

Экспериментальные и теоретические поиски первичных черных дыр

П.А. Климай¹, Э.В. Бугаев^{1,2}

¹Институт ядерных исследований РАН, ²Московский физико-технический институт

(государственный университет)

pklimai@gmail.com

Первичные черные дыры (ПЧД) – гипотетические объекты, которые могли рождаться в ранней Вселенной в результате гравитационного коллапса достаточно больших флуктуаций плотности на малых масштабах длин волн [1]. Количество образующихся ПЧД определенной массы M зависит от амплитуды начальных флуктуаций плотности на соответствующем масштабе, которая на сегодняшний день не известна, но может быть вычислена теоретически в рамках некоторой (например, инфляционной) модели эволюции Вселенной. Кроме того, рассмотрение процесса рождения ПЧД позволяет в конце концов дать ограничения на амплитуду самих начальных флуктуаций [1, 2].

В зависимости от начальной массы M , рождение ПЧД может иметь разные следствия для наблюдательной космологии. Достаточно массивные ПЧД являются одним из наиболее вероятных [3] кандидатов на роль темной материи во Вселенной. Более легкие ПЧД испаряются вследствие процесса Хокинга, и могут быть обнаружены по своему излучению.

На сегодняшний день ПЧД не обнаружены, но имеется ряд ограничений на их концентрацию из разных соображений [1].

В области масс $M \sim 10^{34} - 10^{43}$ г. количество ПЧД может быть ограничено за счет их возможного влияния на крупномасштабную структуру Вселенной и на фон космического микроволнового излучения.

В диапазоне $M \sim 10^{32} - 10^{34}$ г. имеется интересная связь между количеством ПЧД и фоном гравитационных волн (ГВ), индуцированных скалярными возмущениями (во втором порядке теории возмущений). Наличие экспериментальных пределов на фон ГВ позволяет установить очень сильные пределы на концентрацию ПЧД [2].

В области $M \sim 10^{18} - 10^{24}$ г. пределы основаны на возможном взаимодействии ПЧД с такими объектами, как нейтронные звезды.

ПЧД с массой менее 10^{15} г. успевают полностью испариться за время жизни Вселенной. Пределы на их количество основаны на возможном влиянии продуктов

испарения на первичный нуклеосинтез и фон внегалактического гамма-излучения высокой энергии.

Прямым способом поиска ПЧД является поиск высокоэнергичного гамма-излучения от ПЧД, находящихся на последней стадии своего испарения (обычно речь идет о временном интервале порядка нескольких секунд, при этом энергия гамма-квантов находится в диапазоне от единиц ГэВ до десятков ТэВ). Такие поиски проводились на разных установках, в том числе в ИЯИ РАН [4, 5]. На сегодняшний день работы по прямому поиску ПЧД продолжают (см., например, работу [6] о поиске на установке НАВС).

При анализе результатов таких экспериментов и их сравнении с другими пределами необходимо учитывать, во-первых, спектр образующихся гамма-квантов (он зависит от деталей теоретической модели испарения), и, во-вторых, фактор возможной кластеризации ПЧД в локальной области космического пространства. В любом случае, прямые экспериментальные пределы на концентрацию ПЧД несут в себе ценную дополнительную информацию.

Литература

1. Carr B.J., Kohri K., Sendouda Y., Yokoyama J. New cosmological constraints on primordial black holes // Phys. Rev. D. – 2010. – V. 81. – P. 104019.
2. Bugaev E., Klimai P. Constraints on the induced gravitational wave background from primordial black holes // Phys. Rev. D. – 2011. – V. 83. – P. 083521.
3. Frampton P.H. Searching for Dark Matter Constituents with Many Solar Masses // arXiv:1510.00400 [hep-ph].
4. Petkov V., Bugaev E., Klimai P., et. al. Experimental search for gamma-ray bursts from evaporating primordial black holes // J. Exp. Theor. Phys. – 2010. – V. 110. – P. 406.
5. Petkov V., Bugaev E., Klimai P., et. al. Searching for Very-High-Energy Gamma-Ray Bursts from Evaporating Primordial Black Holes // Astron. Lett. – 2008. – V. 34. – P. 509.
6. Abdo A., Abeysekara A., Alfaro R., et. al. Milagro Limits and HAWC Sensitivity for the Rate-Density of Evaporating Primordial Black Holes // Astropart. Phys. – 2014. – V. 64. – P. 4.