

Излучение коллапсирующего объекта с очевидностью унитарно

А. Саини, Д. Стойкович (США)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

arXiv:1503.01487v2 [gr-qc] 25 Mar 2015

Radiation from a collapsing object is manifestly unitary

Anshul Saini, Dejan Stojkovic

HEPCOS, Department of Physics, SUNY at Bu_alo, Bu_alo, NY 14260-1500, USA

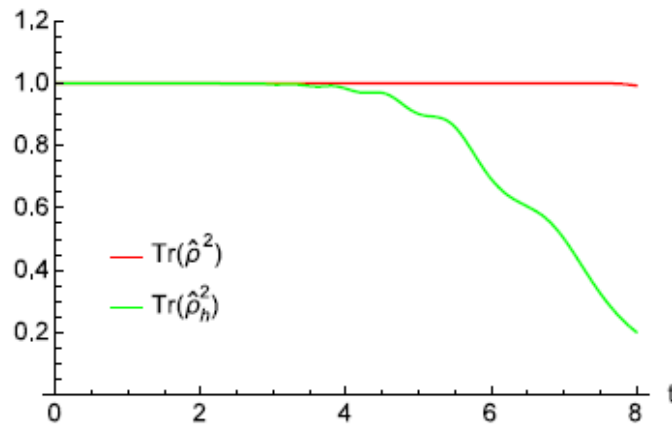
Одной из наиболее трудных проблем современной физики является парадокс потери информации в физике черной дыры. Поскольку излучение Хокинга является чисто тепловым [1], то оказывается возможным преобразовать чистое состояние в смешанное, что запрещено квантовой механикой [2]. Часто аргументируется, что тонкие корреляции между излучаемыми квантами Хокинга, которыми обычно пренебрегают, могут оказаться достаточно большими, чтобы восстановить информацию, связанную с начальным состоянием, и преобразовать кажущееся смешанное тепловое состояние в чистое [3, 4]. Эта точка зрения часто критиковалась на том основании, что малых поправок к членам Хокинга ведущего порядка недостаточно для восстановления унитарности [5]. Задачей настоящей статьи является выполнение расчетов, проясняющих данный вывод. Выясняется, что, действительно, процесс гравитационного коллапса и последующего испарения существенно унитарен с точки зрения асимптотического наблюдателя.

Используется функциональный формализм Шрёдингера, который особенно удобен в данном случае, поскольку это позволяет оперировать временем эволюции, а не излучением уже существующей черной дыры [6 – 18]. Анализ начинается с массивной оболочки, которая коллапсирует под действием своей собственной тяжести. Этот процесс индуцирует нетривиальную, зависящую от времени метрику, которая затем возбуждает кванты поля. Процесс гравитационного коллапса занимает, с точки зрения внешнего наблюдателя, бесконечное время, однако это излучение очень близко к тепловому, когда коллапсирующая оболочка приближается к своему радиусу Шварцшильда.

Используемый формализм предоставляет явную форму волновой функции для испускаемого излучения, которая содержит полную информацию не только о диагональных членах Хокинга, но также и о недиагональных корреляционных членах. Корреляции между квантами Хокинга действительно вначале пренебрежимо малы по сравнению с диагональными членами. Однако по мере эволюции величина недиагональных членов в относительном выражении прогрессивно растет и, более того, эти перекрестные члены приобретают тот же порядок величины, что и диагональные члены. В результате матрица плотности для испускаемого излучения значительно изменяется, в частности, начинает существенно отличаться от диагональной. В статье рассчитывается длительность эволюции полной матрицы плотности в функции времени и частоты. Представительной величиной, которую вводят авторы, является след квадрата матрицы плотности $Tr(\hat{\rho}^2)$, которая говорит нам, находится ли система в чистом или в смешанном состоянии.

Устанавливается, что если учитывать только диагональные члены матрицы плотности, то $Tr(\hat{\rho}_h^2)$ изменяется от 1 до 0, что означает превращение чистого

состояния в смешанное. Это стандартный результат Хокинга, приводящий к потере информации. Однако если мы включим в $Tr(\hat{\rho}^2)$ и недиагональные члены, то величина $Tr(\hat{\rho}^2)$ остается равной 1 на всех частотах и для всех моментов времени в течение эволюции.



Это означает, что начальное состояние также сохраняется чистым в течение всей эволюции. Таков главный результат проделанного в статье анализа. Отсюда следует, что процесс излучения коллапсирующего объекта всегда унитарен. Этот результат хорошо согласуется с [22], где показано, что в достаточно поздние времена вся информация содержится в корреляциях между малыми подсистемами (в данном случае – испускаемыми частицами).

Анализ авторов выполнен для статического внешнего наблюдателя, однако было бы очень важно установить, что должен видеть падающий наблюдатель во время коллапса.

Ссылки

- [1] S. W. Hawking, Commun. Math. Phys. **43**, 199 (1975) [Erratum-ibid. **46**, 206 (1976)].
- [2] S. W. Hawking, Phys. Rev. D **14**, 2460 (1976).
- [3] D. N. Page, Phys. Rev. Lett. **44**, 301 (1980).
- [4] P. Kraus and F. Wilczek, Nucl. Phys. B **433**, 403 (1995) [gr-qc/9408003].
- [5] S. D. Mathur, Class. Quant. Grav. **26**, 224001 (2009) [arXiv:0909.1038 [hep-th]].
- [6] T. Vachaspati, D. Stojkovic and L. M. Krauss, Phys. Rev. D **76**, 024005 (2007) [arXiv:gr-qc/0609024].
- [7] T. Vachaspati and D. Stojkovic, Phys. Lett. B **663**, 107 (2008) [arXiv:gr-qc/0701096].
- [8] E. Greenwood and D. Stojkovic, JHEP **0909**, 058 (2009) [arXiv:0806.0628 [gr-qc]].
- [9] E. Greenwood, D. C. Dai and D. Stojkovic, Phys. Lett. B **692**, 226 (2010) [arXiv:1008.0869 [astro-ph.CO]].
- [10] E. Greenwood and D. Stojkovic, JHEP **032P** 0408 [arXiv:0802.4087 [gr-qc]].
- [11] J. E. Wang, E. Greenwood and D. Stojkovic, Phys. Rev. D **80**, 124027 (2009) [arXiv:0906.3250 [hep-th]].
- [12] E. Halstead, JCAP **1308**, 043 (2013) [arXiv:1106.2279 [gr-qc]].
- [13] E. Greenwood, [arXiv:1002.2433 [gr-qc]].
- [14] E. Greenwood, JCAP **1001**, 002 (2010) [arXiv:0910.0024 [gr-qc]].
- [15] E. Greenwood, E. Halstead and P. Hao, JHEP **1002**, 044 (2010) [arXiv:0912.1860 [gr-qc]].
- [16] E. Greenwood, D. I. Podolsky and G. D. Starkman, JCAP **1111**, 024 (2011) [arXiv:1011.2219 [gr-qc]].
- [17] T. Vachaspati, Class. Quant. Grav. **26**, 215007 (2009) [arXiv:0711.0006 [gr-qc]].
- [18] E. Greenwood, [arXiv:1402.4557 [gr-qc]].
- [19] J. Hutchinson and D. Stojkovic, [arXiv:1307.5861 [hep-th]].
- [20] K. Papadodimas and S. Raju, JHEP **1310**, 212 (2013) [arXiv:1211.6767 [hep-th]].
- [21] M. Kolopanis and T. Vachaspati, Phys. Rev. D **87**, 085041 (2013) [arXiv:1302.1449 [hep-th]].
- [22] D. N. Page, Phys. Rev. Lett. **71**, 1291 (1993) [gr-qc/9305007].