

## ASTROPHYSICAL TESTS OF GENERAL RELATIVITY

*A. F. Zakharov\**

National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow  
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna

At the initial stage of its development, general relativity (GR) was verified and confirmed in a weak gravitational field limit. However, with the development of astronomical observation technologies, GR predictions in a strong gravitational field, such as the profile of the X-ray iron  $K\alpha$  line (in the case if the emission region is very close to the event horizon), the trajectories of stars near black holes and the shapes and sizes of shadows of supermassive black holes in M87\* and Sgr A\* began to be discussed and confirmed. In 2005, it was predicted that a shadow formed near a supermassive black hole at the Galactic Center could be reconstructed from observations of ground-based global VLBI system or ground-space interferometer acting in millimeter or submillimeter bands. In 2022, this prediction was confirmed since the Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration reported about a shadow reconstructions for Sgr A\*. In 2019, the EHT Collaboration presented the first image reconstruction around the shadow for the supermassive black hole in M87\*. In 2021, the EHT Collaboration constrained parameters (“charges”) of spherical symmetrical metrics of black holes from an allowed interval for shadow radius in M87\*. In 2022, the EHT Collaboration constrained charges of metrics for the supermassive black hole at the Galactic Center. Earlier, we obtained analytical expressions for the shadow radius as a function of charge (including a tidal one) in the case of the Reissner–Nordström metric. Based on the results of the shadow size evaluation for M87\* done by the EHT Collaboration, we constrained a tidal charge. We discussed opportunities to use shadows to test alternative theories of gravity and alternative theories for Galactic Centers.

На начальном этапе развития общая теория относительности (ОТО) получила проверку и подтверждение в пределе слабого гравитационного поля. Однако с развитием технологий астрономических наблюдений начали обсуждаться и подтверждаться предсказания ОТО и в сильном гравитационном поле, такие как профиль рентгеновской линии железа  $K\alpha$  (в случае, если область излучения находится очень близко к горизонту событий), траектории частиц и звезды вблизи черных дыр, а также формы и размеры теней сверхмассивных черных дыр в M87\* и Sgr A\*. В 2005 г. было предсказано, что тень черной дыры в галактическом центре может быть восстановлена с помощью метода наблюдений РСДБ в миллиметровом или субмиллиметровом диапазоне, что было подтверждено результатами анализа изображения тени черной дыры для Sgr A\*, полученными

---

\* E-mail: alex.fed.zakharov@gmail.com

коллорацией «Телескоп горизонта событий» (ТГС) в 2022 г. В 2019 г. команда ТГС представила первую реконструкцию изображения вокруг тени сверхмассивной черной дыры в M87\*. В 2021 г. команда ТГС ограничила параметры («заряды») сферически-симметричных метрик черных дыр допустимым интервалом для радиуса тени в M87\*. В 2022 г. коллаборация ТГС реконструировала тень вокруг центра Галактики и ограничила значения показателей для сверхмассивной черной дыры. Ранее были получены аналитические выражения для радиуса тени как функции заряда (в том числе приливного) в случае метрики Рейсснера–Нордстрема. На основе результатов оценки размера тени для M87\*, выполненной командой ТГС, ограничен приливной заряд. Обсуждаются возможности использования теней для проверки альтернативных теорий гравитации и альтернативных теорий для галактических центров.

PACS: 04.80.Cc; 04.20.-q; 04.25.Nx; 04.50.+h; 95.30.Sf; 96.12.Fe;  
04.70.Bw; 98.35.Jk