

## АНИЗОТРОПНАЯ ГЕОМЕТРОДИНАМИКА: ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ТЕСТ – СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

С.В. Сипаров\*

*Государственный университет гражданской авиации  
Российская Федерация, 196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38*

**Аннотация.** Анизотропная геометродинамика содержит в себе все известные результаты общей теории относительности, позволяет интерпретировать ряд наблюдений последних десятилетий без введения новых сущностей, но за счет изменения математического аппарата и предсказывает наблюдаемые эффекты, пока не имеющие интерпретации. Для дальнейшей проверки теории предложен эксперимент, для которого разработана теория и проведены базовые наблюдения. Приводится анализ данных, полученных в ходе мониторинговых наблюдений 49 астрофизических мазеров (22 ГГц). Показано, что полученные результаты не являются следствием инструментальных ошибок, геофизических условий, флуктуаций межзвездной среды или локальных условий в окрестности мазера. Интерпретация наблюдаемого эффекта основана на явлении оптико-метрического параметрического резонанса, создаваемого воздействием гравитационного излучения удаленных короткопериодических двойных звезд. Выявлены звездные системы, удовлетворяющие заданным условиям.

**Ключевые слова:** общая теория относительности, кривые вращения спиральных галактик, темная материя, обобщенный принцип эквивалентности, анизотропная геометродинамика, оптико-метрический параметрический резонанс, тесные двойные звезды, наблюдение периодических гравитационных волн.

### Введение

Построение анизотропной геометродинамики (АГД) было обусловлено затруднениями, с которыми столкнулась физика в последние десятилетия. Анализ астрономических наблюдений показал, что кривые вращения спиральных галактик не стремятся к нулю с удалением от центра, что следует как из классической теории Ньютона, так и из ОТО, а выходят на константу порядка  $3 - 5 \cdot 10^5$  м/с. Для того чтобы наблюдения можно было согласовать с теорией, было сделано предположение, что галактика погружена в сферическое облако так называемой «темной материи» – неизвестной субстанции, никак не проявляющей себя в электромагнитном взаимодействии, но обладающей гравитационной массой. Необходимая масса превышает массу светящейся (барионной) материи галактики в 4-5 раз, а радиус ее распределения

---

\* E-mail: sergey@siparov.ru

должен превосходить радиус наблюдаемой галактики в 5–6 раз. Помимо кривых вращения модель темной материи широко используется: при описании аномалий гравитационных линз, при интерпретации фотоснимков кластера Пуля и даже для объяснения возможности первичного нуклеосинтеза. Тем не менее она содержит острое внутреннее противоречие, связанное с эмпирическим законом Талли–Фишера<sup>1</sup>, а многолетние попытки обнаружить частицы темной материи до сих пор не привели к успеху.

В этой связи была предпринята попытка [1-4] не вводить новую сущность, а модернизировать теорию. Новым является обобщение принципа эквивалентности, согласно которому невозможно экспериментально различить силы инерции и силы гравитации. Поскольку силы инерции могут зависеть (и зависят) от скоростей движения тел, геометрия Римана, успешно использованная в ОТО для описания систем с массивным центром, для описания галактик представляется недостаточной. Метрический тензор должен в явном виде зависеть от производных координат по естественному параметру, то есть  $g_{ij} = g_{ij}(x, y)$ , где  $y^i = \frac{\partial x^i}{\partial s}$ . Удобно выбрать метрический тензор в виде  $g_{ij} = \eta_{ij} + \varepsilon_{ij}(x, y)$ , где  $\eta_{ij} = \text{diag}\{1, -1, -1, -1\}$  – метрика Минковского. В результате соответствующей вариационной процедуры вместо уравнения геодезической ОТО

$$\frac{dy^i}{ds} + \Gamma^i_{kj} y^k y^j = 0 \quad (1)$$

получается обобщенное уравнение геодезической

$$\frac{dy^i}{ds} + \left( \Gamma^i_{lk} + \frac{1}{2} \eta^{it} \frac{\partial^2 \varepsilon_{kl}}{\partial x^j \partial y^t} y^j \right) y^k y^l = 0, \quad (2)$$

где коэффициенты связности  $\Gamma^i_{jk} = \frac{1}{2} \eta^{ih} \left( \frac{\partial \varepsilon_{hj}}{\partial x^k} + \frac{\partial \varepsilon_{hk}}{\partial x^j} - \frac{\partial \varepsilon_{jk}}{\partial x^h} \right)$  имеют обычный вид, но учитывают зависимость метрики от  $y$ . Для случая слабо искривленного и слабо анизотропного пространства, то есть  $\varepsilon_{ij}(x, y) = \sigma \zeta_{ij}(x, y)$ ;  $\sigma \ll 1$ , для уравнения геодезической (2) можно использовать линейную аппроксимацию. В результате оно существенно упрощается и принимает вид

$$\frac{dy^i}{ds} + \Gamma^i_{00} + \frac{1}{2} \eta^{ik} \frac{\partial^2 \varepsilon_{00}}{\partial x^j \partial y^k} y^j = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) можно использовать в качестве уравнения движения в геометрическом подходе.

<sup>1</sup> Закон Талли–Фишера  $L \sim v^4$  связывает светимость (а значит, и барионную массу) плоской галактики с четвертой степенью упомянутой постоянной орбитальной скорости. Скорость определяется гравитационными свойствами тел. Между тем известно, что связь между массой светящейся и массой темной материи в галактике отсутствует. Таким образом, масса темной материи почему-то никак не проявляет себя в законе Талли–Фишера.

Любая новая теория должна обладать следующими свойствами: описывать все, что описывала предыдущая теория; справляться с проблемами, возникшими у предыдущей, и предсказать результат критического эксперимента, который еще не был поставлен. Нетрудно видеть, что АГД переходит в ОТО, как только  $\varepsilon_{ij}(x, y) \rightarrow \varepsilon_{ij}(x)$ , поэтому она содержит и все результаты ОТО. Перечислим некоторые *следствия* АГД [1–5], выходящие за пределы ОТО и требующие не введения новых сущностей, а использования другого языка описания: кривые вращения спиральных галактик являются плоскими; закон Талли–Фишера должен иметь место; на расстояниях порядка радиуса галактики орбитальные скорости звезд и газа, соответствующие плоским кривым вращения, должны соответствовать центростремительному ускорению порядка  $cH$  ( $c$  – скорость света,  $H$  – постоянная Хаббла); спиральные галактики имеют прямые перекладки (бары); при определенной ориентации относительно наблюдателя галактики-линзы (гравитационные) дают существенно большее преломление, чем следует из ОТО; должен иметь место линейный закон Хаббла и др. Как происходящее в кластере Пуля, так и обстоятельства первичного нуклеосинтеза требуют не наличия дополнительной материи, но наличия дополнительных (гравитационных) сил взаимодействия, которые в рамках АГД проявляются как силы инерции, обусловленные движением соответствующих систем.

К ответу на третью часть требований к теории можно отнести предсказание возможности характерного распределения материи вблизи ядер спиральных галактик в виде знака « $\infty$ -бесконечность». Подходящие паттерны имеются на снимках космического телескопа [6]. Кроме того, обсерватория «Гершель» обнаружила [7] точное соответствие этим предсказаниям при наблюдении холодных облаков газа в центре нашей галактики (рис. 1).

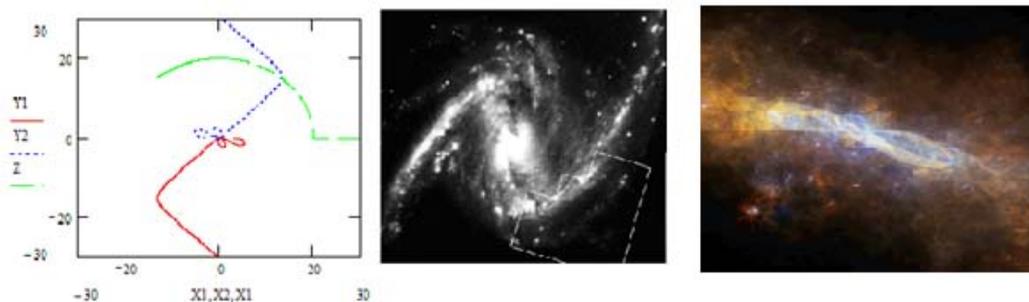


Рис. 1

Слева: расчетные траектории симметричного выброса равных масс из центра гравитационной системы «центр плюс ток» (круговой пунктир – граница системы) [3–4]; в центре: галактика 8437 [6]; справа: холодные облака газа в центре Млечного пути [7]

Рассмотрим возможность наблюдений нового типа, результат которых можно было бы использовать как критерий применимости АГД. Как показал Р. Пименов [8], никакие наблюдения в Солнечной системе не дают возможности установить наличие анизотропии. Поэтому наблюдения должны выполняться в межзвездных или галактических масштабах. В случае АГД анизотропия доставляется зависимостью метрики от производной по

естественному параметру, иными словами, от скорости движения наблюдаемого объекта. Спиральные галактики, к которым относится и Млечный путь, являются неинерциальными системами отсчета, поэтому влияние орбитальной скорости может проявить себя в эксперименте. Сигналом в системе галактического или межзвездного масштаба, изучаемой в рамках геометрического подхода, может служить гравитационная волна (ГВ), которая будет воздействовать на наблюдаемые астрофизические объекты. Следует отметить, что гравитационные волны от катастрофических событий, поиск которых продолжается более полувека и считается успешно завершенным [9], непригодны для этой цели. Их появление непредсказуемо, краткосрочно, а детектирование требует специальной уникальной аппаратуры, обеспечивающей точность измерений  $10^{-21}$ , что выводит на первый план проблему сигнал–шум.

Существует принципиально иной подход к детектированию ГВ, основанный на регистрации эффектов, связанных с периодическими ГВ, которые испускаются тесными (короткопериодическими) двойными звездами. Их амплитуда еще меньше, чем амплитуда ГВ от катастрофических событий, но они строго периодичны, что позволяет по-новому подойти к использованию резонансных явлений. Теория эффекта оптико-метрического параметрического резонанса (ОМПР) была предложена в [10], а результаты наблюдений, подтверждающих ее применимость, приведены в [11; 12].

В следующих разделах будут кратко изложены теория ОМПР, анализ свойств астрофизических систем, методика наблюдений и анализ возможных интерпретаций их результатов. В заключение обсуждаются влияние анизотропии на условия ОМПР и методика использования большого массива данных, аналогичных уже полученным, для определения геометрических характеристик нашей галактики, а также возможность их применения для разработки гравитационно-волновой астрономии и для звездной навигации.

## 1. Эффект ОМПР

Теория эффекта ОМПР в приложении к астрофизическим наблюдениям изложена в работе [10]. Рассмотрим двухуровневый атом в сильном монохроматическом резонансном поле. Двухуровневый атом является моделью, хорошо известной в спектроскопии. «Сильное» поле означает, что вынужденное излучение доминирует над спонтанным. Существенно, что такая система содержит параметр  $\alpha_1 = \frac{\mu E}{\hbar}$ , называемый частотой Раби, характеризующий интенсивность электромагнитной волны (ЭМВ);  $\mu$  – индуцированный дипольный момент;  $E$  – электрическая напряженность. Заметим, что в этом случае интенсивность измеряется в единицах частоты, а частота Раби – это частота колебаний населенности между основным и возбужденным атомными уровнями. При наличии слабого периодического возмущения, которое может иметь различную природу, в такой системе возможны параметрические резонансы. Они проявляются как нестационарные составляющие в регистрируемом спектре рассеянного излучения; «нестационарность» здесь означает, что

амплитуда такой составляющей периодически меняется с частотой, характерной для возмущения. Поскольку эффект имеет резонансный характер, амплитуда нестационарной составляющей не зависит от амплитуды периодического возмущения и имеет тот же порядок, что и амплитуда основного сигнала. Таким образом, эффект имеет нулевой порядок по амплитуде, и при его регистрации проблемы сигнал/шум не возникает.

Двухуровневую атомную систему весьма трудно реализовать в лаборатории, но эта модель идеально подходит для описания переходов в молекулах космических мазеров. Если такой «атом» принадлежит насыщенному астрофизическому мазеру, то это означает, что действующая на него ЭМВ является сильной. Малое периодическое возмущение может доставляться периодической гравитационной волной (ГВ), испускаемой удаленной двойной звездной системой и проходящей через мазер. В этом случае период ГВ равен периоду обращения двойной системы. ГВ действует: 1) на положения уровней атома (молекулы), 2) на ЭМВ, создаваемую космическим мазером, и 3) на геометрическую локацию атомов мазера. Можно показать [10], что первый эффект пренебрежимо мал по сравнению с двумя другими.

Динамику атома можно описать квазиклассически с помощью системы уравнений Блоха для компонент матрицы плотности [13; 14]. Эти уравнения следует модифицировать с учетом рассматриваемой задачи. Действие ГВ на монохроматическую ЭМВ описывается решением уравнения эйконала, в котором метрический тензор описывает ГВ. Действие ГВ на геометрическую локацию может быть найдено из решения уравнения геодезической, в котором составляющая скорости атома, ортогональная волновому вектору ГВ, является осциллирующей  $v = v_0 + hc \cos Dt$ , ( $h$  – безразмерная амплитуда ГВ,  $c$  – скорость света,  $D$  – частота ГВ).

При выполнении определенных условий параметрического резонанса решение системы модифицированных уравнений Блоха может быть найдено методом асимптотического разложения. Роль малого параметра играет отношение постоянной распада  $\gamma$  возбужденного атома к частоте Раби,  $\delta = \gamma/\alpha_1$ . Условия ОМПР сводятся к следующим:

1) условие сильного поля

$$\frac{\gamma}{\alpha_1} = A\delta; A = O(1); \delta \ll 1; \quad (4)$$

2) амплитудное условие параметрического резонанса, связанное с ЭМВ мазера, модифицированной ГВ:

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\omega h}{4D} = a\delta; a = O(1); \delta \ll 1; \quad (5)$$

3) амплитудное условие параметрического резонанса, связанное с периодическим изменением скорости атома:

$$\frac{kv}{\alpha_1} = \frac{\omega h}{\alpha_1} = \kappa\delta; \kappa = O(1); \delta \ll 1; \quad (6)$$

4) частотное условие параметрического резонанса:

$$(\omega - \Omega + kv_0)^2 + 4\alpha_1^2 = D^2 + O(\delta). \quad (7)$$

Здесь  $\omega$  – частота атомного перехода,  $\Omega$  и  $k$  – частота и волновой вектор ЭМВ мазера. В работе [15] был проведен анализ параметров астрофизических объектов и было показано, что условия, задаваемые уравнениями (4-7), могут выполняться в естественной среде. В случае параметрического резонанса главный член асимптотического разложения решения, характеризующего поток энергии рассеянного излучения (наблюдаемый поток), вычисляется в явном виде. Не останавливаясь на технических подробностях решения, укажем, что из него следует, что в спектре источника на частоте, смещенной от  $\Omega$  на  $D$  (то есть на частоту ГВ от частоты сигнала мазера), характерный поток  $F$  энергии излучения мазера периодически изменяется и пропорционален

$$F \sim \frac{\alpha_1}{D} \cos 2Dt + O(\delta). \quad (8)$$

В интересующем случае  $D \sim 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  и  $\Omega \sim 10^7 \text{ s}^{-1}$ , и это означает, что нестационарная компонента принадлежит спектру мазера.

Таким образом, теория предсказывает, что в условиях ОМПР поток энергии, приходящий к детектору на частоте мазера, периодически меняет свою интенсивность с (удвоенной) частотой ГВ. Частота ГВ  $D$  на много порядков меньше, чем частота ЭМВ  $\Omega$  и чем все частоты, близкие к  $\Omega$ , поэтому условие, выраженное уравнением (7), выполняется.

Как уже упоминалось, сигнал ГВ, о котором здесь идет речь, – это не тот сигнал, который обычно пытаются зарегистрировать во всех известных экспериментах по детектированию ГВ. Во всех таких случаях ожидаемый сигнал ГВ является эффектом первого порядка по безразмерной амплитуде ГВ, то есть требует сверхчувствительной аппаратуры. В нашем случае периодические ГВ, испускаемые двойной звездной системой, постоянно воздействуют на мазер. И, хотя их амплитуда может быть существенно ниже амплитуды ГВ от катастрофических событий, это не играет роли, поскольку обсуждаемый эффект имеет нулевой порядок по безразмерной амплитуде ГВ, и его величина обусловлена лишь совпадением требуемых частот, но не величиной амплитуды. Ясно, что никакого предельного перехода при стремлении  $h$  к нулю в решении быть не может ( $h$  в него просто не входит), так как это соответствует другой постановке задачи и другим исходным уравнениям.

## 2. Астрофизические мазеры

Космические мазеры представляют собой наборы конденсаций с диаметрами  $10^0$ – $10^2$  а.е. [16], состоящих из разреженного газа, молекулы которого находятся в метастабильных состояниях. Конденсации могут перемещаться относительно друг друга [17], в то время как молекулы газа подвергаются электромагнитной накачке от близлежащей активной звезды. Каждый мазер

создает поток излучения, спектр которого имеет серию пиков, соответствующих одному и тому же молекулярному переходу, но различным конденсациям. Эти потоки, наблюдаемые с помощью радиотелескопа, могут изменяться со временем на интервалах от десятков минут до нескольких лет. Обычные интерпретации причин таких изменений включают изменение активности звезды, создающей поле накачки, наложение конденсаций на луче зрения, явления турбулентности и другие местные условия внутри конденсации.

В некоторых случаях изменчивость потока излучения носит периодический характер. В работе [18; 31; 32] было высказано предположение, что изменения потоков мазеров за периоды от нескольких часов до нескольких дней указывают на влияние пульсаций звезд. Также ожидается, что мазеры будут демонстрировать периодическое поведение, если они расположены в окрестности двойной звезды. Примеры соответствующих наблюдений для различных мазеров обсуждаются в [19–21]. Во всех упомянутых случаях пики спектров изменяются коррелированным образом и между ними отсутствует фазовый сдвиг. Труднее объяснить, какой процесс мог бы вызвать периодическое изменение *одной* компоненты в спектре мазера, особенно если период короткий (порядка  $10^1$  мин, рис. 2). Именно эта ситуация и должна иметь место в результате воздействия периодической ГВ от удаленного источника и эффекта ОМПП. Впервые результаты таких наблюдений водных мазеров на частоте 22 ГГц и их возможная интерпретация приведены в [22].

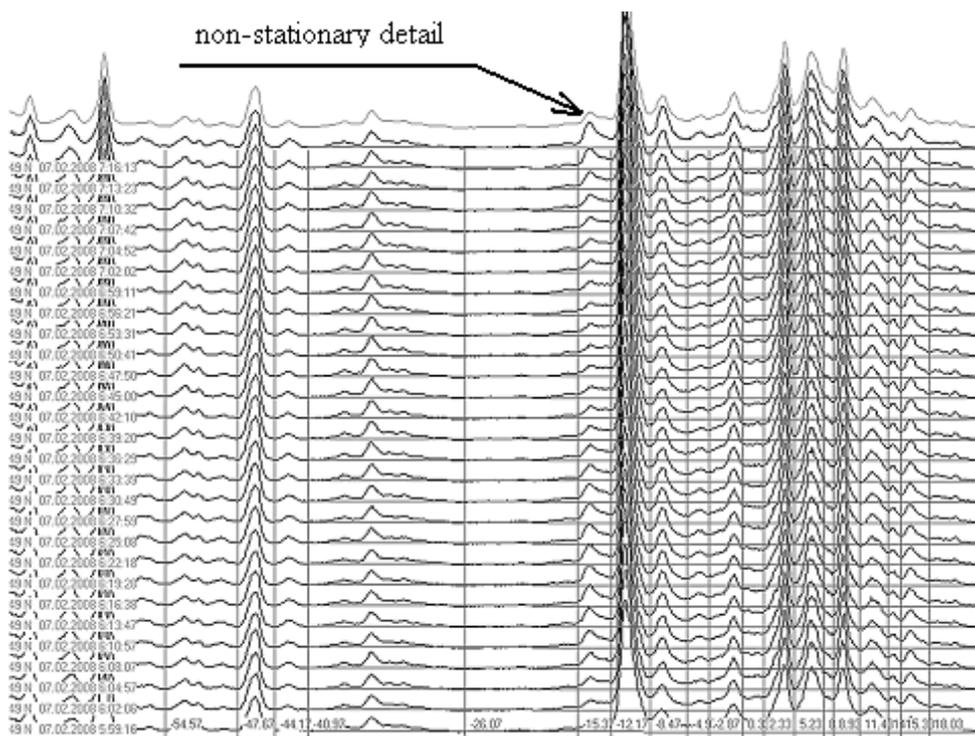


Рис. 2. Временная зависимость спектра радиисточника W49N. RT-22, 7 февраля 2008 года, ПРАО РАН, Пушино

Частотная настройка, требуемая для эффекта ОМПР, может быть достигнута, когда сила резонансной ЭМВ мазера, определяющей частоту колебаний населенности, приобретает необходимое значение. В насыщенном мазере интенсивность поля линейно возрастает в направлении границы мазера, наблюдаемой с Земли. Поэтому для обеспечения возможности ОМПР облако мазера должно иметь определенную толщину. Его можно оценить по наблюдаемой яркостной температуре, и соответствующие расчеты и рассуждения были проведены в [2; 15]. Очевидно, что если мазер состоит из нескольких конденсаций, каждая из которых также является мазером, то требуемая для ОМПР интенсивность поля может достигаться не во всех из них.

### 3. Методика наблюдений и подготовка данных

Наблюдения мазеров проводились на РТ-22 (радиотелескоп с антенной диаметром 22 м, установленный в Пушинской радиоастрономической обсерватории им. П.Н. Лебедева РАН) на частоте 22 ГГц. Телескоп имеет два приемника, и во время наблюдений один из них находится в действительном фокусе, а другой – выключен и направлен на (пустую) область сравнения в 20 угловых секундах левее или правее. Переключение между этими двумя приемниками 300 раз в секунду создает сигнал, так что генерируемый переменный ток пропорционален разнице потоков между источником и областью сравнения. Во время калибровки один приемник направлен на пустую область, в то время как калибровочный сигнал направляется на другой приемник в течение 1–5 мин.

Наблюдалось 49 источников-мазеров – каждый по 2–5 раз в течение 149 наблюдательных сессий. Наблюдалась в основном водные мазеры на частоте 22 ГГц, а также гидроксильный мазер W3 (OH). Одна сессия наблюдения обычно занимает несколько часов, приходящихся на ночное время. Каждые несколько минут (после модернизации аппаратуры – 0,5 мин) собранный сигнал передавался на регистрирующий прибор, и строилась зависимость интенсивности потока ( $J_{\nu} \cdot \text{км/с}$ ) на данной частоте от значения этой частоты (фактически от отстройки данной частоты от основной частоты).

Для спектрального анализа использовался сигнал от 2048-канального автокоррелятора с общей полосой пропускания 12,5 МГц (168,5 км/с) и разрешением по скорости 0,082 км/с, соответствующим одному каналу. В начале наблюдательной сессии данные скорости корректировались с учетом движения Земли и отправлялись в измеритель  $V_{LSR}^2$ . Наблюдаемые спектры могли иметь различные небольшие суточные сдвиги (главным образом из-за вращения Земли вокруг оси), но они давали сдвиг не более 200 м/с за сеанс и были меньше, чем диапазоны подсчетов данных для одной детали спектра.

Предварительный этап обработки сигнала включал управление антенной и регистрирующим каналом. Остальные функции выполняла специальная

<sup>2</sup> Velocity local standard rest – радиальная скорость относительно местного стандарта покоя за вычетом движений Земли и Солнца.

программа, разработанная для обработки полученных данных. Ее алгоритм предусматривал:

- 1) суммирование значений потока на каждой частоте для всех спектров, полученных в ходе данной сессии;
- 2) определение частот, соответствующих всем локальным минимумам в спектре, составленном из сумм;
- 3) определение зависимости от времени для каждой области между найденными соседними минимумами для каждого спектра данной сессии наблюдений;
- 4) построение соответствующих временных рядов для этой области.

Затем выполнялся анализ, основанный на обработке найденных временных рядов, включающий три этапа:

- 1) быстрое преобразование Фурье, которое использовалось для обнаружения периодической компоненты;
- 2) процедура Ломба–Скаргла, которая использует более сложный специальный алгоритм [23–24] для построения периодограммы;
- 3) обобщенный алгоритм Ломба–Скаргла [25–26], который отфильтровывает периодические детали, характеризующие саму процедуру наблюдения.

Быстрое преобразование Фурье уже использовалось в [23] для доказательства существования периодических компонент в сигналах космических мазеров, но этот подход ограничен, поскольку он имеет дело только с эквидистантными точками и требует интерполяции.

На периодограммах обнаруживаются несколько пиков, но некоторые из них следует отсеять, так как они связаны с общим временем сессии, периодом калибровки антенны и количеством измерений между калибровками. Следует подчеркнуть, что в результате проведенного анализа данных выявляется, что за исключением одной детали спектра все остальные детали спектров, аналогичных представленному на рис. 2 и соответствующих отдельным конденсациям мазеров, не демонстрируют периодическое изменение. Это означает периодическое изменение интенсивности излучения, испускаемого *только одной* из конденсаций, образующих облако космического мазера.

#### 4. Результаты наблюдений и их анализ

Некоторые из 49 исследованных мазеров с очевидностью не представляли интереса для наших целей. Поэтому указанная обработка сигналов была выполнена для 136 наблюдений 28 мазеров. Периодическое поведение одной компоненты спектра регистрировалось более чем в 60 сессиях наблюдений 9 мазеров. Наименьший зарегистрированный период был равен 14 мин 58 с (9 периодов в течение сессии), а самый большой период – 146 мин (3 периода в течение сессии). Продолжительность одной сессии ограничена продолжительностью ночи, то есть составляет 6–8 ч и, строго говоря, недостаточна для обеспечения уверенности в периодическом поведении сигналов с периодами более ста минут. Но в некоторых случаях вариации с теми же периодами и нулевыми фазовыми сдвигами были обнаружены в последующих

наблюдениях одних и тех же источников. Поэтому представляется целесообразным также рассматривать такие случаи, как периодические. В этой статье упоминаются только случаи достаточно высокого качества.

В процессе наблюдений были отмечены следующие особенности:

а) периодичность изменения определенной детали того или иного источника имела место не в каждой сессии;

б) некоторые источники имели несколько нестационарных деталей с разными периодами;

в) одна и та же деталь может демонстрировать разные периоды в сессиях, отстоящих на месяцы. Например, линия в W3 (ОН) наблюдалась в 18 сессиях, и только в 11 из них была зарегистрирована периодичность. В двух случаях из этих одиннадцати, которые имели место 26 июня 2009 года и 30 июня 2009 года, был зарегистрирован один и тот же период, равный 68 мин, при этом фазовый сдвиг был равен нулю. Это очень важное обстоятельство, которое показывает, что периодические изменения длились все это время, то есть причина появления пиков в обоих случаях была одной и той же, а также доказывает истинную периодичность наблюдаемого процесса. Кроме того, среди остальных сессий наблюдений источника W3 (ОН) была и такая, в которой другая деталь спектра изменялась с периодом, равным 84 мин.

Результаты наблюдений периодических изменений деталей спектра, соответствующих 6 и более периодам, приведены в табл. 1. Эти данные свидетельствуют о наличии истинно периодических компонент в спектрах мазера с высокой степенью точности. Число периодов изменения детали, наблюдавшихся в течение одной сессии наблюдений, обычно невелико. Поэтому вычисленное положение пика, определяющего период, может быть чувствительным к общему числу используемых каналов регистратора. Чтобы оценить возможную ошибку, разработанная программа последовательно сдвигала левую границу спектра на один канал до 80 % ширины спектра и вычисляла положение пика для каждого такого шага. Затем то же делалось для правой границы, а затем для обеих границ одновременно. После этого вычислялись среднее положение пика и расчетная ошибка.

Таблица 1

**Наблюдения деталей с периодической изменчивостью (6 периодов и более за сеанс)**

Период (мин)	Мазер	Дата (dd.mm.yyyy)	<i>N</i> – число периодов, <i>V</i> – положение детали, км/с	<i>k</i> , %*
14.58(±)0.02	W 3 ОН	13.11.2009	<i>N</i> = 9; <i>V</i> = –52	1.2
21.61(±)0.13	Сеп А	17.04.2009	<i>N</i> = 7; <i>V</i> = –51	1.2
23.14(±)0.05	Сеп А	17.04.2009	<i>N</i> = 6; <i>V</i> = –52	1.6
46.06(±)0.36	Сеп А	16.03.2010	<i>N</i> = 9; <i>V</i> = –60	40.8
50.64(±)0.24	RT Vir	19.10.2010	<i>N</i> = 9; <i>V</i> = –49	24.3
62.91(±)0.32	RT Vir	17.10.2010	<i>N</i> = 7; <i>V</i> = –45	42.4
67.63(±)0.84	RT Vir	18.10.2010	<i>N</i> = 6; <i>V</i> = –52	41.6
81.64(±)1.39	RT Vir	19.10.2010	<i>N</i> = 6; <i>V</i> = –49	27.3

\* – относительное изменение высоты детали.

В табл. 2 приведены результаты наблюдений периодических составляющих спектров, соответствующих менее чем 6 периодам. Точность здесь, естественно, меньше, чем раньше, и истинность периодического характера поведения деталей можно оспорить. Ввиду этого мазер W 3 (2), упомянутый в работе [11], был исключен. Тем не менее представляется интересным обратить внимание на наличие подобных периодов в других источниках.

Таблица 2

Наблюдения деталей с периодической изменчивостью (2–5 периодов за сеанс)

Периоды, мин	Период, мин	Мазер	Дата (dd.mm.yyyy)	$N$ – число периодов, $V$ – положение детали, км/с	$k$ , %*
44	43.8(±)0.68	NML Cyg	22.04.2009	$N = 3; V = -48$	18.7
	43.81(±)0.41	Сеп А	21.04.2009	$N = 3; V = -58$	12.0
46	45.98(±)0.57	NML Cyg	21.04.2009	$N = 3; V = -35$	3.1
	46.14(±)0.52	Сеп А	24.04.2009	$N = 5; V = -52$	10.2
62-63	62.54(±)1.31	NML Cyg	22.04.2009	$N = 2; V = -51$	3.0
	63.07(±)0.37	Сеп А	14.10.2010	$N = 3; V = -51$	0.8
68	67.55(±)1.37	W 51 N	20.12.2009	$N = 2.5; V = -60$	3.3
	68.08(±)0.65	W 3 OH	26.06.2009	$N = 2; V = -61$	6.8
	68.34(±)0.71	W 3 OH	30.06.2009	$N = 2; V = -61$	10.7
	68.08(±)0.68	NML Cyg	16.04.2009	$N = 2.5; V = -51$	2.3
	68.33(±)0.90	Сеп А	21.04.2009	$N = 2; V = -69$	21.9
	68.35(±)0.94	Сеп А	31.07.2009	$N = 3; V = -65$	33.6
	67.77(±)0.5	Сеп А	28.01.2010	$N = 4; V = -38$	30.3
68.54(±)1.67	RT Vir	06.11.2010	$N = 3.5; V = -45$	3.7	
83-84	83.03(±)1.01	W 3 OH	27.08.2009	$N = 2; V = -61$	54.2
	83.06(±)0.76	Сеп А	16.03.2010	$N = 5; V = -46$	41.9
93-94	93.05(+)-0.81	RT Vir	14.11.2009	$N = 3; V = -48$	57.0
	94.11(±)1.52	Rt Vir	18.10.2010	$N = 5; V = -49$	23.2
	94.14(±)1.12	Сеп А	17.03.2010	$N = 2; V = -59$	17.9
110	110.39(±)0.15	RT Vir	15.10.2010	$N = 3; V = -53$	33.8
	110.59(±)3.33	Сеп А	17.03.2010	$N = 2; V = -55$	20.6
	110.15(±)0.76	Сеп А	09.10.2009	$N = 4; V = -51$	8.8
144	143.72(±)1.66	Сеп А	16.03.2010	$N = 3; V = -37$	9.7
	144.19(±)1.9	RT Vir	19.10.2010	$N = 3; V = -53$	14.8
	143.86(±)3.22	RT Vir	12.11.2009	$N = 3; V = -53$	6.9

\* – относительное изменение высоты детали.

Координаты и эпохи, соответствующие мазерам, упомянутым в табл. 1 и 2, приведены в табл. 3. Следует обратить внимание на значительные неопределенности в оценках расстояний.

**Положения мазеров с наблюдаемыми периодическими сигналами**

Мазер	$\alpha(1950)$	$\delta(1950)$	Расстояние (pc)	$V_{LSR}$
Cep A	22 54 19	61 45 44	700	-8
RT Vir	13 00 06	05 27 12	220	14
W 3 OH	02 23 18	61 38 58	1950	-48.81
NML Cyg	20 44 34	39 55 57	1610	-19.6
W 51 N	19 21 22.4	14 25 13.0	7000	63.0

## 5. Интерпретация полученных данных

Для выявления природы периодических процессов, зарегистрированных при наблюдениях с помощью радиотелескопа, следует рассмотреть ряд их возможных причин. Однако предварительно необходимо подчеркнуть специфический характер обсуждаемого сигнала. Во-первых, это не появление нового сигнала на частоте, принадлежащей области спектра в районе 22 ГГц. Сигналом является периодическое изменение интенсивности (высоты пика) одной из деталей спектра, которое имеет частоту порядка  $10^{-3}$ – $10^{-1}$  Гц. Во-вторых, это периодическое изменение *только одной* какой-либо детали спектра, а не всего спектра в целом.

1. *Искусственные артефакты.* Эти причины касаются возможного влияния наземных радиоисточников искусственного происхождения. Их следует исключить, поскольку в окрестности радиоастрономической обсерватории РАН в Пушино ведется соответствующий контроль. Кроме того, первоначальная обработка сигнала включает исключение подложек, оказывающих переменные воздействия *на все* сигналы, принимаемые антенной, как аппаратными средствами, так и в процессе обработки данных.

2. *Геофизические поля.* Известно, что целый ряд процессов, в том числе стохастических, исследуемых в лабораториях на Земле, обнаруживает регулярные составляющие не вполне ясного происхождения. Следует отметить, что среди всего набора периодов, обнаруженных в исследуемых сигналах космических мазеров, имеется целый ряд периодов, совпадающих с теми, которые связывают с геофизическими воздействиями. Последние иногда относят на счет влияния солнечного ветра на атмосферу или ионосферу, но чаще их природа остается неясной. Их относительное влияние на тот или иной изучаемый сигнал, как правило, составляет *десятые доли процента*, в то время как величина сигналов космических мазеров, исследуемых в данной работе, достигает до *десятков процентов* от основного сигнала (величина  $k$ , %, в таблицах), то есть от величины потока на определенной частоте, и по своему влиянию превосходит упомянутые геофизические воздействия на два порядка.

Кроме того, все компоненты спектра мазера расположены в килогерцовой близости от наблюдаемого гигагерцового центра спектра, поэтому не удастся предложить причину для миллигерцового воздействия геофизической погоды, влияющего лишь на *единственную деталь* спектра из всего их набора. Рассмотрим, например, влияние вариации излучения молекул воды в

атмосфере Земли в результате вариации ионосферных (или иных) полей на сигнал, принимаемый антенной радиотелескопа. Молекулярный переход, на котором излучает космический мазер, – один и тот же во всех конденсациях мазерного облака, а наблюдение его в виде целого спектра связано с доплеровскими сдвигами из-за движения самих конденсаций. Периодическое воздействие электромагнитного поля ионосферы могло бы повлиять на соответствующий переход в молекуле воды в атмосфере, что привело бы и к дополнительной засветке в сигнале. Такое воздействие может сдвигать или расщеплять наблюдаемую линию, но этого не наблюдается. Кроме того, оно могло бы также (периодически) изменять постоянную распада соответствующего возбужденного состояния молекулы. Последнее приведет к изменениям интенсивности линии, что и наблюдается в измерениях, однако в околоземных условиях соответствующая линия молекул водяного пара (не говоря уже о множестве других переходов, участвующих в излучении) будет существенно уширена из-за теплового движения молекул, и даст вклад на всем интервале частот спектра. Таким образом, предполагаемое периодическое воздействие геофизического происхождения затронуло бы всю область спектра, чего в нашем случае также не наблюдается.

3. *Межзвездные электромагнитные поля.* Они также не годятся для объяснения природы исследуемого сигнала по причинам, связанным со спецификой сигнала, подчеркнутой в начале этого раздела.

4. *Местные эффекты в окрестности мазера.* Если поведение активной звезды в окрестности мазера имеет периодический характер, то механизм накачки действует в соответствии с ним, и это могло бы разумно объяснить периодическое изменение интенсивности излучения всех конденсаций мазерного облака, то есть всего спектра. При этом наблюдаемые периоды должны были бы иметь одинаковый масштаб времени со звездными процессами. Однако мы наблюдаем периодические изменения интенсивности излучения с периодами в десятки минут, причем изменения происходят только с одной детали, соответствующей одиночной конденсации. Это означает, что эффект не связан с переменной накачкой от близлежащей звезды. Турбулентность внутри конденсации с диаметром в  $10^{\circ}$  а.е. также имеет совсем иной временной масштаб и не подходит для объяснения величин измеренных периодов.

Таким образом, перечисленные возможности не могут являться вероятными причинами регистрируемого сигнала по сравнению с эффектом ОМПР, который не содержит противоречий и удовлетворяет всем необходимым требованиям. Тем не менее, поскольку искомый сигнал (периодические изменения одной детали спектра) можно наблюдать не в каждой сессии, можно сделать вывод, что локальные физические условия внутри конденсации также играют определенную роль.

Существование нескольких источников ГВ с разными частотами, которые могут воздействовать на космический мазер и привести к ОМПР, делает его специфическим перестраиваемым (хотя и не контролируемым) приемником ГВ, сигнал которого можно анализировать.

## 6. Использование сигнала ОМПР для поиска его источника

Результаты этого раздела показывают, как использовать наблюдения эффекта ОМПР для разработки гравитационно-волновой астрономии. Найдем короткопериодическую двойную звезду, которая влияет на излучение мазера за счет испускания ГВ, обусловленной вращением двойной системы. Для того чтобы найти подходящие источники ГВ, сначала следует проанализировать геометрическую конфигурацию, дающую возможность наблюдать эффект. Волновой вектор ГВ должен быть перпендикулярен линии зрения, соединяющей мазер и Землю. Это означает, что возможные местоположения короткопериодических двойных объектов, которые могли бы повлиять на наблюдаемый мазер, относятся к окрестности плоскости основания конуса с Землей в его вершине (рис. 3).

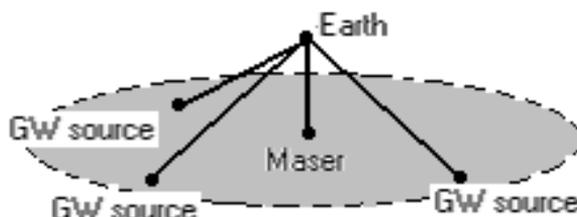


Рис. 3

О том, что некоторая звезда является двойной, обычно заключают, наблюдая изменение интенсивности в ее светимости. Это означает, что местоположение Земли близко к плоскости вращения этой двойной системы, причем в данном случае чувствительность аппаратуры должна быть достаточно высокой. ГВ, испускаемая этой двойной, воздействует на мазер наиболее сильно, когда этот мазер также расположен близко к плоскости вращения двойной системы. Эти соображения дают ключ к поиску систем-кандидатов для участия в описанном эффекте. В табл. 4 приведены примеры двойных, удовлетворяющих указанным выше геометрическим условиям. Следует обратить внимание, что уравнение (8) означает, что период требуемой двойной системы должен быть в два раза больше периода изменения составляющей спектра мазера.

Таблица 4

Примеры возможных источников ГВ, действующих на наблюдаемые мазеры

Период м., мин	Мазер	Двойная	Период дв., мин	Ra (HH MM SS)	Dec (dd mm ss)
44	Sep A NML Cyg	SBC9 2050AB	86.3136	09 58 54.94	66 53 10.2
46	NML Cyg Sep A	SBC9 2431AB	91.6704	09 47 11.94	51 54 8.9

Период м., мин	Мазер	Двойная	Период дв., мин	Ra (HH MM SS)	Dec (dd mm ss)
62-63	NML Cyg Cep A	SDSS J073817+285520 AB	126.0	07 38 17.74	28 55 19.7
68	W 51 N W 3 OH NML Cyg Cep A RT Vir	KID 08912468 <sup>1</sup> V0524 And <sup>2</sup> V2214 Cyg <sup>3</sup>	136.5624 136.0699 136.9598	20 00 27.74 01 05 47.15 19 32 14.81	45 10 04.4 44 35 03.7 27 58 35.5
83	W 3 OH Cep A	V592 Cas	165.6907	00 20 52.24	55 42 16.2
93-94	Rt Vir Cep A	BOKS-35105	187.2	19 38 31.37	46 41 19.2
110	RT Vir Cep A	BP Lyn AB	220.05	09 03 8.89	41 17 47.6
144	RT Vir Cep A	V963 Ori AB	288.0	06 19 16.9	20 34 48.0

<sup>1</sup> KID 08912468 – затменная двойная система, то есть ее орбитальная плоскость расположена так близко к лучу зрения наблюдателя (наклон плоскости орбиты к плоскости, ортогональной к лучу зрения, близок к 90 град.), что компоненты системы периодически затмевают друг друга. Следовательно, наблюдатель регистрирует изменения видимой совокупной яркости системы с периодом, совпадающим с периодом орбитального движения ее компонент.

<sup>2</sup> V0524 And – не совсем понятно, что за переменная эта звезда. Она упомянута как затменная [27], но в каталоге (AAVSO) она отнесена к типу SXPHE. Это пульсирующие субкарлики старой дисковой галактической популяции со спектральными типами в диапазоне A2-F5. Они могут проявлять несколько одновременных периодов колебаний светимости, обычно в диапазоне 0,04–0,08 дня, с изменениями светимости с переменной амплитудой, которые могут достигать 0,7 з.в. в фиолетовом диапазоне. Эти звезды присутствуют в шаровых скоплениях. Поскольку ее период  $T = 136,0699$  мин, следует отметить, что для двух сессий наблюдений W3OH фазы коррелированы при  $T = 68,035$  мин. Поэтому между двумя последующими сессиями, упомянутыми в табл. 2, содержится ровно 146 периодов.

<sup>3</sup> V2214 Cyg – вращающаяся эллипсоидальная переменная, то есть это тесная двойная система с эллипсоидальными компонентами, которая изменяет комбинированную яркость с периодом, равным периоду орбитального движения из-за изменений излучающей области в сторону наблюдателя, но не показывает никакого затмения [28].

## 7. Влияние анизотропии на условия ОМПР

Решение вопроса о выборе оптимальной геометрии, используемой для описания явлений галактического и космологического масштаба, в частности о выявлении анизотропии, связанной с движением массивных тел, будет носить фундаментальный характер [2]. Для того чтобы подойти к такому

решению, необходимо сначала внести соответствующие изменения в уравнение геодезической и уравнение эйконала и выявить влияние анизотропной метрики на условия ОМПР. А затем выполнить наблюдения эффекта ОМПР при воздействии на один и тот же мазер со стороны источников ГВ, имеющих различные положения по отношению к плоскости галактики и направлению движения Солнца по своей орбите.

Соответствующее теоретическое исследование было проведено в работах [29–30]. Оказалось, что волновые решения по-прежнему существуют, но ожидаемо становятся зависящими от направления. В результате изменений в уравнении эйконала и уравнении геодезической условия ОМПР также изменяются. При наличии анизотропии условия ОМПР содержат зависимость от ориентации системы «мазер–Земля–источник ГВ» относительно плоскости галактики. Это означает, что в наблюдениях будут обнаружены особенности: некоторые наблюдаемые двойные системы, находящиеся в определенных направлениях на небосводе, не приведут к возникновению сигнала ОМПР. Для того чтобы такие обстоятельства могли быть надежно интерпретированы, необходимо получить статистически значимое количество наблюдений.

## 8. Обсуждение

Задачей настоящей работы являлся анализ результатов астрономических наблюдений, которые могут быть использованы для подтверждения геометрической теории АГД наряду с наблюдениями, упомянутыми во Введении. Представленный материал естественно разделить на три части, каждая из которых может представлять отдельный и самостоятельный интерес.

Первая часть касается явлений, происходящих в астрофизических мазерах, а именно сверхбыстрой (порядка минут или часов) вариации потока излучения мазера. Как правило, неясно, что могло бы быть причиной таких вариаций на пространственных масштабах, характерных для космических радиоисточников, и в этом случае вариации иногда рассматриваются как артефакты процедуры наблюдений неясного происхождения. Имея дело с более конкретными наблюдениями, такими как изменение или даже периодическое изменение *одной* детали спектра, считать их наблюдательными артефактами нет оснований. Турбулентные вихри с соответствующими периодами, которые могут присутствовать в конденсации, содержат слишком малое количество молекул для получения наблюдаемого сигнала. Кроме того, не удастся предложить физический процесс в объекте размером 1–100 а.е., который регулярно демонстрирует периодичность порядка десятков минут.

Вторая часть касается интерпретации. Механизм эффекта ОМПР в его оптико-механическом варианте сходен с эффектами, которые уже наблюдались в лаборатории (см. Обсуждение в [14]) и могут иметь приложения. В своей оптико-метрической форме [10] ОМПР может быть еще более перспективным, поскольку используется в ситуации, где двухуровневая модель подходит как нельзя лучше. Привлечение для интерпретации наблюдений

гравитационного излучения с чрезвычайно малыми амплитудами волн, создаваемых периодическими источниками, на первый взгляд представляется экзотическим. Однако ОМПР является эффектом нулевого порядка по амплитуде возмущения, а это означает, что большинство известных проблем детектирования ГВ не возникает. Вместо них возникает проблема существования и обнаружения реальной астрофизической системы, в которой выполняются условия ОМПР. Подходящим кандидатом на роль источника ГВ могла бы быть вращающаяся нейтронная звезда, частота которой измерена с высокой точностью, но ее гравитационная эллиптичность слишком мала и ее частота вращения слишком велика, чтобы можно было выполнить наблюдения с помощью существующих радиотелескопов. Другим таким кандидатом является короткопериодическая двойная звезда. Найденные в каталогах возможные примеры для обоих случаев были приведены в [15]. Оказалось, что необходимые наблюдательные данные могут быть получены не только непосредственно с помощью специального устройства, установленного на телескопе, но и извлечены из наблюдений излучения космических мазеров, имеющих общий характер. При этом периодически меняющаяся деталь в спектре была обнаружена в том числе и в одной из систем, предсказанных в [15]. Для различных внутренних условий конденсация космического мазера может быть своеобразным приемником для различных источников ГВ и проявлять несколько нестационарных спектральных характеристик.

Третья часть касается того обстоятельства, что, хотя количество известных короткопериодических двойных не очень велико, для каждого наблюдаемого периода было обнаружено несколько подходящих источников. Поэтому следует учитывать геометрическую конфигурацию системы «двойная–Земля–мазер», ориентацию орбиты двойной звезды, а также иметь в виду, что могут существовать двойные, о существовании которых мы пока не подозреваем. Последнее может служить целью отдельных исследований.

Результаты наблюдений эффекта ОМПР, приведенные в данной работе, позволяют надеяться, что дальнейшие независимые наблюдения, проведенные в различных обсерваториях целенаправленно или полученные при обработке уже имеющихся наблюдений излучения астрофизических мазеров, могут быть использованы для определения параметров метрического тензора, пригодного для описания нашей галактики. Одновременно специфические сигналы ОМПР в перспективе могут быть использованы для звездной навигации.

### Литература

1. *Сипаров С.В.* Закон гравитации и модель источника в анизотропной геометродинамике // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. 2009. 2 (12). Т. 6. С. 140–160.
2. *Siparov S.* Introduction to the Anisotropic Geometrodynamics // World Scientific. London – New-Jersey – Singapore, 2011.
3. *Сипаров С.В.* Теория эквивалентности и ее первые результаты // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2012. № 1. С. 99.

4. *Balan V., Bogoslovsky G.Yu., Kokarev S.S., Pavlov D.G., Siparov S.V., Voicu N.* Geometrical Models of the Locally Anisotropic Space-Time // *Journal of Modern Physics*. 2012. V. 3 No. 29. P. 1314-1335. doi: 10.4236/jmp.2012.329170. (arXiv:[ gr-qc astro-ph] 1111.4346)
5. *Siparov S.* Metrical interpretation of field theories // *Proc. of Int. Conf. PIRT-2015*. Moscow: BMSTU, 2015. P. 483-501. (arXiv:1506.03304v1 [physics.gen-ph])
6. URL: <https://www.spacetelescope.org/images/opo9621a/>
7. URL: <https://universetoday.ru/2018/09/27/%D0%B3%D0%B5%D1%80%D1%88%D0%B5%D0%BB%D1%8C-%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BB-%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80-%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8/>
8. *Пименов Р.И.* Анизотропное финслерово обобщение теории относительности как структуры порядка. Сыктывкар, 1987.
9. *Abbott B.P. et al.* Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger // *Physical Review Letters*. 2016. 116, 061102.
10. *Siparov S.* Two-level atom in the field of the gravitational wave: on the possibility of the parametric resonance // *Astronomy&Astrophysics*. 2004. No. 416. P. 815–824.
11. *Siparov S., Samodurov V., Laptev G.* Analysis of time series in space maser signals // *Astronomy&Astrophysics*. 2016. 574, L2, February. DOI 10.1051/0004-6361/201424651
12. *Siparov S., Samodurov V., Laptev G.* Origin of observed periodic components in astrophysical masers' spectra // *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*. 2017. No. 467 (3). P. 2813–2819.
13. *Stenholm S.* Foundations of Laser Spectroscopy. Wiley, New York, 1984.
14. *Siparov S.* Low-frequency external action on a two-level atom in resonant field // *Physical Review A*. 1997. No. 55 P. 3704.
15. *Siparov S.* Theory of the zero order effect suitable to investigate the space-time geometrical properties // *Acta Mathematica APN*. 2008. No. 24 (1). P. 135.
16. *Reid M.J., Moran J.M.* Masers // *Annual review of astronomy and astrophysics*. 1981. V. 19. P. 231–276. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev.aa.19.090181.001311>
17. *Imai H., Watanabe T. et al.* 2002, 3-D Kinematics of Water Masers in the W51A Region // URL: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0207648>. Drissen L., C. Rubert, N. St-Louis,
18. *Drissen L., Rubert C., St-Louis N., Moffat A.F.J.* Pulsations of Massive Stars // *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. 2012. № 465. P. 3–13.
19. *Goedhart S., Maswanganye J., Gaylard M., van der Walt D.* Periodicity in Class II methanol masers in high-mass star-forming regions // *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*. 2013. No. 437. P. 1808.
20. *Araya E., Hofner P. et al.* Quasi-Periodic Formaldehyde Maser Flares in the Massive Protostellar Object IRAS 18566+0408 // *Astrophysical Journal*. 2010. No. 717. L133.
21. *Szymczak M., Wolak P., Bartkiewicz A., van Langevelde H.J.* Periodic variability of 6.7 GHz methanol masers in G22.357+0.066 // *Astronomy&Astrophysics*. 2011. No. 531. L2.
22. *Сипаров С., Самодуров В.* Периодические компоненты в сигналах космических мазеров и их интерпретация // *Компьютерная Оптика*. 2009. № 30 (1). С. 79. URL: <https://arxiv.org/abs/0904.1875>
23. *Lomb N.* Least-squares frequency analysis of unequally spaced data // *Astrophysics and Space Science*. 1976. No. 39. P. 447.
24. *Scargle J.* Studies in astronomical time series analysis. II: Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data // *Astrophysical Journal*. 1982. No. 236. P. 835.
25. *Ivezic Ž., Connolly A., Vanderplas J. et al.* Statistics, *Data Mining and Machine Learning in Astronomy*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 2014.

26. *Zechmeister M., Kurster M.* The generalised Lomb-Scargle periodogram A new formalism for the floating-mean and Keplerian periodograms // *Astronomy & Astrophysics*. 2009. № 496. P. 577–584. DOI: 10.1051/0004-6361:200811296
27. *Kovaleva D., Kaygorodov P. et al.* Binary star DataBase BDB development: structure, algorithms, and VO standards implementation // *Astronomy and Computings*. 2015. URL: <http://bdb.inasan.ru/>
28. *Kafka S.* Observations from the AAVSO International Database. 2016. URL: <http://www.aavso.org>
29. *Siparov S., Brinzei N.* Space-time anisotropy: theoretical issues and the possibility of an observational test. URL: arXiv: [gr-qc] 0806.3066 v1 18 Jun 2008.
30. *Brinzei N., Siparov S.* Mathematical formalism for an experimental test of the space-time anisotropy // *Astrophysics and Cosmology after Gamow. Proc.4-th Int. Conf. Odessa-2009 / S.K. Chakrabarti, G.S. Bisnovatyi-Kogan, A.I. Zhuk (Eds.)*. P. 152–163, AIP Conf. Proc., Melville, New York. V. 1206.
31. *Imai H., Deguchi S., Sasao T.* Microstructure of water maser features in W3 IRS 5 // *Astrophysical Journal*. 2002. No. 567 (2). P. 971–979.
32. *Imai H., Shibata K.M. et al.* The 3-D kinematics of water masers around the semiregular variable RT Virginis. 2003. URL: <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0302389>.

## ANISOTROPIC GEOMETRODYNAMICS: GALACTIC TEST – STATE OF THE ART

**S.V. Siparov\***

*State University of Civil Aviation  
38 Pilotov St., Saint Petersburg, 196210, Russian Federation*

**Abstract.** Anisotropic geometrodynamics contains all the known results of the general relativity theory. It also makes it possible to interpret a number of observations of the last decades without introducing new entities, but due to a change in the mathematical apparatus, and predicts the observed effects, that have not yet been interpreted. To further test the theory, an experiment is proposed, for which a theory is developed and basic observations are made. An analysis of the data obtained in the course of monitoring observations of 49 astrophysical masers (22 GHz) is presented. It is shown that the results obtained are not a consequence of instrumental errors, geophysical conditions, fluctuations in the interstellar medium, or local conditions in the vicinity of the maser. The interpretation of the observed effect is based on the phenomenon of optical-metric parametric resonance created by the action of gravitational radiation from distant short-period binaries. The stellar systems that satisfy the given conditions are revealed.

**Keywords:** general theory of relativity, rotation curves of spiral galaxies, dark matter, generalized equivalence principle, anisotropic geometrodynamics, optical-metric parametric resonance, close binary stars, observation of periodic gravitational waves.

---

\* E-mail: [sergey@siparov.ru](mailto:sergey@siparov.ru)