

ICRANet Press Release

Un nuovo paradigma nella fisica dei Buchi neri che conduce a nuovi aspetti del quanto nelle leggi di fisica fondamentale

Un cambio di paradigma nell'astrofisica dei Buchi neri sta conducendo a nuovi aspetti di fisica del quanto nelle leggi di fisica fondamentale. Questo conferma è stata raggiunta grazie all'identificazione dell' "inner engine" che genera l'emissione GeV del GRB 130427, scoperta dal satellite FERMI e dal satellite SWIFT. Ciò è spiegato nel nuovo articolo [1] pubblicato oggi (22 Novembre 2019) su The Astrophysical Journal, con coautori 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, Direttore ICRANet, ricorda come questo è il passo finale di uno sforzo compiuto in 49 anni di ricerca. Nell'articolo che ho pubblicato nel 1971 con John Archibald Wheeler "Introducing the black hole" [2], in cui il concetto di Buco Nero è stato introdotto, avevamo fatto notare come il concetto di "collasso gravitazionale continuo", concepito da Oppenheimer e Snyder [3] nel caso di una geometria di Schwarzschild, è stato profondamente modificato dall'introduzione della metrica di Kerr, che descrive il campo gravitazionale di una massa rotante [4]. Abbiamo lì introdotto una tecnica di potenziale efficace per descrivere le traiettorie di particelle attorno ad un Buco nero di Kerr (BH), che fu subito immortalata nel secondo volume di [5]. Questo lavoro ha portato: 1) alla determinazione delle ultime orbite stabili intorno ad un Buco nero di Kerr, che è stato ampiamente applicato allo studio della accrezione gravitazionale in un grande numero di processi, dai Nuclei Galattici Attivi (AGNs), ai dischi di accrescimento intorno ad un Buco nero, all'emissione di onde gravitazionali, si veda ch. 33 and 34 in [6]; 2) la formula di massa di Buco nero di Kerr [7], di un Buco nero di Kerr-Newman [8], in seguito confermata anche da [9] (si veda Figura 1), e 3) l'inizio del cambio concettuale dal paradigma di Oppenheimer, basato su una metrica di Schwarzschild di un Buco nero morto "dead", ad un nuovo paradigma basato sulla metrica di Kerr di un Buco nero vivo "alive", indicato come la più grande sorgente di energia nell'Universo [10]. Precisamente questo "inner engine" che estrae l'energia rotazionale di Christodoulou-Hawking-Ruffini di un Buco nero di Kerr, è stato identificato oggi, dopo 49 anni, nel GRB 130427A [1] ed è stato anche esteso ieri con successo al GRB 190114C [11]. Questi risultati sono stati resi possibili grazie ai dati eccezionali registrati dai rilevatori GBM e LAT del satellite Fermi, dai rilevatori BAT e XRT del Neil Gehrels Swift Observatory e dai rilevatori ottici e di altissima energia sulla terra.



FIG. 1. Il Prof. Remo Ruffini e il Prof. Roy Kerr con sua moglie a casa del Prof. Stephen Hawking a Cambridge per cena il 20 Giugno 2017, mentre celebrano la formula Christodoulou-Hawking-Ruffini dell'energia di massa della metrica di Kerr.

Laura Becerra, che ha collaborato con Los Alamos National Laboratory (LANL) nella simulazione di questi GRBs, sottolinea che questo "inner engine" nasce naturalmente in uno scenario di BdHN (Hypernova generata in un sistema binario) dei GRBs [12-14] (si veda Figura 2).

Rahim Moradi richiama come un estremamente efficiente processo elettrodinamico di estrazione di energia rotazionale di un Buco nero, origina in un "inner engine" composto da un Buco nero rotante immerso in un plasma ionizzato a bassissima densità e da un campo magnetico allineato con l'asse di rotazione. Queste caratteristiche sono in contrasto con le assunzioni usuali di un Buco nero nel vuoto che sia in uno spazio asintoticamente piatto (Minkoviskiano) e, cosa più importante, l' "inner engine" non può essere stazionario. Gli elettroni sono accelerati a energie ultra-relativistiche dall'energia estraibile del Buco nero: la massa e lo "spin" del Buco nero decrescono nel tempo, mantenendo costante la massa irriducibile del Buco nero.

Jorge Rueda commenta: da un punto di vista quantitativo, abbiamo potuto caratterizzare i tre parametri fondamentali dell' "inner engine", la massa del Buco nero M , lo "spin" α , e il campo magnetico B_0 , richiedendo al sistema di soddisfare tre condizioni: (1) che l'energetica dell'emissione di fotoni GeV origini nell'energia di rotazione del Buco nero; (2) che l'emissione degli elettroni nel campo magnetico stabilisca il tempo scala della luminosità GeV; (3) che il sistema sia trasparente all'emissione dei fotoni GeV. Quando applichiamo questo modello al GRB 130427A, troviamo [1]: $\alpha = 0.5$, $M = 2.3$ masse solari, cioè un valore della massa poco superiore al valore della massa critica di collasso gravitazionale di una stella di neutroni (NS), e $B_0 = 3 \times 10^{10}$ G, sufficiente a spiegare l'emissione GeV mediante radiazione di sincrotrone. I valori corrispondenti per il GRB 190114C [11] sono: $\alpha = 0.4$, $M = 4.4$ masse solari, e $B_0 = 4 \times 10^{10}$ G. Quindi, per la prima volta, abbiamo la chiara evidenza che i Buchi neri in BdHNe I si formano con accrezione ipercritica su una stella di neutroni (NS). La Figura 3 dimostra come l' "inner engine" accelera gli elettroni fuori dal Buco nero, emettendo radiazione di sincrotrone in funzione del "pitch angle" (angolo fra il moto degli elettroni e il campo magnetico).

Ruffini continua: l' "inner engine" opera in una sequenza discreta di emissioni quantizzate, una autentica enorme scarica elettrica, che emette un quanto buconerale "blackholic quantum" di energia [15]: $\varepsilon = \hbar \Omega_{eff}$. Lungo l'asse di rotazione, gli elettroni guadagnano un'energia potenziale totale: $\Delta\Phi = \hbar \omega_{eff}$. Qui, Ω_{eff} e ω_{eff} sono frequenze efficaci che dipendono solo da delle costanti fondamentali, la massa dell'elettrone, la carica e la costante di Planck; dalla massa di neutrone e dai tre parametri fondamentali dell' "inner engine". Otteniamo per il quanto buconerale "blackholic quantum", $\varepsilon \sim 10^{37}$ erg, un'energia massima degli elettroni di $\Delta\Phi \sim 10^{18}$ eV, e un tempo scala di emissione di sincrotrone di 10^{-14} s, che conduce ad un luminosità GeV di fotoni di 10^{51} erg/s. Ogni quanto, riduce di una frazione minima di 10^{-16} dell'energia rotazionale del Buco nero, che implica che questo processo può continuare per lunghissimo tempo, a condizione che vi sia un plasma ionizzato che nutre il Buco nero.

C. L. Bianco e She-Sheng Xue ricordano come tutto quanto detto sopra, implica un cambio radicale nei paradigmi dell'accrezione gravitazionale di materiale molto denso in un Buco nero. Appare essere troppo dispendioso per la natura accelerare del materiale di alta densità contro l'attrazione gravitazionale del Buco nero, per portarlo a distanze di 10^{16} - 10^{17} cm, dove diventa trasparente all'emissione di fotoni ad alta energia. Il nostro "inner engine", invece, usa un metodo molto efficace di accrezione elettrodinamica, che lavora su un plasma ionizzato a bassissima densità di 10^{14} g/cm³ [16], producendo l'emissione di alta energia osservata vicino all'orizzonte del Buco nero, dove viene estratta l'energia rotazionale del Buco nero di Kerr.

Narek Sahakyan, Mile Karlica, Yen Chen Chen, e Yu Wang commentano: desideriamo molto applicare questo modello che è già stato applicato con successo al GRB 130427A [1] e al GRB 190114C [11], per verificare l'energia di estrazione del Buco nero in masse molto più grandi nei Nuclei galattici attivi (AGNs) (ad esempio il Buco nero centrale di M87 di circa 10^{10} masse solari), per cui il tempo di ripetizione dell' "inner engine" è dell'ordine di ore [15].

Christian Cherubini e Simonetta Filippi commentano: uno degli aspetti più interessanti di questo risultato è che l'emissione del "blackholic quantum" di 10^{37} erg, con un tempo scala di 10^{-14} s, avviene nell'intero Universo, dal momento che i GRBs sono cosmologicamente distribuiti in maniera omogenea. È interessante come uno scenario che propone il possibile ruolo del GRB nell'evoluzione della vita nel nostro Universo [16] è stato introdotto in [17] e può essere adesso ulteriormente esteso per stime quantitative nelle osservazioni del GRB 130427A.

Referenze

- [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>.

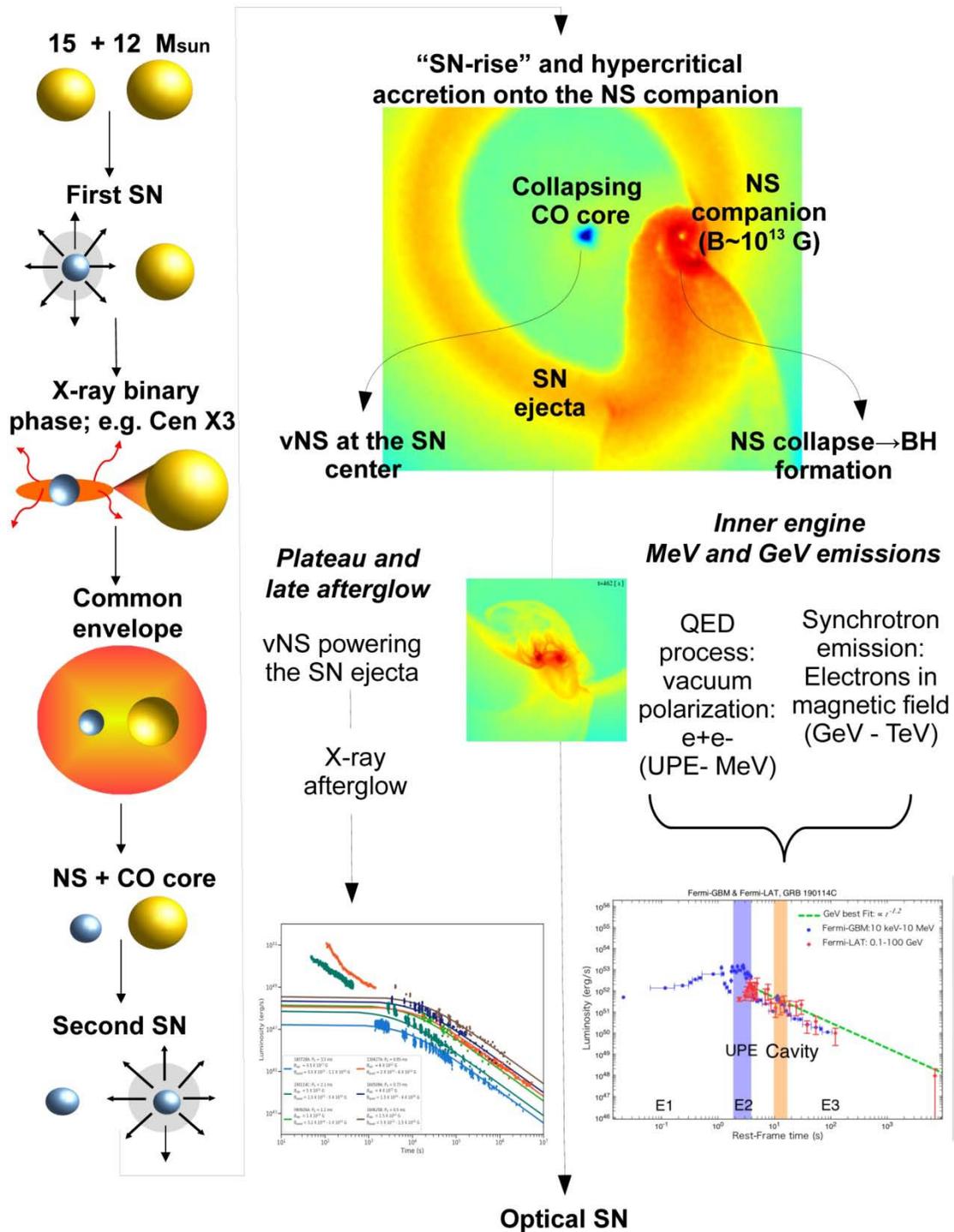


FIG. 2. Il processo evolutivo (lato sinistro, dall’alto al basso) che conduce al progenitore di una BDHN I, consistono in una stella di carbonio-ossigeno (CO_{core})-NS binary [18,19]. La BdHN I comincia quando una seconda supernova (SN) esplosa (“SN-rise”), creando una nuova stella di neutroni (vNS) e producendo un processo di accrezione ipercritica nella *companion* stella di neutroni [13]. Quando la stella di neutroni raggiunge la massa critica, si forma un Buco nero [14,20], e si forma una cavità intorno ad esso [16]. Il Buco nero appena nato è immerso in un campo magnetico originato dalla stella di neutroni collassata, e in un plasma ionizzato a bassa densità. L’ “inner engine” del GRB esprime l’emissione GeV ad alta densità attraverso la radiazione di sincrotroni.

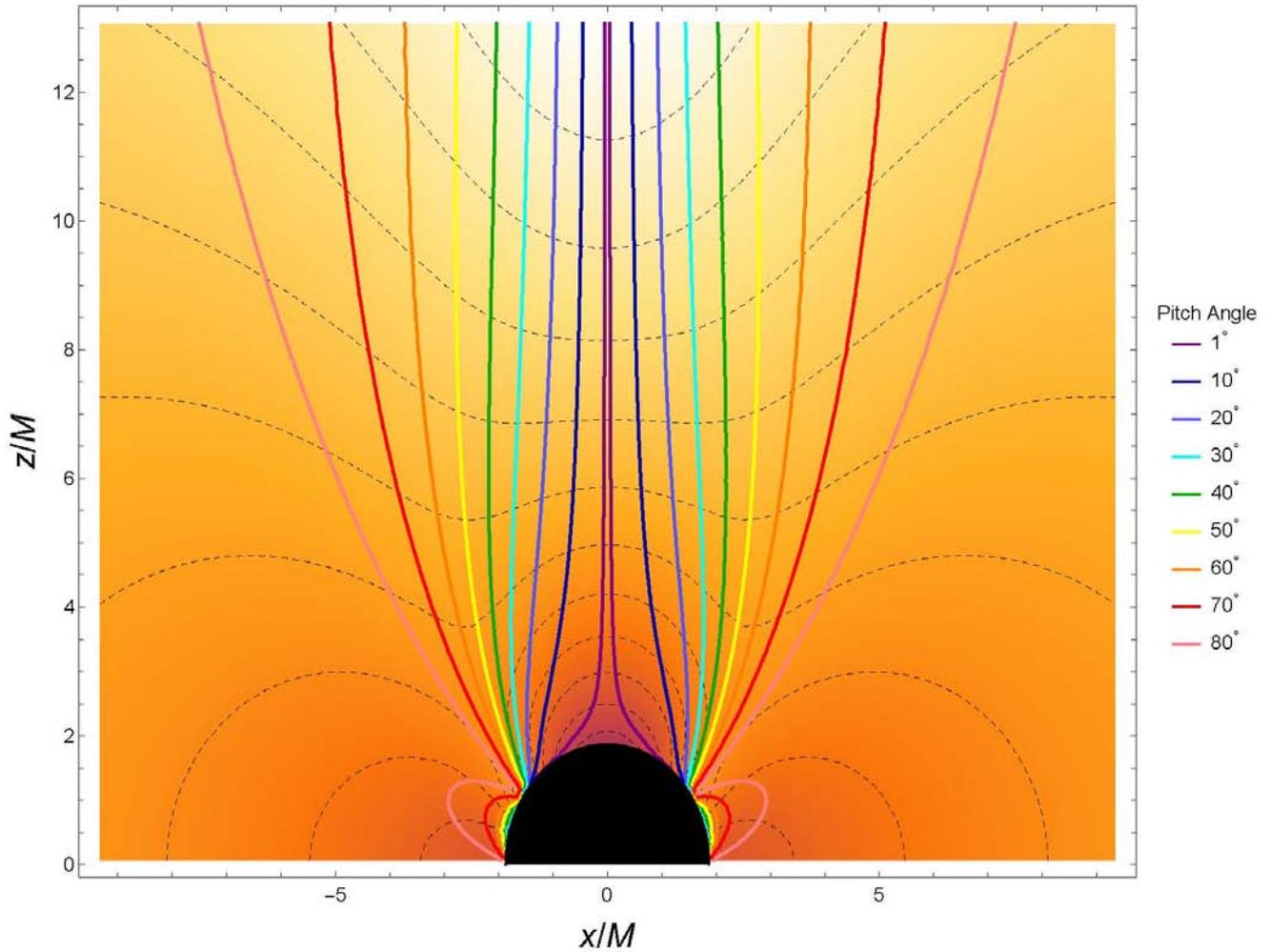


FIG. 3. Figura presa da [11] con la cortese autorizzazione degli autori. I contorni del “pitch angle” (le curve colorate dal viola al rosa) di elettroni che si muovono nel campo magnetico uniforme intorno ad un Buco nero rotante (dischi riempiti in nero). Le curve tratteggiate in nero rappresentano i contorni delle densità di energia elettrica costante, mentre lo sfondo colorato mostra come essa diminuisca con la distanza. Vengono paragonate e messe in contrasto queste aspettative teoriche con i recenti dati osservativi di M87 (si veda Figura 4 in [21]), che ospita un Buco nero “supermassive” di circa 10^{10} masse solari.

- [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>.