

УДК 524.38, 52-17, 524.8

Поиск проходимых кротовых нор в современных наблюдательных данных

Сажина Ольга Сергеевна

cosmologia@yandex.ru

SPIN-код: 7642-0682

Моисеев Юрий Александрович^()*

lxyniti@gmail.com

ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Аннотация. В работе приводятся некоторые методы и предварительные результаты наблюдательного поиска проходимых кротовых нор (КН). Основная рассматриваемая модельная система представляет собой проходимую КН простейшего типа (сшивку двух пространств Шварцшильда), объект А по другую, ненаблюдаемую, сторону горловины КН и объект Б на наблюдаемой стороне. В качестве кандидатов в КН принимается ряд реальных объектов, в настоящее время отождествленных как черные дыры (ЧД). Рассматриваются ЧД звездных масс в двойных системах, а также сверхмассивная ЧД в центре нашей Галактики. В качестве объектов А и Б выступают звезды различных классов. Основная теоретическая предпосылка основана на поисках дополнительного возмущающего ускорения, его характерного систематического влияния на наблюдаемые движения объектов в окрестностях предполагаемых кандидатов в КН. Для проверки модели используются данные космической обсерватории GAIA. С целью проверки модели составлен каталог наиболее перспективных двойных объектов. Для некоторых реальных систем оцениваются возмущающие дополнительные ускорения и вызванные ими характерные периодичности скоростей.

Ключевые слова: проходимые кротовые норы, гравитационные возмущения, космическая обсерватория GAIA

Введение. Кротовые норы (КН) представляют собой структуры пространства-времени нетривиальной топологии. КН были впервые предложены Эйнштейном и Розеном [1] как «мост Эйнштейна — Розена». КН являются решениями классической ОТО наряду с черными дырами (ЧД). В силу многократного уверенного обнаружения ЧД с помощью как наблюдений объектов в их окрестностях, так и с помощью новых методов гравитационно-волновой астрономии, поиск и отождествление КН становится актуальной задачей. КН и ЧД обладают характерными астрофизическими свойствами, которые на текущем уровне моделей и наблюдательных точностей невозможно с достоверностью различить. Однако такое свойство КН как проходимость, свойственное широкому теоретическому классу таких объектов, может позволить получить астрофизические свойства, характерные только для КН. Проходимость КН можно обеспечивать как с помощью обычного вещества [2], так и с помощью экзотической материи. Традиционно вводимая экзотическая материя для стабилизации горловины находит подтверждения в не-

давних исследованиях Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) [3], согласно которым в более ранней Вселенной имело место доминирование экзотического вида темной энергии — фантомной энергии. Таким образом, проходимые КН получают дополнительный косвенный статус реалистичных объектов.

Методы и материалы; результаты. Рассматриваются методы возможного обнаружения проходимых КН, основанные на гравитационном влиянии возмущающего объекта (звезда, объект А) по ту сторону стабильной горловины КН на движения наблюдаемого объекта (звезда, объект Б). Для простоты КН имеет топологическую структуру двух сшивок пространств Шварцшильда. Не смотря на то, что простейшие КН Шварцшильда не могут быть проходимыми, мы принимаем такое приближение без учета метрики вблизи горловины в силу того, что исходя из рассмотрения реальных астрофизических систем объект Б находится на значительном удалении от КН и асимптотическое приближение Шварцшильда может быть применимым. В дальнейшем планируется учет более тонких эффектов, зависящих от вида конкретной метрики и ее параметров для проходимой КН со стабильной горловиной. Исследуются две различные системы, содержащие кандидата в КН.

В качестве кандидатов в КН рассматривается сверхмассивная черная дыра (ЧД) Sgr A* в центре Галактики и ряд звезд (объекты Б), обращающихся по эллиптическим орбитам вокруг нее. В роли объектов Б выступают следующие звезды: S2, S21, S23, S4711, S4, S62. В роли объекта А по другую сторону от горловины КН выступают модельные звезды на эллиптических орбитах.

Рассматриваются кандидаты в КН в виде ЧД звездных масс. В роли объекта Б выступают нейтронные звезды, звезды класса О (VFTS-243) или класса В, в т.ч. объекты GAIA. В роли объекта А по другую сторону от горловины КН аналогично п.1 выступают модельные звезды на эллиптических орбитах.

В работе авторов [4] исследовалось дополнительное возмущающее ускорение, создаваемое объектом А для объекта Б, которое зависит от параметров рассматриваемых систем: массы кандидата в КН, радиуса ее горловины, радиального удаления наблюдаемого объекта от горловины, а от также перигелического и апогелического расстояний возмущающего объекта А. В рассматриваемой модели существенным преимуществом является независимость эффекта от конкретного выбора метрики проходимой КН. Было показано [4], что величина возмущающего ускорения, оцененная для реальных объектов, варьируется от 10^{-4} до 10^{-2} см/с², что в будущем при увеличении точности наблюдений позволит выявить искомый эффект.

В данной работе приводятся новые результаты касательно возможных способов выявления характерных периодичных движений объектов Б при влиянии на них объектов А. Рассматриваются системы S2, GAIA BH1, GAIA BH3. Показано, что выделение эффекта возмущающего ускорения на основании наблюдений лучевой скорости объекта Б и ее сравнения с ожидаемой кеплеровской требует длительных наблюдений (от 10 лет), однако может

быть улучшено путем использования фильтров из искомого сигнала известного профиля. Также отметим, что для звезд в галактическом центре эффект возмущающего ускорения преобладает над основными конкурирующими эффектами (возмущением от окружающих звезд и от гало темной материи), а точность определения ускорения звезды в перицентре орбиты двойной системы по данным GAIA, оцененная как функция ошибок наблюдения параметров двойной системы (масс каждой компоненты, эксцентриситета орбиты, периода), уже сопоставима с предсказываемой моделью расчетной величиной искомого эффекта.

С целью систематического анализа указанных эффектов построен каталог пар «ЧД звездной массы — звезда». Звезды (объекты Б) следует отбирать по принципу определяемых с наименьшими ошибками величин скорости и ускорения, а также не подверженных значительным аккреционным эффектам, которые не учитываются в рассматриваемой модели.

Заключение. В данной работе продолжены поиски наблюдательных проявлений проходимых КН со стабильными горловинами [4], а именно, исследования влияния возмущающего ускорения объекта А (расположенного по другую сторону горловины) на известные наблюдаемые объекты Б (звезды вокруг центра Галактики; звезды в системах, содержащих вторым компонентом ЧЖ звездной массы). По состоянию на 2024 г. точность определения ускорения звезды в перицентре орбиты двойной системы в астрометрическом проекте GAIA сопоставима с предсказываемой моделью расчетной величиной искомого эффекта, от 10^{-4} до 10^{-2} см/с². При рассмотрении синтетических систем, состоящих из проходимой КН, объекта А и нейтронной звезды в качестве объекта Б на стороне наблюдателя при специальном подборе масс и параметров орбит эффект возмущающего ускорения достигает величин порядка 1.5 см/с², что делает исследуемый гравитационный эффект критически значимым для поиска проходимых КН в нашей Галактике.

Дальнейшая стратегия поиска нетривиальных структур во Вселенной с необходимостью должна включать следующие этапы.

Исследование динамических эффектов в отобранных астрофизических системах, а именно: ряд объектов в широких двойных системах из данных миссии Gaia (2024), содержащих темные объекты. В рамках этой задачи планируется организация наблюдательной программы на телескопе БТА САО РАН, как в оптическом диапазоне, так и в режиме спектроскопических измерений. Из выделенных объектов системы Gaia DR3 4318465066420528000 (0.59 кпк) и Gaia DR3 4373465352415301632 (0.48 кпк) доступны для наблюдений в условиях БТА и представляют собой перспективные кандидаты для составления заявки, организации, проведения наблюдательной программы и обработки результатов.

Расчет и моделирование стохастических гравитационных полей с целью учета их влияния на гравитационные возмущения, которые объект А будет оказывать на объект Б.

Список источников

- [1] Einstein A., Rosen N. The Particle Problem in the General Theory of Relativity. *Phys. Rev.*, 1935, vol. 48, art. no. 73.
- [2] Bambi C., Stojkovic D. Astrophysical Wormholes. *Universe*, 2021, vol. 7, no. 5, art. no. 136.
- [3] Lodha K. et al. (DESI Collaboraion) Extended Dark Energy analysis using DESI DR2 BAO measurements. 2025, arXiv:2503.14743v1.
- [4] Моисеев Ю.А., Сажина О.С. Методы и перспективы наблюдательного поиска кротовых нор в астрофизических системах. *ЖЭТФ*, 2025, т. 167, вып. 2, с. 205–219.

Search for Traversable Wormholes in Current Observational Data**Sazhina Olga Sergeevna**

cosmologia@yandex.ru

SPIN-code: 7642-0682

Moiseev Yuriy Aleksandrovich (*)

lxyniti@gmail.com

SAI Lomonosov MSU, Moscow, Russia

Abstract. The paper presents some methods and preliminary results of the observational search for traversable wormholes (WHs). The basic model system under consideration is a traversable WH of the simplest type (a stitching of two Schwarzschild spaces), object A on the other, unobservable, side of the WH neck and object B on the observable side. A number of real objects, currently identified as black holes (BHs), are taken as candidates for WH. BHs of stellar masses in double systems are considered, as well as a supermassive BH in the center of the Galaxy. The objects A and B are stars of different classes. The main theoretical model is based on the search for an additional perturbing acceleration and its characteristic systematic influence on the observed motions of objects in the vicinity of the supposed candidates for WH. Data from the GAIA space observatory are used to test the model. In order to verify the model, a catalog of the most promising double objects is compiled. For some real systems, the perturbing additional accelerations and the characteristic velocity periodicities caused by them are estimated.

Keywords: traversable WH, gravitational disturbances, GAIA space observatory

Introduction. Wormhole (WH) is space-time structure of nontrivial topology. WHs were first proposed by Einstein and Rosen [1] as an “Einstein — Rosen bridge”. WHs are solutions of classical GR along with black holes (BHs). Due to the repeated confident detection of BHs by means of both observations of objects in their neighborhoods and new methods of gravitational-wave astronomy, the search and identification of WHs becomes an urgent task. BHs and WHs have characteristic astrophysical properties that cannot be reliably distinguished at the current level of models and observational accuracies. However, such a property of BHs as traversability, which is characteristic of a wide theoretical class of such objects, may allow us to obtain astrophysical properties characteristic only of WHs. The traversability of the WHs can be ensured both by means of ordinary matter [2] and exotic matter. Traditionally, the introduction of exotic matter to stabilize the

throat is confirmed by recent studies of the Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) [3], according to which the earlier Universe was dominated by an exotic form of dark energy, phantom energy. Thus, passable WHs receive the indirect status of realistic objects.

Methods and materials; results. We consider methods of possible detection of traversable WHs based on the gravitational influence of a perturbing object (star, object A) on the here side of the stable neck of the WH on the motions of the observed object (star, object B). For simplicity, the WH has a topological structure of two stitches of Schwarzschild spaces. Despite the fact that the simplest Schwarzschild WH cannot be traversable, we adopt such an approximation without taking into account the metric near the neck due to the fact that, based on the consideration of real astrophysical systems, the object B is at a considerable distance from the WH and the asymptotic Schwarzschild approximation may be applicable. Two different systems containing a WH candidate are investigated.

The supermassive BH Sgr A* in the center of the Galaxy and a number of stars (B objects) orbiting elliptically around it are considered as candidates for a WH. The following stars act as objects B: S2, S21, S23, S4711, S4, S62. Model stars in elliptical orbits act as object A on the other side of the WH neck.

We consider candidates to WHs in the form of stellar-mass BHs. The role of object B is played by neutron stars, O-class (VFTS-243) or B-class stars, including GAIA objects. Model stars in elliptical orbits also play the role of object A on the other side of the WH neck.

The authors [4] studied the additional perturbative acceleration created by object A for object B, which depends on the parameters of the systems under consideration: the mass of the WH candidate, the radius of its neck, the radial distance of the observed object from the neck, and the pericentric and apocentric distances of the perturbing object A. In the model under consideration, a significant advantage is the independence of the effect from the specific choice of the metric of the traversable WH. It has been shown [4] that the magnitude of the perturbing acceleration estimated for real objects varies from 10^{-4} to 10^{-2} cm/s², which in the future, if the accuracy of observations is increased, will allow us to detect the desired effect.

In this paper we present new results concerning possible ways of revealing characteristic periodic motions of objects B under the influence of objects A. The systems S2, GAIA BH1, GAIA BH3 are considered. It is shown that the identification of the effect of perturbing acceleration on the basis of observations of the radial velocity of object B and its comparison with the expected Keplerian velocity requires long observations (from 10 years), but can be improved by using filters from the sought signal of known profile. We also note that for stars in the galactic center, the effect of perturbing acceleration dominates over the main competing effects (perturbation from surrounding stars and from the dark matter halo), and the accuracy of determining the acceleration of a star in the pericenter of the orbit of a double system from GAIA data, estimated as a function of the errors in observing the parameters of the double system (masses of each component, orbital eccentricity-

ty, and period), is already comparable to the model-predicted calculated value of the desired effect.

In order to systematically analyze these effects, a catalog of stellar-mass “BH — star” pairs was constructed. Stars (objects B) should be selected according to the principle of velocity and acceleration values determined with the smallest errors, as well as those not subject to significant accretion effects.

Conclusion. In this paper, we continue the search for observational manifestations of traversable WHs with stable necks, namely, studies of the effect of the perturbing acceleration of object A (located on the other side of the neck) on the known observable objects B (stars around the center of the Galaxy; stars in systems containing stellar mass BH as the second component). As of 2024, the accuracy of determining the acceleration of a star in the pericenter of the orbit of a double system in the GAIA astrometric project is comparable to the model-predicted calculated magnitude of the desired effect, from 10^{-4} to 10^{-2} cm/s². When considering synthetic systems consisting of a traversable WH, object A and a neutron star as object B on the observer's side with a special selection of masses and orbital parameters, the effect of perturbative acceleration reaches values of the order of 1.5 cm/s², which makes the studied gravitational effect critically important for the search for traversable WHs in our Galaxy.

The further strategy of search for nontrivial structures in the Universe should include the following stages.

1. Study of dynamical effects in selected astrophysical systems, namely: a number of objects in broad double systems from Gaia mission (2024) data containing dark objects. As part of this task, it is planned to organize an observational program at the BTA telescope of SAO RAS, both in the optical range and in the spectroscopic measurement mode. Of the selected objects, the GAIA DR3 4318465066420528000 (0.59 kpc) and GAIA DR3 4373465352415301632 (0.48 kpc) systems are available for observations at the BTA and represent promising candidates for compiling an application, organizing, conducting an observational program, and processing the results.

2. Calculation and modeling of stochastic gravitational fields in order to take into account their influence on the gravitational perturbations that object A will exert on object B.

References

- [1] Einstein A., Rosen N. The Particle Problem in the General Theory of Relativity. Phys. Rev., 1935, vol. 48, art. no. 73.
- [2] Bambi C., Stojkovic D. Astrophysical Wormholes. Universe, 2021, vol. 7, no. 5, art. no. 136.
- [3] Lodha K. et al. (DESI Collaboraion) Extended Dark Energy analysis using DESI DR2 BAO measurements. 2025, arXiv:2503.14743v1.
- [4] Moiseev Iu. A., Sazhina O. S. Metody i perspektivy nablyudatel'nogo poiska krotovykh nor v astrofizicheskikh sistemah. JETP, 2025, vol. 167, no. 2, pp. 205–219. (In Russ.)