

Пресс-релиз ICRANet

«Новая парадигма в физике черных дыр приводит к новому кванту в фундаментальных законах физики»

Изменение парадигмы в физике черных дыр, ведущее к новым перспективам для роли кванта в фундаментальных законах физики, получает наиболее убедительное подтверждение введением «внутреннего двигателя», дающего начало излучению в области ГэВ гамма-всплеска GRB 130427A. Это объясняется в новой статье [1], опубликованной сегодня (22 ноября 2019) в журнале «The Astrophysical Journal», авторами которой являются: Р. Руффини, Р. Моради, Х.А. Руэда, Л. Бесерра, К.Л. Бьянко, К. Керубини, Й.Ч. Чен, М. Карлика, Н. Саакян, Ю. Ванг и С.С. Ксуэ.

Ремо Руффини, директор ICRANet, вспоминает: «в нашей совместной статье с Джоном Арчибальдом Уилером «Представляя черную дыру» [2] мы указали как концепция «непрерывного гравитационного сжатия», задуманная Оппенгеймером и Снайдером [3] для геометрии Шварцшильда была переосмыслена, благодаря введению метрики Керра, описывающей гравитационное поле вращающейся массы [4]. Для описания траекторий вокруг черной дыры (ЧД) мы ввели технику эффективного потенциала, см. задачу 12.2 в [5], которая привела к: 1) определению последних устойчивых орбит вокруг ЧД Керра, широко применяемому к исследованию гравитационной аккреции в большом числе задач, таких как активные ядра галактик (АЯГ), аккреционный диск около ЧД, к исследованию гравитационных волн, см. главы 33 и 34 в [6], 2) определению формулы для массы-энергии ЧД Керра [7] и ЧД Керра-Ньюмена [8], позже подтвержденной в [9, (см. рис. 1) и 3) постепенному изменению начальной парадигмы Оппенгеймера «мертвой» ЧД Шварцшильда, указавшего, что радиус коллапсирующей звезды асимптотически стремится к ее гравитационному радиусу, а ее излучение постепенно краснеет, выходя в узком интервале углов [3], к новой парадигме активной ЧД Керра, где ЧД является самым большим хранилищем энергии во Вселенной [10]. Именно «внутренний двигатель», извлекающий вращательную энергию Кристодулу-Хокинга-Руффини из ЧД Керра, был обнаружен сегодня, 49 лет спустя, в гамма-всплеске GRB 130427A [1] и уже успешно обобщен на случай GRB 190114C [11]. Эти результаты стали возможными благодаря исключительным данным детекторов GBM и LAT на спутнике Fermi, а также детекторам BAT и XRT обсерватории Neil Gehrels Swift, и детекторам в видимой области и в области высоких энергий на земле.»



Рис. 1. Проф. Ремо Руффини и проф. Рой Керр с женой дома у проф. Стивена Хокинга в Кэмбридже за ужином 20 июня 2017, отмечая формулу массы-энергии Кристодулу-Хокинга-Руффини для метрики Керра.

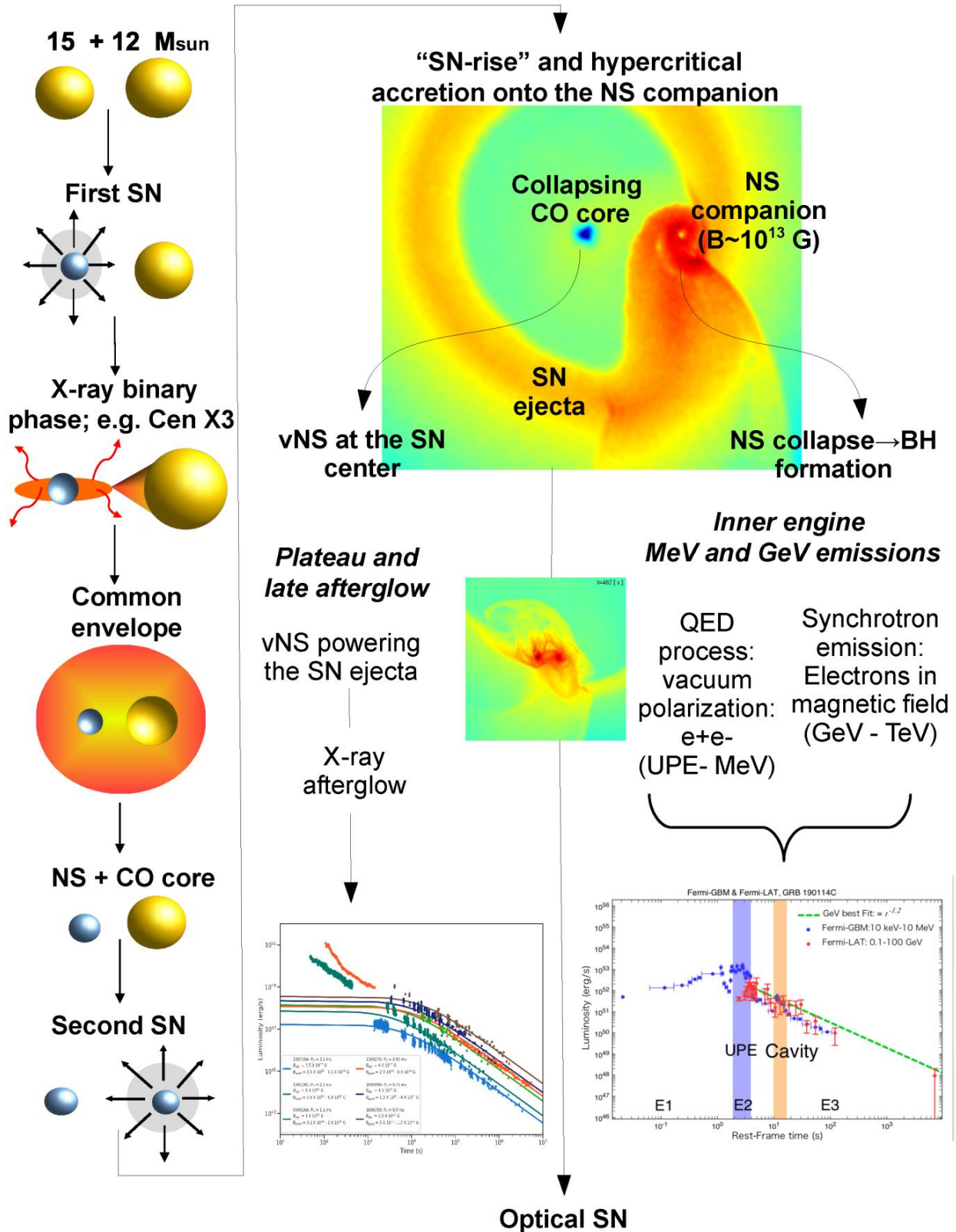


Рис. 2. Эволюционный путь (слева-направо, сверху вниз), приводящий к BdHN I, двойной системе, состоящей из углеродно-кислородной звезды (CO-ядро) и нейтронной звезды [17,18]. BdHN I начинается со взрыва второй сверхновой звезды (SN-подъем), оставляющего новорожденную НЗ, и инициирующего процесс гиперкритической аккреции на звезду-компаньон [12]. Когда НЗ достигает критической массы формируется ЧД [13,19] вместе с каверной [15]. Новорожденная ЧД, встроенное магнитное поле, унаследованное от сколлапсировавшей НЗ, и окружающая ионизированная плазма малой плотности, составляют «внутренний двигатель» для гамма-всплесков, который объясняет излучение высокой энергии в области ГэВ за счет синхротронного механизма.

Хорхе Руэда отмечает: «Традиционно для вращающейся ЧД, описываемой метрикой Керра, предполагается (i) наличие вакуума, (ii) асимптотически плоское пространство и (iii) стационарность. Не удивительно, что ЧД долгое время представлялись как темные объекты, стоками энергии, а не ее источниками. Годами обдумывался процесс, способный извлекать энергию из ЧД для подпитки наиболее энергичных астрофизических источников: гамма-всплесков и активных ядер галактик. Первое наблюдение новорожденной ЧД в гамма-всплеске GRB 130427A, описываемое в нашей статье, дает беспрецедентную информацию и показывает, что «внутренний двигатель», в противовес тому, что предполагалось ранее, действительно является огромным источником энергии для высокоэнергетических частиц в области МэВ, ГэВ и ТэВ.»

Лаура Бесера, сотрудничавшая несколько лет с группой в национальной лаборатории Лос-Аламоса по моделированию гамма-всплесков, отмечает, что этот «внутренний двигатель» образуется естественным образом в сценарии образования гамма-всплесков, названном бинарно-вызванной гиперновой (BdHN) [11-13] (см. рис. 2).

Рахим Моради отмечает: «во «внутреннем двигателе», состоящим из ЧД, помещенной в ионизированную плазму малой плотности и магнитное поле, коллинеарное оси вращения ЧД, имеет место экстремально эффективный электродинамический процесс извлечения энергии из ЧД. Эти свойства, очевидно, нарушают предположения о вакуумном решении, об асимптотически плоском пространстве, но, что более важно, о стационарности. Электроны ускоряются до ультра-высоких энергий за счет извлекаемой энергии ЧД: масса и угловой момент ЧД уменьшаются со временем, оставляя неприводимую массу постоянной.»

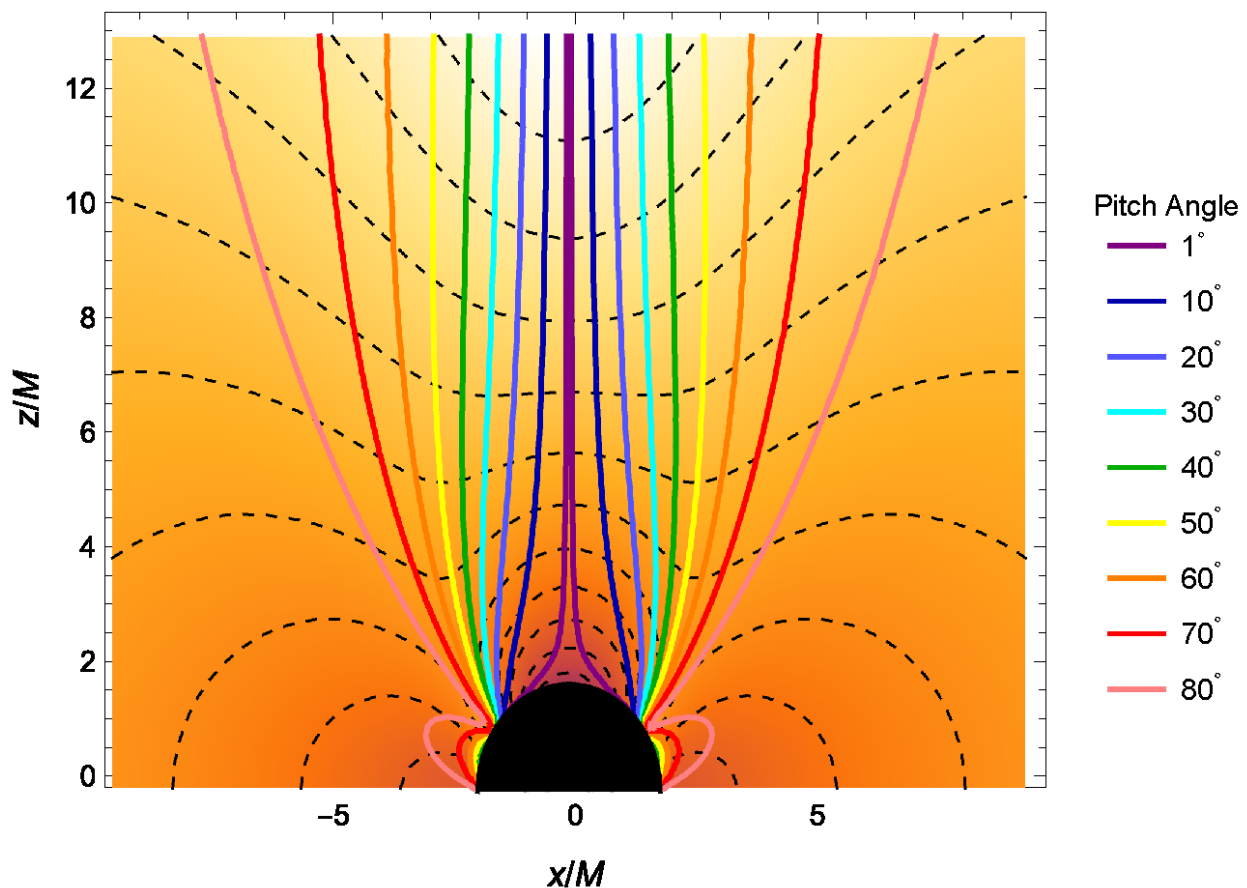


Рис. 3. Контуры постоянного питч-угла (цветные кривые от пурпурного до розового) для электронов, движущихся в однородном магнитном поле вокруг вращающейся ЧД (черный диск). Черные пунктирные кривые соответствуют контурам постоянной плотности энергии электрического поля, а цвет фона показывает как она обывает с расстоянием. Можно сравнить эти теоретические ожидания с последними наблюдательными данными для M87 (рис. 4 в [20]), которая содержит сверхмассивную ЧД с массой около 10^{10} масс Солнца.

Ремо Руффини добавляет: «Количественно, мы получили три параметра «внутреннего двигателя»: массу ЧД, ее угловой момент и магнитное поле B_0 , потребовав выполнения трех условий: (1) источником энергии излучения фотонов в области ГэВ является энергия вращения ЧД; (2) временной масштаб наблюдаемой светимости в области ГэВ определяется синхротронным излучением электронов в магнитном поле; (3) система прозрачна

для излучения фотонов в области ГэВ. Применив эту модель к гамма-всплеску GRB 130427A, мы нашли $\alpha=0.5$, $M=2.3$ солнечных масс, что чуть выше критической массы для гравитационного коллапса нейтронной звезды (НЗ), и $B_0=3 \times 10^{10}$ Гаусс, что достаточно для объяснения излучения в области ГэВ синхротронным механизмом. Таким образом, впервые получено ясное свидетельство того, что ЧД формируются в сценарии BdHN в результате гиперкритической аккреции на НЗ.»

Хорхе Руэда показывает на рис. 3 как «внутренний двигатель» ускоряет электроны от ЧД, испускающие излучение как функцию питч-угла (угла между направлением движения электрона и направлением магнитного поля). «Внутренний двигатель» действует в последовательности «квантованных» шагов, каждый раз испуская «чернодырный квант» энергии [14]: $E=\hbar\Omega_{\text{eff}}$. Вдоль оси вращения электроны получают потенциальную энергию $\Delta\Phi=\hbar\omega_{\text{eff}}$. Здесь Ω_{eff} и ω_{eff} – эффективные частоты, зависящие только от фундаментальных постоянных, массы и заряда электрона и массы Планка, массы нейтрона и трех параметров «внутреннего двигателя». Для «чернодырного кванта» мы получаем 10^{37} эрг, а максимальная энергия электронов составляет $\Delta\Phi=10^{18}$ эВ, масштаб времени синхротронного излучения 10^{-14} с, дающие светимость фотонов в области ГэВ 10^{51} эрг/с. Каждое квантованное событие уносит только 10^{-16} часть вращательной энергии ЧД: это означает, что процесс может длиться долго, если имеется ионизированная плазма, питающая ЧД.

К.Л. Бьянко и Ше-Шенг Ксуэ также поясняют: «Все, что сказано выше, означает полный сдвиг парадигмы от традиционной гравитационной аккреции материи большой плотности на ЧД. Природе, кажется, слишком дорого ускорять материю как целое, преодолевая гравитационное притяжение ЧД, чтобы отнести ее на расстояние 10^{16} - 10^{17} см, где она становится прозрачной для фотонов высокой энергии. Наш «внутренний двигатель» вместо этого использует более эффективную электродинамическую аккрецию, действующую на очень разреженную плазму с плотностью 10^{-14} г/см³ [15], порождающую наблюдаемое излучение высокой энергии рядом с горизонтом ЧД, где извлекается вращательная энергия ЧД».

Нарек Саакян, Миле Карлика, Йен-Чен Чен и Ю Ванг комментируют: «мы желаем применить эту модель, успешно использованную в случае с GRB 130427A, для моделирования GRB 190114C как только будут доступны данные об излучении высоких энергий. Будет также интересно увидеть применение этого механизма извлечения энергии к системам с ЧД значительно большей массы, а именно АЯГ с ЧД в 10^{10} масс Солнца (таких как M87), для которых время повторения составляет часы [14]».

Кристиан Керубини и Симонетта Филиппи комментируют: «Один из наиболее интригующий аспектов этого результата состоит в излучении чернодырного кванта в 10^{37} эрг в масштабе времени 10^{-14} с, возникающего в целой Вселенной, ввиду вездесущего и однородного космологического присутствия гамма-всплесков. Интересно, что этот сценарий предполагает возможную роль гамма-всплесков в эволюции жизни в нашей Вселенной, как отмечалось в [16], что может теперь количественно исследоваться на базе наблюдений гамма-всплеска 130427A».

Литература:

- [1] R. Ruffini, R. Moradi, J. A. Rueda, L. Becerra, C. L. Bianco, C. Cherubini, S. Filippi, Y. C. Chen, M. Karlica, N. Sahakyan, et al., *Astroph. J.* 886, 82 (2019), arXiv:1812.00354, URL <https://arxiv.org/abs/1812.00354>.
- [2] R. Ruffini and J. A. Wheeler, *Phys. Today* 24, 30 (1971), URL <https://doi.org/10.1063/1.3022513>.
- [3] J. R. Oppenheimer and H. Snyder, *Phys. Rev.* 56, 455 (1939), URL <https://doi.org/10.1103/PhysRev.56.455>.
- [4] R. P. Kerr, *Phys. Rev. Lett.* 11, 237 (1963), URL <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.11.237>.
- [5] L. Landau and E. Lifshitz, in *The Classical Theory of Fields* (Fourth Edition) (ELSEVIER, Amsterdam, 1975), vol. 2 of *Course of Theoretical Physics*, p. xiii, fourth edition ed., ISBN 978-0-08-025072-4, URL <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-025072-4.50007-1>.
- [6] C. W. Misner, K. S. Thorne, and J. A. Wheeler, *Gravitation* (Freeman and Co., San Francisco, 1973).
- [7] D. Christodoulou, *Phys. Rev. Lett.* 25, 1596 (1970), URL <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.25.1596>.
- [8] D. Christodoulou and R. Ruffini, *Phys. Rev. D* 4, 3552 (1971), URL <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.4.3552>.
- [9] S. W. Hawking, *Physical Review Letters* 26, 1344 (1971), URL <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.26.1344>.
- [10] D. Christodoulou and R. Ruffini, Essay submitted to the Gravity Research Foundation Third prize (1971), URL https://www.gravityresearchfoundation.org/s/christodoulou_ruffini.pdf.
- [11] J. A. Rueda and R. Ruffini, *Astroph. J.* 758, L7 (2012), arXiv:1206.1684, URL <https://doi.org/10.1088/2041-8205/758/1/L7>.
- [12] C. L. Fryer, J. A. Rueda, and R. Ruffini, *Astroph. J.* 793, L36 (2014), arXiv:1409.1473, URL <https://doi.org/10.1088/2041-8205/793/2/L36>.
- [13] L. Becerra, C. L. Bianco, C. L. Fryer, J. A. Rueda, and R. Ruffini, *Astroph. J.* 833, 107 (2016), arXiv:1606.02523, URL <https://doi.org/10.3847/1538-4357/833/1/107>.
- [14] J. A. Rueda and R. Ruffini, arXiv e-prints (2019), arXiv:1907.08066, URL <https://arxiv.org/abs/1907.08066>.

- [15] R. Ruffini, J. D. Melon Fuksman, and G. V. Vereshchagin, *Astroph. J.* 883, 191 (2019), arXiv:1904.03163, URL <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab3c51>.
- [16] P. Chen and R. Ruffini, *Astronomy Reports* 59, 469 (2015), arXiv:1403.7303, URL <https://doi.org/10.1134/S1063772915060098>.
- [17] C. L. Fryer, F. G. Oliveira, J. A. Rueda, and R. Ruffini, *Physical Review Letters* 115, 231102 (2015), arXiv:1505.02809, URL <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.115.231102>.
- [18] L. Becerra, F. Cipolletta, C. L. Fryer, J. A. Rueda, and R. Ruffini, *Astroph. J.* 812, 100 (2015), arXiv:1505.07580, URL <https://doi.org/10.1088/0004-637X/812/2/100>.
- [19] L. Becerra, C. L. Ellinger, C. L. Fryer, J. A. Rueda, and R. Ruffini, *Astroph. J.* 871, 14 (2019), arXiv:1803.04356, URL <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aaf6b3>.
- [20] J. Y. Kim, T. P. Krichbaum, R. S. Lu, E. Ros, U. Bach, M. Bremer, P. de Vicente, M. Lindqvist, and J. A. Zensus, *Astron. Astroph.* 616, A188 (2018), arXiv:1805.02478, URL <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832921>.