

Унитарность черной дыры и запутанность ее точек – антиподов

Г. 'т Хоофт (Нидерланды)

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

arXiv:1601.03447v1 [gr-qc] 14 Jan 2016

Black hole unitarity and antipodal entanglement

Gerard 't Hooft (g.thooft@uu.nl, <http://www.sta.science.uu.nl/~hooft101/>)

Institute for Theoretical Physics

EMMEФ - Centre for Extreme Matter and Emergent Phenomena

Science Faculty, Utrecht University, POBox 80.195, 3808TD, Utrecht, the Netherlands

Согласно классическим представлениям о черной дыре, она подобна некоей воронке (sink), которая бесследно поглощает всю попадающую в нее материю. Ранние описания квантовых эффектов вблизи черной дыры приводили к удивительному заключению, что вследствие поляризации вакуума черная дыра излучает частицы [1], но все же предполагали, что квантовая механика не может предотвратить исчезновение информации. Однако это было быстро поставлено под сомнение [2], [3].

Обычно указывается, что частицы Хокинга, испускаемые черной дырой, имеют тепловой спектр, если и не точно, то в очень хорошем приближении. Здесь аргументируется иная точка зрения. Локально частицы Хокинга действительно распределены по тепловому закону, но глобально это не так: частицы Хокинга, возникающие на одной полусфере черной дыры, оказываются на 100% запутанными с частицами Хокинга, возникающими на противоположной полусфере. Следовательно, их тепловые флуктуации идентичны, так что если редкое событие происходит на одной полусфере, то такое же событие происходит на другой полусфере.

В статье объясняется, почему такое чудесное поведение вытекает из требования, чтобы испарение черной дыры описывалось унитарной матрицей рассеяния. Область I и диаметрально противоположная ей область II на диаграмме Пенроуза соответствуют точкам – антиподам при СРТ – преобразовании, как предполагалось ранее. На самом горизонте точки – антиподы идентичны, пока на них не попадает материя.

Именно потому, что законы термодинамики применяются к черным дырам [4], [1], должны быть предусмотрены ограничения на образование квантовых состояний с условиями ортонормированности и унитарности. Когда это требование было осуществлено, автор пришел к возможному сценарию [5]. Прилетающие частицы превращаются в испускаемые частицы со свойствами частиц Хокинга благодаря изменению их квантового состояния, несмотря на тот факт, что их термодинамическое распределение остается неизменным.

Формально может быть выведен оператор эволюции, называемый также S-матрицей, и способ, которым он действует, очень напоминает операторы рассеяния, обусловленные взаимодействиями в теории (супер)струн. Тогда горизонт черной дыры действует, как мировая поверхность (world sheet) замкнутой струны.

Недавно было установлено, что реакция черной дыры может быть рассчитана более систематическим образом. Мы имели проблему, состоявшую в том, что сила гравитации приписывает слишком много “волос” черной дыре. Это обусловлено тем, что влияние поперечных гравитационных полей еще не могло быть учтено. Частицы со слишком большими угловыми моментами должны давать неограниченный вклад, а это, видимо, неверно. Был осуществлен поиск метода устранения поперечного вклада. Подобное устранение было предложено в работе Hawking et al [7], которая послужила хорошей отправной точкой, но в количественном отношении не предоставило нам точного выражения для энтропии Хокинга.

Однако есть еще другой вопрос: как можем мы отделить физические степени свободы вблизи горизонта событий, чтобы последовательно рассмотреть каждую из них? До недавнего времени этот вопрос не был сформулирован, теперь же мы получили поразительный ответ [8]: мы можем полностью диагонализировать информацию, извлекаемую из процесса, так что можно буквально визуализировать “отскок” информации от горизонта.

Более того, мы выяснили, что степени свободы в области II диаграммы Пенроуза дают смесь со степенями свободы области I. Это – неизбежный элемент теории: гравитационные искажения пространства – времени, обусловленные гравитационными полями входящих и выходящих частиц, приводят к переходам из одной области в другую.

Для описания формирования и испарения виртуальных черных дыр, описываемых в статье, предлагается кандидат в инстантоны.

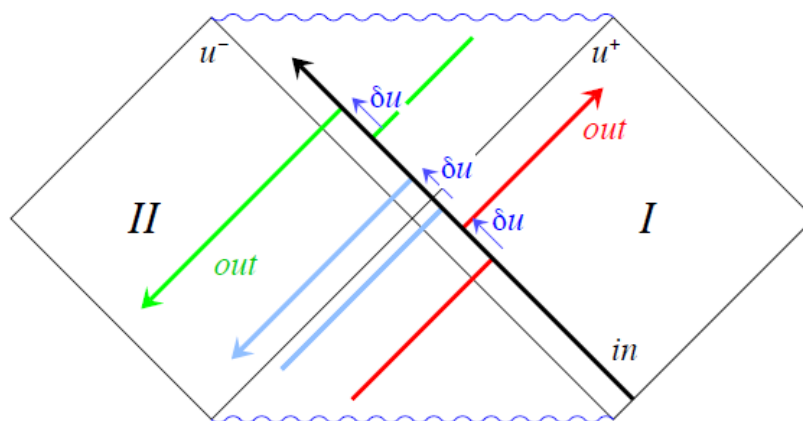


Рисунок 1

Диаграмма Пенроуза для черной дыры Шварцшильда с областями I и II, частицей входящей в область # I и частицами, выходящими из областей I и II. Сдвиг, обусловленный входящей частицей, является одним и тем же в обоих случаях, но в области II частицы кажутся движущимися назад во времени. Поскольку в области II частицы сдвинуты от горизонта событий, в ней как бы возникает та же частица с отрицательной энергией, или аннигилирующая частица.

Ссылки

[1] S.W. Hawking, Particle Creation by Black Holes, Commun. Math. Phys. 43 (1975) 199.

[2] G. 't Hooft, On the quantum structure of a black hole, Nucl. Phys. B256 (1985) 727-745.

- [3] L. Susskind, L. Thorlacius and J. Uglum, The Stretched horizon and black hole complementarity, *Phys. Rev. D* 48 (1993) 3743 [hep-th/9306069].
- [4] J.D. Bekenstein, Black holes and entropy, *Physical Review D* 7 (8): 2333-2346. Bibcode: 1973PhRvD...7.2333B. doi:10.1103/PhysRevD.7.2333;
- [5] G. 't Hooft, Strings from gravity, in: *Unification of Fundamental Interactions. Proceedings of Nobel Symposium 67, Marstrand, Sweden, June 2-7, 1986*. Eds. L. Brink et al, *Physica Scripta*, Vol. T15 (1987) 143-150.
- [6] G. 't Hooft, The scattering matrix approach for the quantum black hole: an overview, *J. Mod. Phys. A* 11 (1996), pp. 4623-4688, gr-qc/9607022.
- [7] S.W. Hawking, M.J. Perry and A. Strominger, Soft Hair on Black Holes, arXiv:1601.00921v1 [hep-th] 5 Jan 2016.
- [8] G. 't Hooft, Diagonalizing the Black Hole Information Retrieval Process, arXiv:1509.01695; How quantization of gravity leads to a discrete space-time, presented at EmQM15, Vienna, October 25, 2015.
- [9] L. Mersini-Houghton, Entropy of the Information Retrieved from Black Holes, arXiv:1511.04795 [hep-th].
- [10] N. Sanchez, Semiclassical quantum gravity in two and four dimensions, in "Gravitation in Astrophysics: Cargese 1986" (Nato Science Series B:), B. Carter and J.B. Hartle (Editors); N. Sanchez and B.F. Whiting Quantum field theory and the antipodal identification of black-holes, *Nuclear Physics B* 283 (1987) 605-623.
- [11] G. 't Hooft, An Ambiguity of the equivalence principle and Hawking's temperature. *J. of Geometry and Physics* 1 (1984) 45-52.
- [12] C. Kiefer, Quantum black hole without singularity, arXiv:1512.08346 [gr-qc].
- [13] T. Eguchi and A.J. Hanson, Gravitational Instantons, *Gen. Rel. Grav.* 11 (1979) 315.