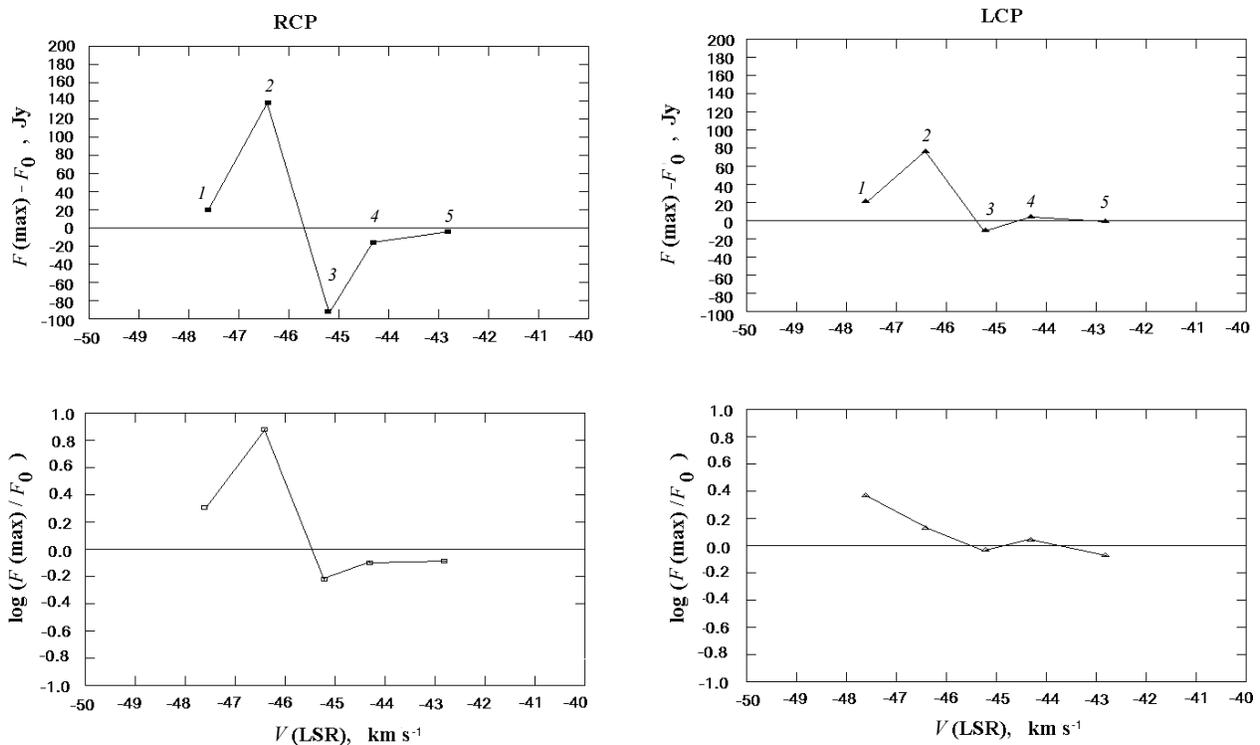


Рис. 4. Разности и отношения максимальных потоков деталей в момент вспышки UT 03:27 23 января 2012 г. в шкале лучевых скоростей.

Что касается деталей 2 и 4, то их излучение в основном было стабильным. За два года таких явлений было зарегистрировано десять (из общего количества 30 дней наблюдений). Для примера на рис. 8 приведены результаты измерений потоков четырех деталей спектра 16 октября 2014 г., а на рис. 9 — измерения потоков детали 3 10 ноября 2014 г. в правой и левой круговых поляризациях. Во всех случаях форма кривых блеска похожа на синусоидальную, а факт антикорреляции очевиден.

При более длительных измерениях (порядка часов) в список возможных источников аппаратных дефектов, которые могли бы повлиять на результаты измерений, следует включить еще и антенную систему. Как указано выше, туманность W3 наблюдалась в диапазоне высот 32° – 70° , а азимут антенны изменялся в пределах $\pm 70^{\circ}$ от севера. Возможно, конечно, наличие паразитной круговой поляризации антенны и ее изменение в зависимости позиционного угла источника относительно антенной системы, хотя это очень маловероятно из-за общей круговой симметрии конструкции антенны. Однако наши результаты свидетельствуют о том, что наблюдаемые вариации параметров принимаемого сигнала имеют очень малую ширину полосы частот, порядка 5–10 кГц (менее 10^{-5} от частоты сигнала). Появление таких эффектов из-за

изменения характеристик антенны представляется совершенно невозможным. Действие долговременной помехи с такими своеобразными временными и поляризационными характеристиками было бы немедленно обнаружено, поскольку каждые 20 минут производилось отведение антенны от источника для регистрации нулевого уровня профилей.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прежде всего следует оценить влияние межзвездной среды на излучение мазеров ОН на волне 18 см. По данным наблюдений пульсаров на коротких масштабах времени порядка минут могут существовать дифракционные мерцания на неоднородностях межзвездной среды. Их относительная величина определяется угловыми размерами Ψ источников излучения. Сильные мерцания могут появиться только если $\Psi < 0.5$ микросекунды дуги [14]. Поскольку истинные угловые размеры мазерных «пятен» могут быть порядка 100 микросекунд дуги, ожидать сильные мерцания трудно. Существенной характеристикой дифракционных мерцаний является так называемая полоса декорреляции Δf , в пределах которой изменения яркости являются коррелированными. Прямая оценка величины Δf затруднена скудостью наших

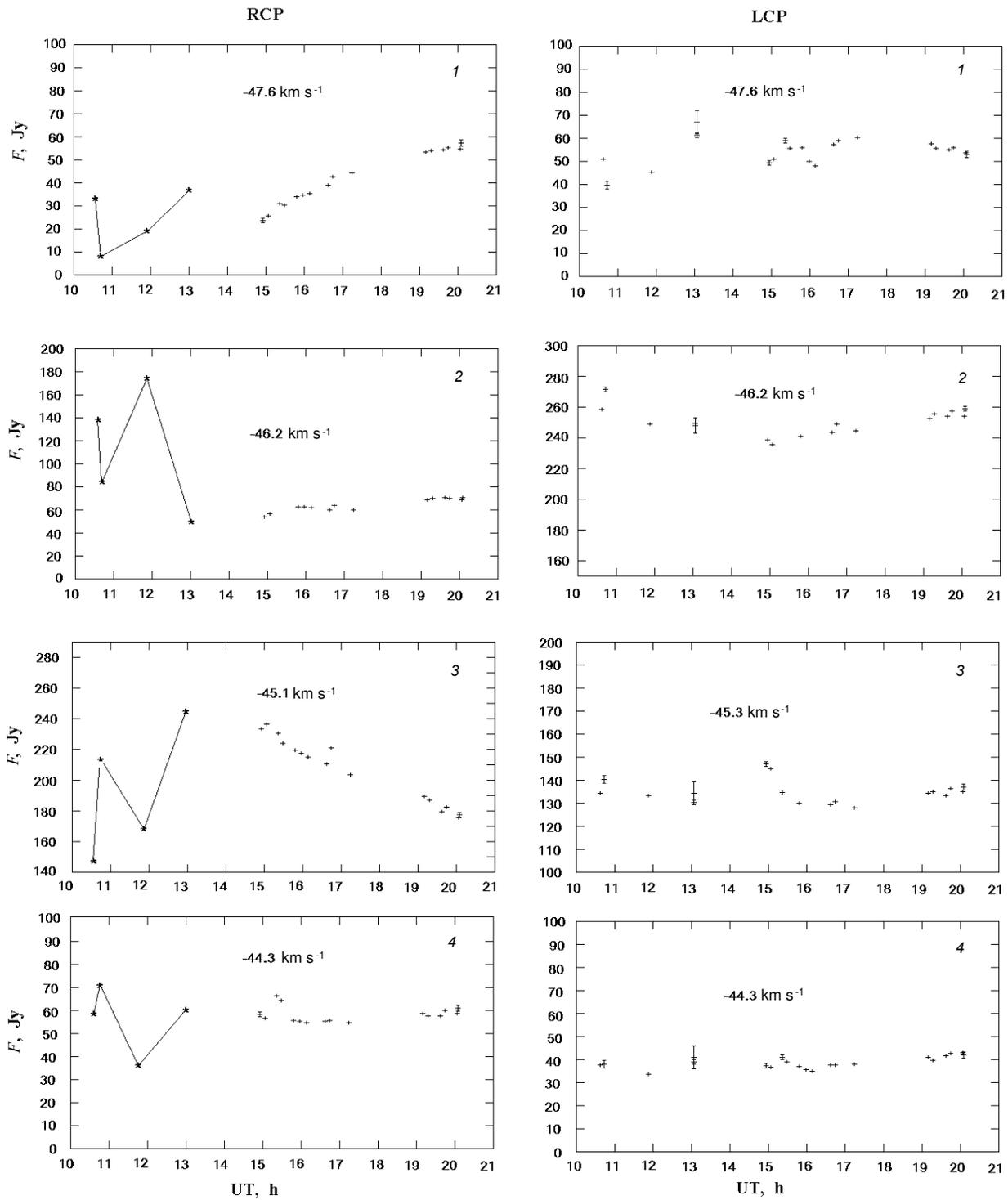


Рис. 5. Кривые блеска 4 марта 2012 г. с осреднением по 150 с.

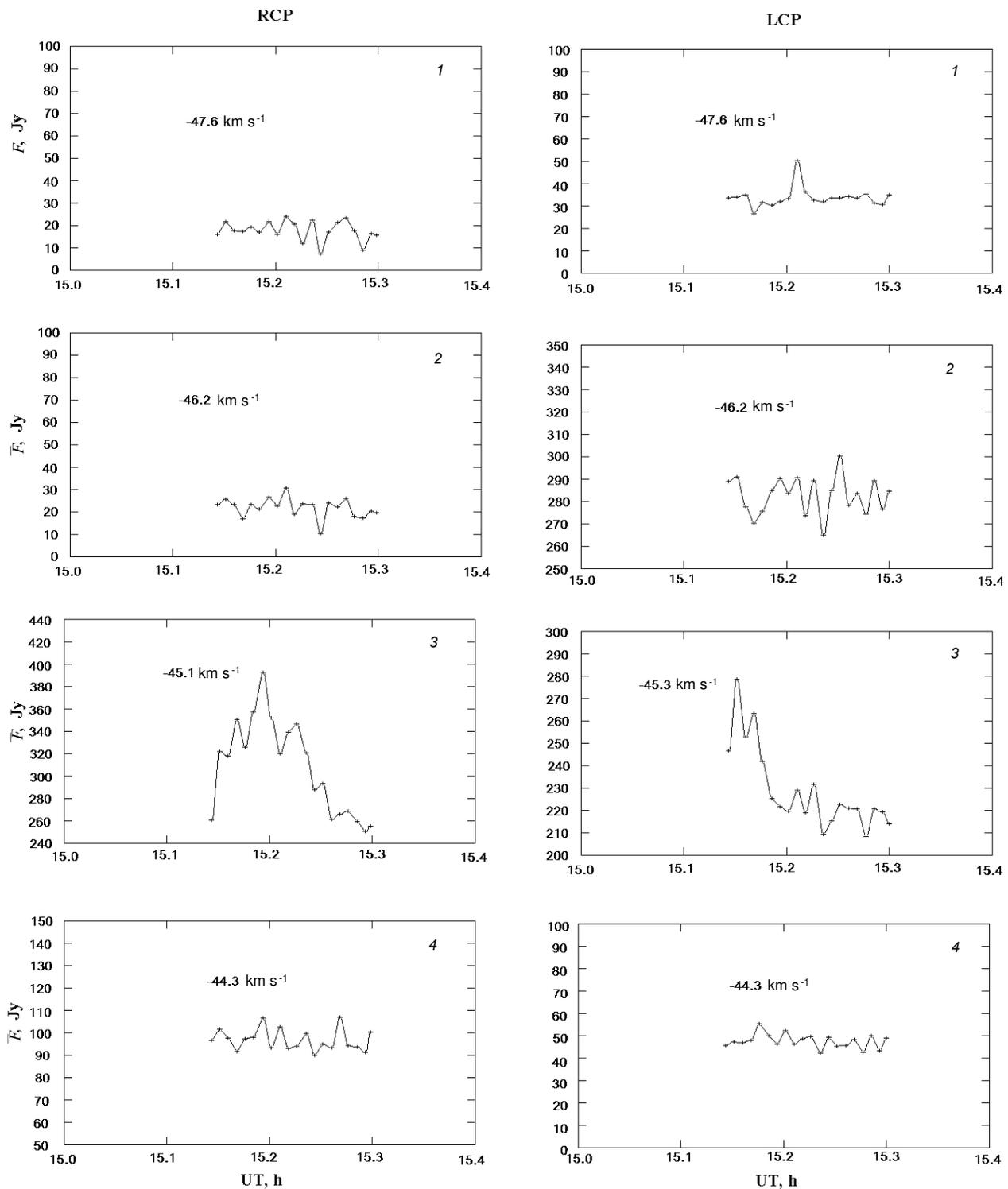


Рис. 6. Кривые блеска 30 сентября 2014 г. с осреднением по 30 с.

сведений о статистике неоднородностей межзвездной среды, однако в работе Рамачандрана и др. [7] сделана попытка косвенной оценки этой величины для источника W3(OH). Авторы получили оценку

$\Delta f \cong 35$ кГц, что примерно в пять раз больше наблюдаемой ширины спектральных деталей мазеров OH в источнике W3. Авторы дают также оценку ожидаемой величины мерцаний менее 1%.

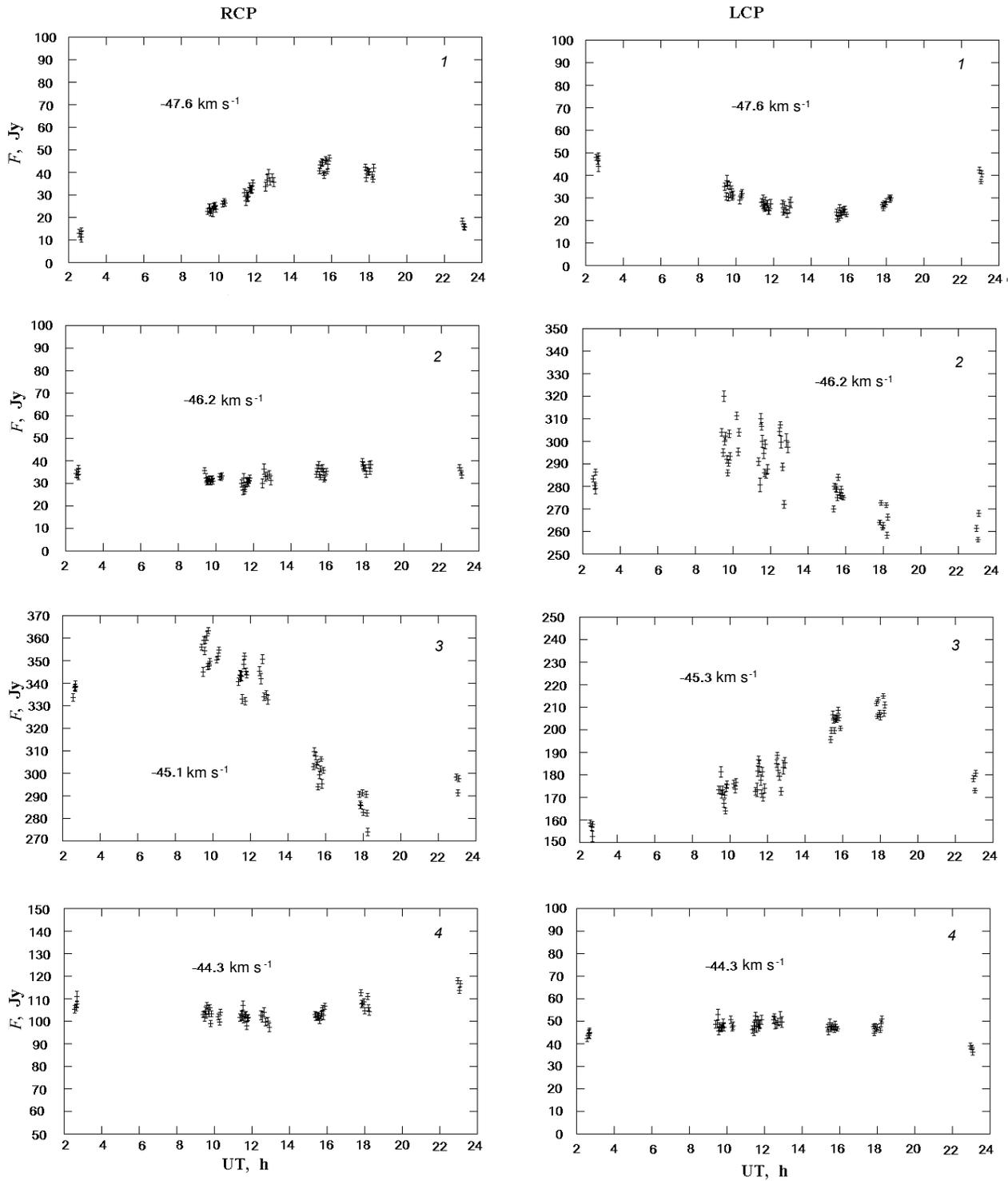


Рис. 7. Кривые блеска 15 июля 2013 г. с усреднением по 300 с.

Следует заметить, что обнаружен и другой тип мерцаний — рефракционные мерцания, возникающие благодаря смещению, фокусировке и дефокусировке лучей на неоднородностях межзвездной

среды [15]. Их временной масштаб может быть больше, вплоть до недель или месяцев. К сожалению, рассчитать их возможные характеристики

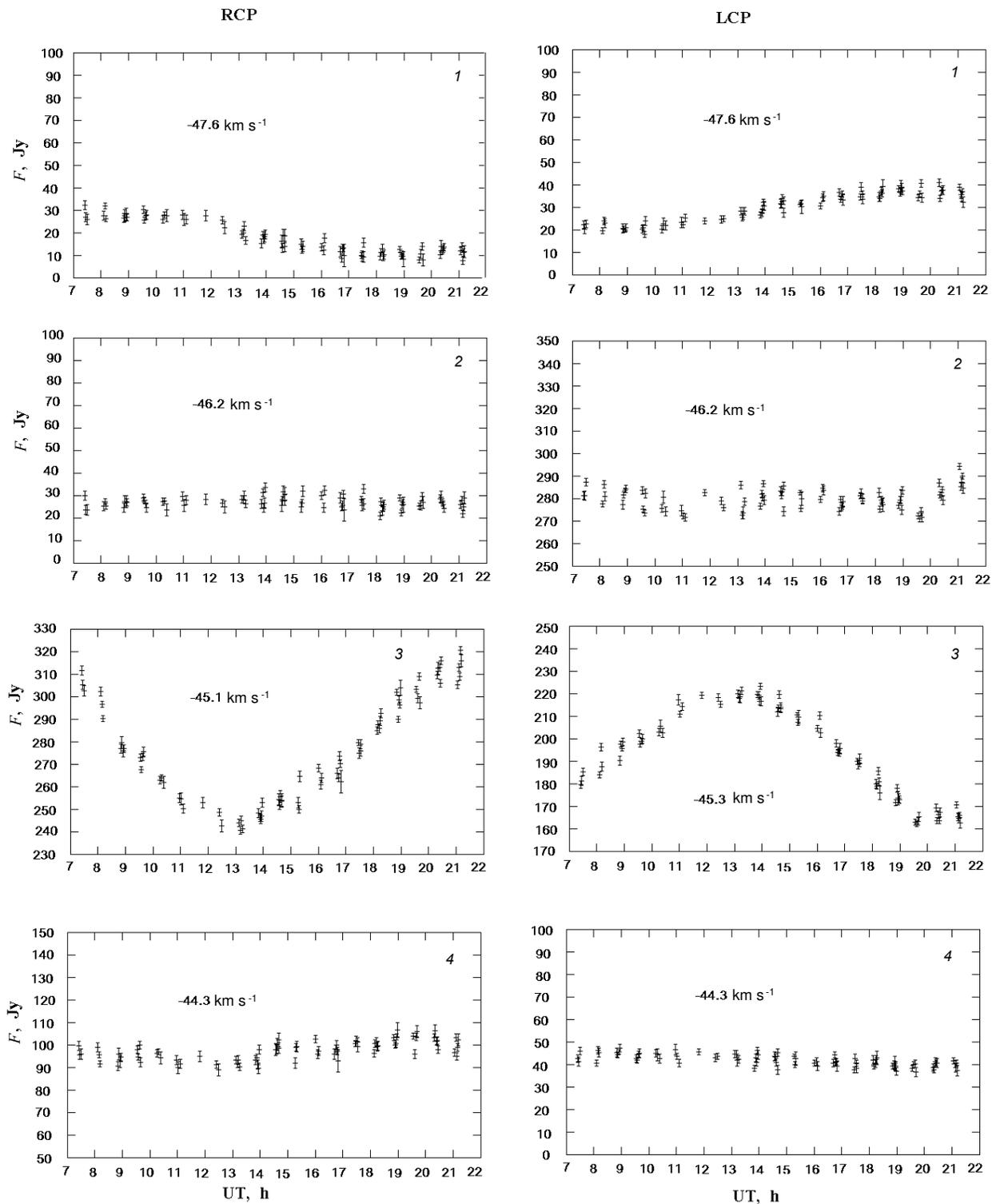


Рис. 8. То же, что на рис. 7 для 16 октября 2014 г.

довольно трудно, поскольку исследованы они еще слишком мало.

Переменность излучения мазеров ОН на коротких масштабах времени в туманности W3, об-

наруженная в работах Рамачандрана и др. [7] и Ласкара и др. [8], имеет характер статистических флуктуаций. Изменение яркости мазеров, которое можно характеризовать, как «вспышка», обна-

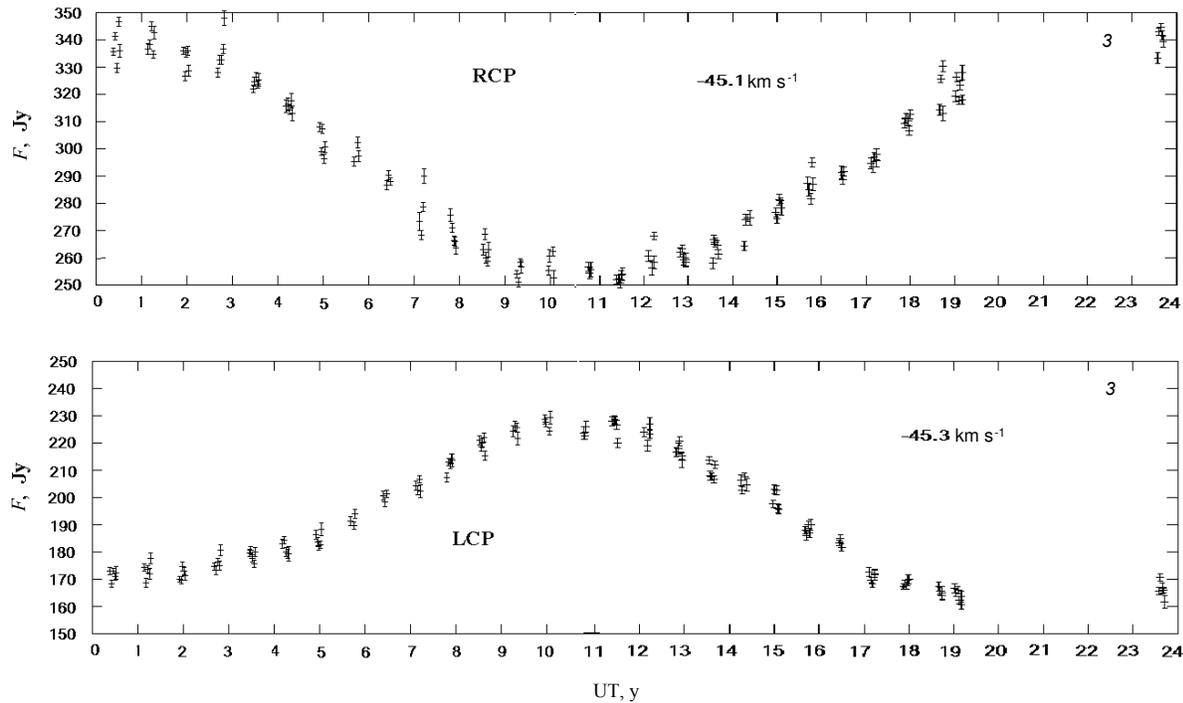


Рис. 9. То же, что на рис. 7 для детали 3 10 ноября 2014 г.

ружено, например, в области звездообразования IRAS 18566+0408 в излучении 5-сантиметрового мазера OH и некоторых других молекул в работе Аль-Маржука и др. [16], однако характерная длительность этих вспышек — порядка месяца. Ничего подобного в обнаруженной нами вспышке мазера OH 23 января 2012 г. никогда не наблюдалось, но тем не менее она представляется нам реальной. В этом случае по ее наблюдаемым параметрам можно сделать некоторые заключения о физических характеристиках излучающей области.

Обычно считается, что при характерном времени изменения интенсивности излучения Δt линейный размер области излучения по лучу зрения Δl не может быть больше $c\Delta t$, где c — скорость света. Наблюдаемый масштаб $\Delta t \cong 90$ с дает $\Delta l \cong 0.18$ а.е., или 2.7×10^{12} см. При расстоянии до W3 1.95 кпс и сферической симметрии области излучения это приводит к ее угловому размеру порядка 0.1 миллисекунды дуги. Заметим, что это гораздо меньше измеренного углового размера мазерных «пятен» на волне 18 см (около 3–5 миллисекунд дуги), и этот факт свидетельствует о том, что на этой волне наблюдаемый угловой размер может быть искажен рассеянием на неоднородностях межзвездной среды, величина которого пропорциональна квадрату длины волны, так что на 18 см оно может быть существенным. Яркостная температура вспышки при таком угловом размере оказывается порядка 2×10^{16} К, что вполне разумно.

Коэффициент усиления мазера (если считать, что усиливается излучение туманности в непрерывном спектре) порядка 4.7×10^{12} , а оптическая толщина $\tau \cong 29.2$, если мазер находится в ненасыщенном режиме (см. [14]). Заметим еще, что в случае ненасыщенного мазера коэффициент его усиления зависит экспоненциально от параметров области усиления, и при измеренной величине τ для увеличения яркости мазера в семь раз требуется увеличение τ всего лишь на 7%. К сожалению, сама оптическая толщина зависит от произведения двух неизвестных параметров — содержания молекул на луче зрения N_l и относительной перенаселенности верхнего сигнального уровня $\Delta n/n$, которая в свою очередь определяется мощностью «накачки.» Трудно ожидать столь быстрых изменений содержания молекул на луче зрения и остается предполагать лишь изменение мощности «накачки» мазера. В качестве последней обычно принимают ИК-излучение каких-либо близлежащих источников. В ИК-диапазоне в области W3(OH) обнаружено несколько компактных источников [17], но все они имеют угловой размер больше нескольких секунд дуги, и ничего не сообщается об их переменности. Вероятнее всего, они представляют собой пылевые облака. В радиодиапазоне здесь обнаружен компактный (около 50 миллисекунд дуги) источник, переменный на масштабе нескольких лет [18]. Таким образом, возможная переменность «накачки» на

масштабах времени порядка 1.5 минут пока ничем не подтверждается.

Для объяснения упомянутого выше пространственного разделения областей излучения зеемановских компонент мазеров были предложены две модели: Шкловского [19] и Варшаловича [20]. В первой из них требуется наличие вращающегося диска или оболочки и тороидальная структура магнитного поля, причем линейная скорость вращения должна быть близка к величине зеемановского расщепления. Во второй модели для той же цели используется наличие сжатия или расширения излучающего облака. Модель Шкловского [19] предложена для источников мазеров ОН типа ИК-звезд. Однако ничто не мешает попытаться применить ее для всей мазерной структуры в источнике W3 (ОН) размером $2''$, тем более что свидетельства о вращении этой структуры вроде бы имеются. Заметим, что в обеих моделях никак не объясняется переменность излучения мазеров ОН. Тем не менее, для наличия переменности достаточно в модели Шкловского [19] предположить небольшую азимутальную неоднородность распределения молекул. Более того, антикорреляция изменения яркости правой и левой круговой поляризации получается автоматически. К сожалению, для объяснения периода переменности излучения порядка 10^h в структуре размером 5.83×10^{16} см требуются совершенно невероятные линейные скорости вращения больше 105 км с^{-1} . В модели Варшаловича [20] переменность излучения мазеров ОН вообще объяснить очень трудно. Что касается самих мазерных «пятен» то Фиш и др. [4] обнаружили градиенты лучевой скорости по их дискам величиной $\pm 0.3 \text{ км с}^{-1}$ на краях, что свидетельствует об их вращении, которое является скорее правилом, чем исключением. Однако при такой скорости вращения в модели Шкловского [19] для объяснения временных масштабов изменения яркости мазеров линейный размер неоднородности содержания молекул должен быть порядка 10^7 – 10^8 см (т.е. гораздо меньше микросекунды дуги), что приводит к нереально большой яркостной температуре излучения.

Следует отметить также, что флуктуации потока мазерных источников на масштабах времени порядка минут наблюдались и в линиях других молекул, например, H_2O (см. Самодуров и др. [21]). Эти авторы рассмотрели также и возможные причины такой переменности, вплоть до самых экзотических — влияния генерации гравитационных волн от удаленных объектов.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерения потоков мазеров ОН в источнике W3, проведенные в 2012–2014 гг., дали два

необычных результата: а) 23 января 2012 г. обнаружена весьма кратковременная и мощная вспышка излучения на лучевой скорости -46.2 км с^{-1} в правой круговой поляризации; б) в последующие 2.5 года зарегистрированы вариации потоков компонент на -47.6 и -45.1 км с^{-1} в обеих круговых поляризациях, причем сигнал в них явно антикоррелирован. Оба эти явления пока не поддаются разумной интерпретации. Ясно, что требуется продолжение таких наблюдений на более длинных временных интервалах с хорошим заполнением отсчетов по времени.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Г. М. Рудницкому и Д. А. Варшаловичу за полезные обсуждения представленных результатов и ценные советы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. T. Sullivan, III, and J. H. Kerstholt, *Astron. and Astrophys.* **51**, 427 (1976).
2. A. W. Clegg and J. M. Corde, *Astrophys. J.* **374**, 150 (1991).
3. M. M. Wright, M. D. Gray, and P. J. Diamond, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **350**, 1253 (2004).
4. V. L. Fish, W. F. Briske, and L. O. Sjouwerman, *Astrophys. J.* **647**, 418 (2006).
5. M. J. Reid, Y. Hu, X. W. Zheng, and K. M. Menten, *Bull. American Astron. Soc.* **35**, 1225 (2005).
6. L. I. Matveenko, A. V. Ipatov, V. A. Demichev, and A. E. Melnikov, *Astronomy Letters* **40**, 95, (2014).
7. R. Ramachandran, A. A. Deshpande, and W. M. Goss, *Astrophys. J.* **653**, 1314 (2006).
8. T. Laskar, W. M. Goss, and B. A. Zauderer, *Proc. IAU Symp.* **287**, 465 (2012).
9. А. М. Финкельштейн, А. В. Ипатов, М. Н. Кайдановский и др., *Труды ИПА РАН*, Вып. 13, 104 (2005).
10. Д. В. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Ипатова и др., *Труды ИПА РАН*, Вып. 2, 242 (1997).
11. S. A. Grenkov, A. V. Ipatov, and N. E. Kol'tsov, *Radiophys. Quantum Electronics*, **51**, 702 (2008).
12. N. E. Kol'tsov, RF Patent № 2316775, *Byull.* №4 (2008).
13. O. M. Witzel, A. Quirrenboch, A. Krichbaum, et al., *Astron. and Astrophys.* **284**, 331 (1994).
14. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, *Физика межзвездной среды* (Москва, Наука, 1979), с. 179.
15. W. Sieber, *Astron. and Astrophys.* **113**, 311 (1982).
16. A. A. Al-Marzouk, E. D. Araya, P. Hofner, et al., *Astrophys. J.* **750**, 170 (2012).
17. F. Salgado, O. Berne, J. D. Adams, et al., *Astrophys. J.* **749**, id. L21 (2012).
18. S. A. Dzib, C. B. Rodriguez-Garza, L. F. Rodriguez, et al., *Astrophys. J.* **772**, id. 151 (2013).
19. Shklovskii, I. S., *Sov. Astron.* **13**, 1 (1969).

20. D. A. Varshalovich, *Astrophys. Space Phys. Rev.* **1**, 123 (1980). 21. V. A. Samodurov, A. M. Tolmachev, E. A. Volvach, et al., *Odessa Astron. Publ.* **24**, 122 (2011).

I. V. Gosachinskij, S. A. Grenkov, A. V. Ipatov, and I. A. Rakhimov

The Flash of OH Masers in W3 (OH)

We report the results of three-year long observations of OH masers at 1665 MHz in the W3(OH) source carried out with the 32-m antenna of Svetloe Radio Astronomical Observatory. We found that the strongest activity during the period from December 2011 through March 2012 was exhibited by the region at radial velocity -46.2 km s^{-1} . The region showed no activity in the ensuing time. The most striking outburst was the event that occurred on January 23, 2013 at UT 03:27. At that time the flux of the region increased by a factor of seven in 90 s, and then decreased down to the initial level. Such a time scale yields the upper estimate of 0.18 AU ($2.7 \times 10^{12} \text{ cm}$) for the linear size of the maser dot. In 2013–2014 intensity variations were found the -47.6 and -45.1 km s^{-1} components with time scales on the order of 10 hours and anticorrelated behavior of the left- and right-hand polarization fluxes. This is the first time that such phenomena have been found in the behavior of OH maser emission, and they cannot be explained by any existing models of maser variability.

Keywords: *masers—stars:formation—ISM:individual:W3*