

УДК 524.882

Гравитационное линзирование и галактическое микролинзирование акустическими черными дырами

Ахтарьянова Гульназ Фанисовна^{1(*)}akht_gul@mail.ru
SPIN-код: 9069-0131*Каримов Рамис Хамитович*¹karimov_ramis_92@mail.ru
SPIN-код: 5150-8235*Хидиров Умурзок Кабилджонович*¹umurzokk@mail.com.ru
SPIN-код: 5980-3255*Измаилов Рамиль Наильевич*^{1,2}izmailov.ramil@gmail.com
SPIN-код: 7629-3535¹БГПУ им. М. Акмуллы, Уфа, Россия²УФИЦ РАН, Уфа, Россия

Аннотация. Мы показываем применение акустических черных дыр в качестве линз, рассматриваемых как объекты гало темной материи в галактическом микролинзировании. Для иллюстрации рассмотрим простейший случай, когда при значении параметра настройки $\xi = 0$ решение сводится к метрике Шварцшильда. Параметр настройки $\xi \neq 0$ можно рассматривать как наличие дополнительной степени свободы, отличающий это решение от черной дыры Шварцшильда. В настоящей работе мы исследуем влияние ξ на наблюдаемые параметры микролинзирования, сравнивая их с линзированием черной дыры Шварцшильда. По сравнению с кривыми блеска черной дыры Шварцшильда, кривые блеска линз акустических черных дыр показывают различия по времени, которое требуется источнику для пересечения кольца Эйнштейна. Оптическая глубина и частота событий рассчитываются, предполагая, что линза черной дыры будет гравитационно связана и не связана с балджем Галактики и Большим Магеллановым облаком, которые могут содержать линзированные звезды. Ожидается, что будущие эксперименты по галактическому микролинзированию позволят ограничить параметр ξ .

Ключевые слова: акустические черные дыры, гравитационное линзирование, кривые блеска

Введение. Как важное применение гравитационного искривления света, слабое гравитационное линзирование и микролинзирование становятся мощным инструментом в физике, астрономии и космологии [1, 2]. Теории гравитации и их решения должны быть проверены с помощью эффектов гравитационного искривления и наблюдений слабого гравитационного линзирования [3]. Акустическая черная дыра — это явление, при котором фононы (звуковые возмущения) не могут покинуть область жидкости, которая течет быстрее локальной скорости звука. Их называют звуковыми или акустическими черными дырами, поскольку захваченные фононы похожи на свет в астрофизи-

ческих (гравитационных) черных дырах. Звуковые черные дыры возможны, поскольку фононы в идеальных жидкостях проявляют те же свойства движения в пространстве-времени, что и поля, такие как гравитация. По этой причине система, в которой может быть создана звуковая черная дыра, называется гравитационным аналогом. Почти любая жидкость может быть использована для создания акустического горизонта событий, но вязкость большинства жидкостей создает хаотическое движение, что делает практически невозможным обнаружение таких явлений, как излучение Хокинга [6].

Методы и материалы; результаты. Метрику пространства-времени для акустической черной дыры Шварцшильда можно в конечном итоге представить как

$$ds^2_{acoustic} = -f(r)dt^2 + \frac{1}{f(r)}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (1)$$

где функция $f(r)$ определяется как

$$f(r) = (1 - 2Mr)[1 - \xi 2Mr(1 - 2Mr)]. \quad (2)$$

Целью данной работы является изучение галактического микролинзирования акустическими черными дырами, когда линзируемые звезды находятся в Галактическом балдже или в Большом Магеллановом облаке. Мы проанализируем, частично следуя методу Абэ [6], наблюдаемые параметры линзирования, такие как угол отклонения света, положения изображений, увеличение, центроид и временная задержка изображений, включая вероятностные характеристики, такие как оптическая глубина и частота событий, предполагая случаи, когда акустическая черная дыра гравитационно связана или не связана с Галактикой. Мы проанализируем поведение кривых блеска Пачинского. В ходе анализа влияние параметра настройки ξ будет сравниваться с эффектами линзирования черной дыры Шварцшильда.

Заключение. Явление линзирования компактными объектами является активной областью современных исследований, которые могут помочь обнаружить природу линзы из наблюдаемых сигнатур линзирования. В настоящей работе рассматриваются акустические черные дыры [7]. Эти объекты могут обеспечить новые приложения для галактического микролинзирования, когда конфигурация недостаточно чистая, то есть, когда дополнительное распределение материи-энергии окружает линзу, например, пыль или некоторое энергетическое поле. Анализ показывает влияние параметра настройки ξ , который увеличивает угол отклонения света. Также увеличение параметра настройки ξ приводит к увеличению кольца Эйнштейна и углового кольца Эйнштейна. Это означает, что чем параметр настройки ξ , тем короче время для увеличения яркости. По сравнению с акустической черной дырой, кривая блеска черной дыры Шварцшильда намного тусклее.

Список источников

- [1] Wambsganss J. Gravitational lensing in astronomy. *Living Rev. Relativ.*, 1998, vol. 1, no. 12.
- [2] Bartelmann M., Schneider P. Weak gravitational lensing. *Phys. Rept.*, 2001, vol. 340, pp. 291–472. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(00\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(00)00082-X)
- [3] Akhtaryanova G.F., Karimov R.K., Izmailov R.N. et al. Galactic microlensing by backreacted massless wormholes. *Gen Relativ Gravit.*, 2024, vol. 56, no. 58. <https://doi.org/10.1007/s10714-024-03246-4>
- [4] Visser M. Acoustic black holes: Horizons, ergospheres and Hawking radiation. *Classical and Quantum Gravity*, 1998, vol. 15, iss. 6, pp. 1767–1791. arXiv:gr-qc/9712010. Bibcode: 1998CQGr.15.1767V. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/15/6/024>
- [5] Steinhauer J. Observation of quantum Hawking radiation and its entanglement in an analogue black hole. *Nature Physics*, 2016, vol. 12 (10), pp. 959–965. arXiv:1510.00621. Bibcode:2016NatPh.12.959S. <https://doi.org/10.1038/nphys3863>
- [6] Abe F. Gravitational Microlensing by the Ellis Wormhole. *Astrophys. J.*, 2010, vol. 725, pp. 787–793. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/725/1/787>
- [7] Unruh W.G. Experimental Black-Hole Evaporation. *Phys. Rev. Lett.*, 1981, vol. 46, pp. 1351–1353.

Gravitational Lensing and Galactic Microlensing by Acoustic Black Holes

Akhtaryanova Gulnaz Fanisovna^{1(*)}

akht_gul@mail.ru
SPIN-code: 9069-0131

Karimov Ramis Khamitovich^{2(*)}

karimov_ramis_92@mail.ru
SPIN-code: 5150-8235

*Hidirov Umurzoq Kabiljonovich*¹

umurzokk@mail.com.ru
SPIN-code: 5980-3255

Izmailov Ramil Nailevich^{1,2}

izmailov.ramil@gmail.com
SPIN- code: 7629-3535

¹BSPU M. Akmullah, Ufa, Russia

²UFRC RAS, Ufa, Russia

Abstract. We show an application of acoustic black holes as lenses treated as dark matter halo objects in Galactic microlensing. We shall consider for illustration the simplest case which, for the tuning parameter $\xi = 0$, resemble Schwarzschild metric. The tuning parameter $\xi \neq 0$ can be treated as providing an extra degree of freedom distinct from the Schwarzschild black hole. In the present work, we investigate the influence of ξ on the microlensing observables comparing them with the Schwarzschild black hole lensing. Compared to the Schwarzschild black hole light curves, those by the acoustic black hole lenses show differences immediately outside the times the source takes in crossing the Einstein ring. The optical depths and event rates are calculated assuming the black hole lens to be bound and unbound to the Galactic Bulge and to the Large Magellanic Cloud that contain the lensed stars. Future experiments on galactic microlensing are expected to impose observational constraints on ξ .

Keywords: acoustic black holes, gravitational lensing, light curves

Introduction. As the important application of gravitational bending, the weak gravitational lensing and microlensing are becoming a powerful tool in physics, astronomy and cosmology [1, 2]. The gravity theories and their solutions should be tested from the gravitational bending effects and weak gravitational lensing observations [3]. An acoustic black hole is a phenomenon in which phonons (sound disturbances) cannot leave a region of liquid that flows faster than the local speed of sound. They are called sonic or acoustic black holes because the captured phonons are similar to light in astrophysical (gravitational) black holes. Sonic black holes are possible because phonons in ideal liquids exhibit the same properties of motion as fields such as gravity in spacetime. For this reason, a system in which a sonic black hole can be created is called a gravitational analog. Almost any liquid can be used to create an acoustic event horizon, but the viscosity of most liquids creates chaotic motion, making it almost impossible to detect phenomena such as Hawking radiation [6].

Methods and materials; results. The spacetime metric for acoustic Schwarzschild black hole can eventually be derived as

$$ds^2_{acoustic} = -f(r)dt^2 + \frac{1}{f(r)dr^2} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (1)$$

where function $f(r)$ is defined as:

$$f(r) = (1 - 2Mr)[1 - \xi 2Mr(1 - 2Mr)]. \quad (2)$$

For the fluid velocity to be real, the tuning parameter must satisfy the condition $\xi \geq 0$.

The purpose of this work is to study Galactic microlensing by acoustic black holes, when the source stars are in the Galactic Bulge or in the Large Magellanic Cloud. We shall analyze, partially following Abe [6], the lensing observables such as the light deflection angle, image positions, magnification, centroid and time delay of images including the probabilistic features such as optical depth and event rate assuming the acoustic black holes lens to be bound or unbound to our Galaxy. We shall analyze the behavior of the Paczyński light curves. In the analysis, the effects of tuning parameter ξ will be compared with those of the Schwarzschild black hole.

Conclusion. The lensing phenomenon by compact objects is an active area of current research that can help detecting the nature of the lens from the observable lensing signatures. The present work considered acoustic black holes [7]. These objects could provide novel applications to galactic microlensing, when the configuration is not clean enough, that is, when additional matter-energy distribution surrounds the lens, for instance, dust or some energy field. The analysis shows the influence of tuning parameter ξ which increases light deflection angle. Also increasing of tuning parameter ξ leads to increase of Einstein ring and angular Einstein ring. This means that the tuning parameter ξ , the shorter the time for increasing brightness. Compared to the acoustic black hole, the light curve of Schwarzschild black hole is much dimmer.

References

- [1] Wambsganss J. Gravitational lensing in astronomy. *Living Rev. Relativ.*, 1998, vol. 1, no. 12.
- [2] Bartelmann M., Schneider P. Weak gravitational lensing. *Phys. Rept.*, 2001, vol. 340, pp. 291–472. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(00\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(00)00082-X)
- [3] Akhtaryanova G.F., Karimov R.K., Izmailov R.N. et al. Galactic microlensing by backreacted massless wormholes. *Gen Relativ Gravit.*, 2024, vol. 56, no. 58. <https://doi.org/10.1007/s10714-024-03246-4>
- [4] Visser M. Acoustic black holes: Horizons, ergospheres and Hawking radiation. *Classical and Quantum Gravity*, 1998, vol. 15, iss. 6, pp. 1767–1791. arXiv:gr-qc/9712010. Bibcode:1998CQGra.15.1767V. <https://doi.org/10.1088/0264-9381/15/6/024>
- [5] Steinhauer J. Observation of quantum Hawking radiation and its entanglement in an analogue black hole. *Nature Physics*, 2016, vol. 12 (10), pp. 959–965. arXiv:1510.00621. Bibcode:2016NatPh.12.959S. <https://doi.org/10.1038/nphys3863>.
- [6] Abe F. Gravitational Microlensing by the Ellis Wormhole. *Astrophys. J.*, 2010, vol. 725, pp. 787–793. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/725/1/787>
- [7] Unruh W.G. Experimental Black-Hole Evaporation. *Phys. Rev. Lett.*, 1981, vol. 46, pp. 1351–1353.