

ICRANet Comunicado de imprensa

Um novo paradigma da física de buracos negros leva a um novo quantum nas leis fundamentais da física

Uma mudança de paradigma na física de buracos negros, que levaria a novas perspectivas no papel do quantum nas leis fundamentais da física, está finalmente alcançando sua confirmação mais contundente pela introdução do “mecanismo (motor) interno” originando a emissão em GeV do GRB 130427A. Isso está explicado no novo artigo [1] publicado hoje, 22 de Novembro de 2019 na revista *The Astrophysical Journal*, artigo em co-autoria de R. Ruffini, R. Moradi, J. A. Rueda, L. Becerra, C. L. Bianco, C. Cherubini, Y. C. Chen, M. Karlica, N. Sahakyan, Y. Wang, e S. S. Xue.

Remo Ruffini, Diretor da ICRANet, recorda que “isso é um passo final de esforços de 49 anos. No nosso artigo conjunto de 1971 com o Professor John Archibald Wheeler “Apresentando buracos negros” [2], salientamos como o conceito de “contração gravitacional contínua,” imaginado por Oppenheimer and Snyder [3] para a geometria de Schwarzschild teve modificações profundas com a introdução da geometria de Kerr descrevendo o campo gravitacional de uma massa girante [4]. Ali apresentamos uma técnica de potencial efetivo para encaminhar o problema de trajetórias de partículas entorno de um buraco negro de Kerr (BH), veja-se Problem 12.2 in [5], que levou a: 1) a determinação da última órbita estável no entorno do buraco negro de Kerr é amplamente utilizada no estudo de acreção gravitacional num vasto número de processos, desde núcleos de galáxias ativas (AGNs) a discos de acreção e emissão de ondas gravitacionais, veja-se ch. 33 and 34 in [6]; 2) a fórmula de massa-energia de um buraco negro de Kerr [7], um buraco negro de Kerr-Newman [8] confirmado em [7], e 3) a mudança progressiva do paradigma de Oppenheimer, baseado num buraco negro de Schwarzschild “morto,” ao novo paradigma levando em conta o buraco negro “vivo” de Kerr, indicando que buracos negros são “os maiores reservatórios de energia no universo” [10]. Precisamente, esse “motor interno” extraindo a energia rotacional de Christodoulou-Ruffini-Hawking do buraco negro de Kerr foi identificado hoje, depois de 49 anos, no GRB 130427A [1], se estendeu ao GRB 190114C [11]. Esses resultados foram possíveis graças aos dados extraordinários dos detectores GBM e LAT no satélite Fermi, bem como os detectores BAT e XRT do Observatório Neil Gehrels Swift e detectores ópticos e de altas energias na superfície terrestre.



FIG. 1. Prof. Remo Ruffini and Prof. Roy Kerr with his wife at Prof. Stephen Hawking's home in Cambridge for dinner on 20 June 2017, celebrating the Christodoulou-Hawking-Runi mass-energy formula of the Kerr metric.

Laura Becerra, quem tem colaborado com o grupo do laboratório nacional de Los Alamos nas simulações de GRBs, salienta que esse “motor interno” naturalmente se forma no cenário de hipernova induzida por um sistema binário para GRBs [12-14] (veja-se Figura 2)

Rahim Moradi lembra: “Um processo eletrodinâmico extremamente eficiente para extração de energia de um buraco negro ocorre com esse “motor interno,” composto por um buraco negro em rotação num background de plasma de baixa densidade ionizado e um campo magnético alinhado e paralelo com o eixo de rotação do buraco negro. Esses fatores contrastam com as hipóteses usuais de solução de vácuo, assintoticamente plana, e de forma mais importante, o “motor interno” precisa ser, necessariamente, não-estacionário. Os elétrons se aceleram a altíssimas energias às

custas da extração de energia do buraco negro: a massa e a rotação do buraco negro diminuem temporalmente mantendo a massa irreduzível do buraco negro (massa de um associado buraco negro de Schwarzschild) constante”.

Jorge Rueda comenta: “Quantitativamente, obtivemos para ambos os sistemas (que levaram aos GRBs) os três parâmetros desse “motor interno”: a massa do buraco negro, seu spin, e o campo magnético B_0 pelo requerimento de que cada sistema satisfaça três condições: (1) as energias para a emissão de fótons em GeV se origina na energia rotacional do buraco negro; (2) a radiação síncrotron dos elétrons no campo magnético estabelece as escalas da luminosidade observadas em GeV; (3) o sistema é transparente à emissão de fótons na faixa de GeV. Quando esse modelo é aplicado ao GRB 130427A temos que [1]: $\alpha = 0.5$, $M = 2.3$ massas solares, um pouco acima da massa crítica para o colapso gravitacional de uma estrela de nêutrons (NS), e $B_0 = 3 \times 10^{10} G$, suficiente para explicar a emissão em GeV via radiação síncrotron. Para o GRB 190114C [11], os parâmetros, na ordem dos anteriores, são $\alpha = 0.4$, $M = 4.4$ massas solares e $B_0 = 4 \times 10^{10} G$. Logo, pela primeira vez, temos uma evidência clara de que buracos negros no cenário de hipernova induzida por sistemas binários se formam pela acreção hipercrítica numa estrela de nêutrons (NS). A figura 3 mostra como esse “motor interno” acelera (expelindo) elétrons do buraco negro, emitindo radiação síncrotron como uma função do ângulo entre a sua direção de movimento e campo magnético (pitch angle).

Ruffini adiciona: “O “motor interno” opera numa sequência discreta de passos “quantizados,” autênticas descargas elétricas, emitindo um “quantum blackholico” de energia [15]: $\epsilon = \hbar \Omega_{\text{eff}}$. Na direção do eixo de rotação, elétrons ganham uma energia potencial total : $\Delta\Phi = \hbar \omega_{\text{eff}}$. Aqui, Ω_{eff} e ω_{eff} são frequências efetivas que dependem apenas de constantes fundamentais, a massa do elétron, carga, e massa de Planck; da massa do nêutron, e dos três parâmetros do “motor interno.” Obtivemos para o “quantum blackholico”, $\epsilon \sim 10^{37}$ erg, uma energia máxima dos elétrons de $\Delta\Phi \sim 10^{18}$ eV, e um tempo de escala de emissão síncrotron de 10^{-14} s, levando a uma luminosidade de 10^{51} erg/s. Cada evento quantizado remove apenas 10^{-16} da energia rotacional do buraco negro, implicando que o processo pode demorar, o que providencia o plasma ionizado que alimenta o buraco negro.

C.L. Bianco e She-Sheng Xue lembram: “Todos os pontos acima implicam numa completa mudança de paradigma, que tradicionalmente considera a acreção gravitacional de matéria de alta densidade no buraco negro. Parece ser muito custoso à natureza acelerar matéria densa, vencendo a atração gravitacional exercida pelo buraco negro, e levando-a a distâncias de 10^{16} - 10^{17} cm, onde ela se torna transparente a fótons de altas energias. Nosso “motor interno,” no entanto, vale-se de um processo mais eficiente de acreção eletromagnética, atuando num plasma a baixa densidade 10^{-14} g/cm³ [16] ionizado produzindo a observada emissão de alta energia já perto do horizonte de eventos do buraco negro, onde a energia rotacional do buraco negro de Kerr é extraída”.

Narek Sahakayan, Mile Karlica, Yen Chen Chen, e Yu Wang comentam: “Estamos ansiosos para aplicar esse modelo, bem sucedido no caso do GRB 130427A [1] e do GRB 190114C [11], para extrair a energia de buracos negros em sistemas mais massivos, como AGNs (por exemplo, a massa central do buraco negro em M87 é de quase 10^{10} massas solares), os quais os tempos de escala do “motor interno” é da ordem de horas [15].

Christian Cherubini e Simonetta Filippi comentam: “Um dos aspectos mais intrigantes desse resultado é que a emissão do quantum blackholico de 10^{37} erg, com um tempo de escala de 10^{-14} s, ocorre em todo o universo, dada a ubiquidade de GRBs em cosmologia. É interessante que um cenário propondo um possível papel de GRBs na evolução da vida no nosso universo [16] foi apresentado em [17] e agora pode ser quantitativamente estendido a partir da observação do GRB 130427A”.

Referências

- [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., The Astrophysical Journal, vol. 886, No.2, p.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] R. Moradi, J. A. Rueda, R. Ruffini, and Y. Wang, arXiv:1911.07552 (2019), URL <https://arxiv.org/abs/1911.07552>.
- [12] 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>.

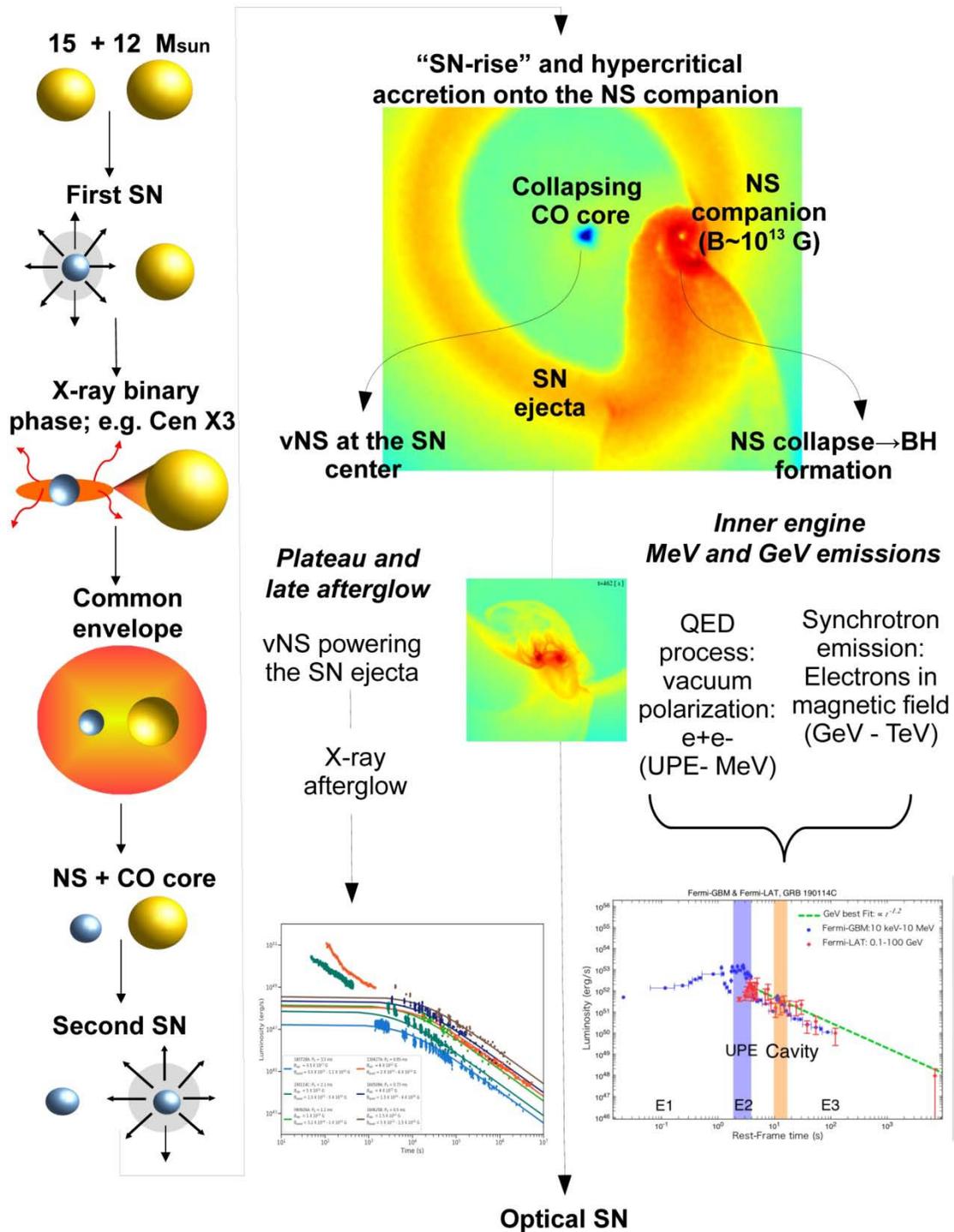


FIG. 2. The evolutionary path (left-hand side, from up to down) leading to the progenitor of a BdHN I, the carbon-oxygen star (CO_{core})-NS binary [18,19]. The BdHN I starts with the second supernova (SN) explosion (“SN-rise”), leaving a newborn NS (ν NS), and producing a hypercritical accretion process onto the NS companion [12]. As the NS reaches the critical mass, a BH is formed [14, 20] and a cavity is formed around it [16]. The newborn BH, the embedding magnetic field inherited from the collapsed NS, and the surrounding low-density ionized plasma, conform the “inner engine” of the GRB, which explains the high-energy GeV emission via synchrotron radiation.

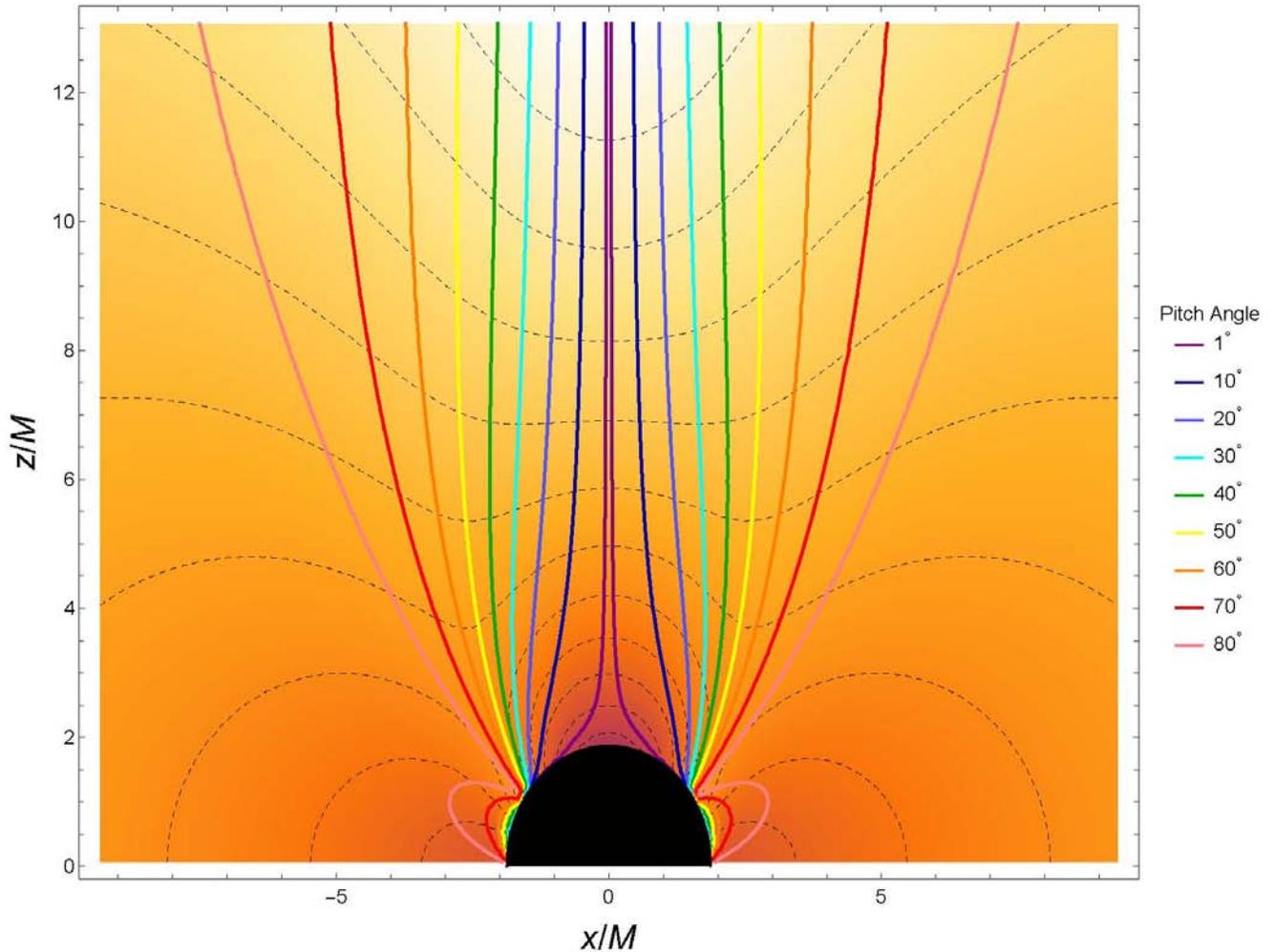


FIG. 3. Figure taken from [11] with the kind permission of the authors. Contours of constant pitch angle (colored curves from purple to pink) of electrons moving in the uniform magnetic field around the rotating BH (filled black disk). The black dashed curves represent contours of constant electric energy density, and the colored background shows how it decreases with distance. Compare and contrast these theoretical expectations with the recent observational data of M87 (see Figure 4 in [21]), which harbored a supermassive BH of nearly 10^{10} solar masses.

- [13] 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>.
- [14] 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>.
- [15] J. A. Rueda and R. Ruffini, arXiv:1907.08066, URL <https://arxiv.org/abs/1907.08066>.
- [16] 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>.
- [17] P. Chen and R. Ruffini, *Astronomy Reports* 59, 469 (2015), arXiv:1403.7303, URL <https://doi.org/10.1134/S1063772915060098>.
- [18] 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>.
- [19] 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>.
- [20] 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>.
- [21] 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>.