

УДК 524.8

Некоторые аспекты эволюции двойных первичных черных дыр

Ерошенко Юрий Николаевич^{1(*)}

eroshenko@inr.ac.ru

*Стасенко Виктор Дмитриевич*²

vdstasenko@mephi.ru

¹Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия²НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

Аннотация. Исследовано слияние двойных первичных черных дыр в эволюционирующем гало темной материи. Если первичные черные дыры составляют лишь малую долю всей темной материи, а остальная ее часть состоит, например, из элементарных частиц, то вокруг пары черных дыр неизбежно должно образовываться и нарастать со временем гало из темной материи. Показано, что в результате несферичности сжатия слоев темной материи имеется непрерывный поток темной материи через центр гало. Пролеты темной материи влияют на эволюцию орбиты пары черных дыр, отбирая энергию орбитального движения. Этот эффект приводит к ускоренному сжатию орбиты пары и уменьшению времени до слияния черных дыр. Это, в свою очередь, приводит к изменению темпа гравитационных всплесков, сопровождающих слияния черных дыр, и может иметь значения для гравитационно-волновой астрономии.

Ключевые слова: космология, гравитационные волны, первичные черные дыры, темная материя

Введение. Гипотеза о возможности образования в ранней Вселенной первичных черных дыр (ПЧД) была высказана в 1966 г. в работе Я.Б. Зельдовича и И.Д. Новикова [1]. С тех пор было разработано несколько моделей их образования. ПЧД могут играть важную роль в ряде астрофизических процессов и в космологии. В частности, они могут образовывать гравитационно-связанные двойные системы, и их слияния в парах может объяснять некоторую часть гравитационно-волновых событий, регистрируемых детекторами LIGO/Virgo/KAGRA. Если ПЧД составляют только малую часть темной материи, то оставшаяся темная материя должна образовывать вокруг пар эволюционирующее гало темной материи. В данной работе рассмотрено влияние потоков темной материи сжимающихся слоев гало на эволюцию орбиты пары черных дыр в центре гало.

Методы и материалы; результаты. В работе записываются уравнения для эволюции гало темной материи вокруг пары ПЧД и рассматривается последовательный пролет несферических слоев темной материи после их отщепления от космологического расширения и первого сжатия. Поскольку существуют направления с нулевым угловым моментом [2], слои темной материи принимают уплощенную форму и проходят через центр гало до тех пор, пока происходит отщепление новых слоев (пока гало не стабилизирует-

ся). В работе рассчитан поток темной материи через центр гало. С помощью найденного потока вычисляется влияние темной материи на орбиту пары ПЧД с помощью формализма Квинлана [3].

В качестве факторов, определяющих несферичность сжатия гало, рассмотрено приливное гравитационное влияние инфляционных возмущений плотности и соседних (по отношению к рассматриваемой паре) ПЧД. Получено, что поток темной материи из эволюционирующего гало существенно ускоряет процесс слияния ПЧД с массами 30 масс Солнца. Для объяснения данных LIGO/Virgo/KAGRA требуется примерно на порядок меньше ПЧД по сравнению со случаем, когда гало не учитывается.

Заключение. Расчет эволюции орбиты пары ПЧД показал важность учета потока темной материи из окружающего гало через область орбиты. В случае ПЧД с массами порядка 30 масс Солнца темп слияния значительно ускоряется, что важно для объяснения данных гравитационно-волновых детекторов LIGO/Virgo/KAGRA в моделях с ПЧД.

Список источников

- [1] Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Гипотеза задержавшихся в расширении ядер и горячая космологическая модель. *Астрономический журнал*, 1966, т. 43, № 4, с. 758–760.
- [2] Sikivie P., Tkachev I.I., Wang Y. Secondary infall model of galactic halo formation and the spectrum of cold dark matter particles on Earth. *Phys. Rev. D*, 1997, vol. 56, no. 4, pp. 1863–1878.
- [3] Quinlan G.D. The dynamical evolution of massive black hole binaries I. Hardening in a fixed stellar background. *New Astronomy*, 1996, vol. 1, no. 1, pp. 35–56.

Some Aspects of the Evolution of Binary Primordial Black Holes

Eroshenko Yuri Nikolaevich¹

eroshenko@inr.ac.ru

Stasenko Viktor Dmitrievich²

vdstasenko@mephi.ru

¹Institute for Nuclear Research RAS, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

Abstract. The merge of binary primordial black holes in an evolving dark matter halo has been investigated. If primordial black holes make up only a small fraction of all dark matter, and the rest of it consists, for example, of elementary particles, then a halo of dark matter must inevitably form and grow over time around a pair of black holes. It is shown that as a result of the non-spherical compression of the dark matter layers, there is a continuous flow of dark matter through the center of the halo. The passage of dark matter affects the evolution of the orbit of a pair of black holes, taking away the energy of the orbital motion. This effect leads to an accelerated contraction of the pair's orbit and a decrease in the time before the black holes merge. This, in turn, leads to a change in the rate of gravitational bursts accompanying black hole mergers, and may have implications for gravitational-wave astronomy.

Keywords: cosmology, gravitational waves, primordial black holes, dark matter

Introduction. The hypothesis about the possibility of the primordial black holes (PBHs) formation in the early Universe was proposed in 1966 in the work of Ya.B. Zeldovich and I.D. Novikov [1]. Since then, several models of their formation have been developed. PBHs can play an important role in a number of astrophysical processes and in cosmology. In particular, they can form gravitationally bounded binary systems, and their mergers in pairs can explain some of the gravitational wave events detected by the LIGO/Virgo/KAGRA detectors. If the PBHs make up only a small part of the dark matter, then the remaining dark matter should form an evolving halo of dark matter around the pairs. In this paper, we consider the influence of dark matter fluxes from shrinking halo layers on the evolution of the orbits of a pair of PBHs in the center of the halo.

Methods and materials; results. In this paper, we write down equations for the evolution of a dark matter halo around a pair of PBHs and consider the sequential passage of non-spherical layers of dark matter after their separation from cosmological expansion and first contraction. Since there are directions with zero angular momentum [2], the layers of dark matter take on a flattened shape and pass through the center of the halo until new layers are split off (until the halo stabilizes). The paper calculates the flow of dark matter through the center of the halo. Using the found flow, the influence of dark matter on the orbit of a PBH pair is calculated using the Quinlan formalism [3].

The tidal gravitational influence of inflationary density perturbations and neighboring (relative to the pair under consideration) PBHs is considered as factors determining the non-spherical compression of the halo. It has been found that the flow of dark matter from the evolving halo significantly accelerates the process of the PBHs merge (with masses of 30 solar masses). To explain the LIGO/Virgo/KAGRA data, it takes about an order of magnitude less PBHs compared to the case when the halo is not taken into account.

Conclusion. The calculation of the evolution of the orbit of a pair of PBHs showed the importance of taking into account the flow of dark matter from the surrounding halo through the orbital region. In the case of black holes with masses of about 30 mass of the Sun, the rate of merge accelerates significantly, which is important for explaining the data of the LIGO/Virgo/KAGRA gravitational wave detectors in models with PBHs.

References

- [1] Zel'dovich Ya.B., Novikov I.D. The Hypothesis of Cores Retarded during Expansion and the Hot Cosmological Model. *Sov. Astron.*, 1967, vol. 10, no. 4, pp. 602–603. (In Russ.).
- [2] Sikivie P., Tkachev I.I., Wang Y. Secondary infall model of galactic halo formation and the spectrum of cold dark matter particles on Earth. *Phys. Rev. D*, 1997, vol. 56, no. 4, pp. 1863–1878.
- [3] Quinlan G.D. The dynamical evolution of massive black hole binaries I. Hardening in a fixed stellar background. *New Astronomy.*, 1996, vol. 1, no. 1, pp. 35–56.