

УДК 52+53.02+539

Выбор правильной теории гравитации по наблюдениям силуэтов черных дыр

Докучаев Вячеслав Иванович^()*

dokuchaev@inr.ac.ru

SPIN-код: 6847-2648

Прокопьев Константин Эдуардович

prokopev@minus.inr.ac.ru

ФГБУ ИЯИ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Быстрый прогресс в развитии и усовершенствовании экспериментальной техники позволит в ближайшем будущем провести наблюдение форм изображений черных дыр с наносекундным угловым разрешением при реализации международного проекта Космической Обсерватории Миллиметрон, разработанного российскими учеными. С помощью Космической Обсерватории Миллиметрон будет проверена общая теория относительности Эйнштейна и ее многочисленные модификации и обобщения в режиме сильного поля, когда эффективный гравитационный потенциал порядка квадрата скорости света. В ближайшие десятилетия наблюдения форм изображений черных дыр станут единственной возможностью выбора правильной теории гравитации в режиме сильного поля. Форма изображения черной дыры зависит от теории гравитации. Недавние первые наблюдения изображений черных дыр SgrA и M87 радиоинтерферометром Телескоп Горизонта Событий подтверждают правильность Общей Теории Относительности (ОТО) Эйнштейна лишь с небольшой точностью.

Ключевые слова: гравитация, черные дыры, космология, астрофизические наблюдения, космические технологии

Введение. Мы представляем краткий обзор модельных изображений вращающихся черных дыр в астрофизических ситуациях, когда существует яркий фон, тонкий аккреционный диск и яркие движущиеся пятна в релятивистских струях вдоль оси вращения черной дыры. Детальные наблюдения астрофизических сверхмассивных черных дыр SgrA* в центре нашей Галактики Млечный Путь и M87* в центре гигантской эллиптической галактики M87 с помощью Миллиметрона позволят определить правильную теорию гравитации [1–10]. Форма изображения черной дыры зависит от теории гравитации в режиме сильного поля, когда гравитационный потенциал порядка квадрата скорости света. Недавние первые наблюдения изображений черных дыр SgrA* и M87* радиоинтерферометром Телескоп Горизонта Событий подтверждают правильность Общей Теории Относительности (ОТО) Эйнштейна лишь с небольшой точностью. В ближайшие десятилетия единственный метод выбора правильной теории гравитации (между ОТО Эйнштейна и ее модификациями) это детальные наблюдения изображений черных дыр с наносекундным угловым разрешением.

Методы и материалы; результаты. Основной метод, используемый в этой статье для описания изображений черных дыр это численное решение геодезических уравнений Картера [11] в метрике вращающейся черной дыры Керра [12].

Заключение. Очень быстрый прогресс экспериментальной техники позволит провести наблюдение изображений астрофизических черных дыр с наносекундным угловым разрешением при реализации международного проекта Космической Обсерватории Миллиметрон, разработанного российскими учеными.

Список источников

- [1] Dokuchaev V.I. Physical origin of the dark spot at the image of supermassive black hole SgrA* revealed by the EHT collaboration. *Astronomy*, 2022, no. 1 (2), pp. 93–98.
- [2] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Modeling the motion of a bright spot in jets from black holes M87* and SgrA*. *Gen. Relativ. Gravit.*, 2021, no. 53, art. no. 83.
- [3] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Silhouettes of invisible black holes. *Physics-Uspekhi*, 2020, no. 63 (6), pp. 583–600.
- [3] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Event horizon image within black hole shadow. *JETP*, 2019, no. 128, pp. 578–585.
- [4] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Visible shapes of black holes M87* and SgrA*. *Universe.*, 2020, no. 6(9), art. no. 154.
- [5] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Brightest point in accretion disk and black hole spin: Implication to the image of black hole M87*. *Universe.*, 2019, no. 5 (8), art. no. 183.
- [6] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O., Smirnov V.P. Event horizon silhouette: implications to supermassive black holes M87* and SgrA*. *Gen. Relativ. Gravit.*, 2019, no. 51, art. no. 81.
- [7] Dokuchaev V.I. To see invisible: image of the event horizon within the black hole shadow. *IJMPD*, 2019, no. 28 (13), art. no. 1941005.
- [8] Gralla S.E., Lupsasca A. Lensing by Kerr black holes. *Phys. Rev. D*, 2020, no. 101, art. no. 044031.
- [9] Kasikci O., Deliduman C. Gravitational Lensing in Weyl Gravity. *Phys. Rev. D*, 2019, no. 100, art. no. 024019.
- [10] Wang K., Feng Ch-J., Wang T. Image of Kerr-de Sitter black holes illuminated by equatorial thin accretion disks. *Eur. Phys. J. C*, 2024, no. 84, art. no. 457.
- [11] Carter B. Global Structure of the Kerr Family of Gravitational Fields. *Phys. Rev.*, 1968, no. 174, art. no. 1559.
- [12] Kerr R. Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics. *Phys. Rev. Lett.*, 1963, no. 11, art. no. 237.

Selection of the valid gravitation theory from observations of black hole images

Dokuchaev Vyacheslav Ivanovich^()*

dokuchaev@inr.ac.ru

SPIN-code: 6847-2648

Prokopev Konstantin Eduardovich

prokopev@minus.inr.ac.ru

FSBI INR RAS, Moscow, Russia

Abstract. A fast progress in the observational technologies in astrophysics provides the unique possibility for detailed observations of black holes in the nearest future. It would be possible to verify general relativity and its numerous modifications in the strong field limit by using observational data from the advanced cosmic interferometric observatories. We review the modeled images of the rotating black hole in different appropriate cases: the luminous distant background, the thin accreting disk and the luminous moving hot spots in relativistic jets along the black hole rotation axis. The detailed observations of astrophysical supermassive black holes SgrA* and M87* would be possible by using the Millimetron Space Observatory proposed and developed by the domestic scientists.

Keywords: gravitation, black holes, cosmology, astrophysical observations, cosmic technologies

Introduction. The possible forms of black hole images depend on the gravity theory in the strong field limit. Recent first observations of the supermassive black hole SgrA* at the center of our Milky Way Galaxy and M87* at the center of the giant elliptical galaxy M87 verified the general relativity theory only qualitatively [1–10]. In recent decades only observations with Millimetron provide the unique possibility for choosing the valid gravity theory in the strong field limit.

Methods and materials; results. The main method used in this paper for description of the black hole images is the numerical solutions of geodesic equations of motion by Brandon Carter [11] for test particles in the Kerr metric [12].

Conclusion. The possible forms of black hole images depend on the gravity theory in the strong field limit. Recent first observations of the supermassive black hole SgrA* at the center of our Milky Way Galaxy and M87* at the center of the giant elliptical galaxy M87 verified the general relativity theory only qualitatively. In the recent decades only observations with Millimetron provide the unique possibility for choosing the valid gravity theory in the strong field limit.

References

- [1] Dokuchaev V.I. Physical origin of the dark spot at the image of supermassive black hole SgrA* revealed by the EHT collaboration. *Astronomy*, 2022, no. 1 (2), pp. 93–98.
- [2] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Modeling the motion of a bright spot in jets from black holes M87* and SgrA*. *Gen. Relativ. Gravit.*, 2021, no. 53, art. no. 83.
- [3] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Silhouettes of invisible black holes. *Physics-Uspekhi*, 2020, no. 63 (6), pp. 583–600.

- [3] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Event horizon image within black hole shadow. JETP, 2019, no. 128, pp. 578–585.
- [4] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Visible shapes of black holes M87* and SgrA*. Universe., 2020, no. 6(9), art. no. 154.
- [5] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O. Brightest point in accretion disk and black hole spin: Implication to the image of black hole M87*. Universe., 2019, no. 5 (8), art. no. 183.
- [6] Dokuchaev V.I., Nazarova N.O., Smirnov V.P. Event horizon silhouette: implications to super-massive black holes M87* and SgrA*. Gen. Relativ. Gravit., 2019, no. 51, art. no. 81.
- [7] Dokuchaev V.I. To see invisible: image of the event horizon within the black hole shadow. IJMPD, 2019, no. 28 (13), art. no. 1941005.
- [8] Gralla S.E., Lupsasca A. Lensing by Kerr black holes. Phys. Rev. D, 2020, no. 101, art. no. 044031.
- [9] Kasikci O., Deliduman C. Gravitational Lensing in Weyl Gravity. Phys. Rev. D, 2019, no. 100, art. no. 024019.
- [10] Wang K., Feng Ch-J., Wang T. Image of Kerr-de Sitter black holes illuminated by equatorial thin accretion disks. Eur. Phys. J. C, 2024, no. 84, art. no. 457.
- [11] Carter B. Global Structure of the Kerr Family of Gravitational Fields. Phys. Rev., 1968, no. 174, art. no. 1559.
- [12] Kerr R. Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics. Phys. Rev. Lett., 1963, no. 11, art. no. 237.