

## Allegato: due linee di ricerca

Il mio percorso di ricerca è iniziato nel 1959 nel Laboratorio Gas Ionizzati di Frascati; allora in Italia c'era poca Astrofisica, e la Fisica dei Plasmi ne sembrava la migliore approssimazione. Inoltre, nel vicino Istituto di Astrofisica Spaziale si stava formando un attivo gruppo di giovani ricercatori tra cui G. Setti, che si occupava di sorgenti extragalattiche e mi segnalò nel suo campo una borsa ESRO per gli USA.

Ottenutala, scelsi di usufruirne come Research Associate presso MIT, Center for Space Research. Ivi incontrai alcuni notevoli astrofisici, tra cui P. Morrison, B. Rossi, R. Giacconi (futuro Nobel) e il suo gruppo che stava per lanciare il primo satellite per raggi X, in cui mi trovai inserito.

Nel 1971 l'analisi dei primi dati rivelò intense emissioni di raggi X dai grandi Ammassi di galassie noti dalla banda ottica. L'esperienza di Plasmi mi portò a sostenerne l'origine non dagli sciami di Nuclei Attivi puntiformi favoriti da molti colleghi, bensì da Bremsstrahlung termica in nubi estese di Plasma di elettroni/protoni a temperature  $T \sim 10^8$  K, con masse di  $10^{14} M_{\text{Sole}}$ , gravitazionalmente confinate negli Ammassi ed emittenti in raggi X potenze  $\sim 10^{13} L_{\text{Sole}}$ . Aggiunsi che emissioni scalate a  $\sim 1/10$  dovevano attendersi anche nei piccoli e numerosi Gruppi di galassie, come infatti presto risultò confermato.

Nel 1976 e 1978 Cavaliere e Fusco-Femiano hanno prodotto un modello idrostatico per la distribuzione del Plasma caldo entro le buche di potenziale gravitazionale dovute ad Ammassi di galassie ricchi e regolari come quello in Coma Berenices. Basicamente, la densità è regolata dal parametro  $\beta = m_p \sigma^2 / 2 kT$  (energia gravitazionale su termica) e digrada verso il bordo fino a valori  $10^{-2}$  volte minori corrispondenti al valore previsto  $\beta = 0.7$ , da confrontare con  $\beta = 1$  che descrive la distribuzione di galassie nell'Ammasso. Questo semplice "β-model" produce fit accurati alla emissione X, e ancora costituisce lo standard dopo 40 anni e  $\sim 1300$  citazioni tuttora crescenti.

Gli sforzi di molti ricercatori per comprendere le basi di questo successo hanno concluso che il β-model centra nel modo più semplice due elementi basilici: una descrizione idrostatica del Plasma in termini di pressione, rapida a tornare all'equilibrio se perturbata; e il ruolo discreto ma fondamentale dell'entropia  $kT/n^{2/3}$  prodotta nella formazione dell'Ammasso per afflusso di barioni diffusi, ma poi immune da variazioni nel riaggiustamento interno. Ai bordi la alimentano anche collisioni con altri Ammassi; al centro la erode lentamente la stessa emissione X. In conclusione, qui abbiamo enormi masse di protoni-elettroni che emettono ~solo in X con lenti processi in *equilibrio termico*.

All'altro estremo, gli AGN (Nuclei Galattici Attivi) energizzati da Buchi Neri supermassivi di  $10^8 M_{\text{Sole}}$  irradiano potenze  $\sim 10^{13} L_{\text{Sole}}$  su un ampio spettro dalle radioonde ai raggi  $\gamma$ , spesso in treni variabili su scale di ore o minuti. La chiave di tali prestazioni sta nel concentrare le già grandi risorse energetiche sull'accelerazione di elettroni, che quindi irradiano in condizioni nettamente *non-termiche*. L'interesse è stato ancora acuito dalla recente scoperta di collisioni e coalescenze catastrofiche di sistemi

binari di Buchi Neri di massa  $10 - 100 M_{\text{Sole}}$ ; esse emettono onde gravitazionali al kHz che sulla Terra stiracchiano minutamente interferometri lunghi chilometri.

Tali eventi stimolano le attese di sistemi binari di Buchi Neri supermassivi con  $M \sim 10^7 M_{\text{Sole}}$  in grado di emettere onde gravitazionali al nanoHz, rivelabili con interferometri spaziali da  $10^6$  km come nel progetto eLISA. A noi (Cavaliere et al. 2019) pare che una prima risposta positiva già venga dallo studio di PG 1553+113, un AGN della classe dei Blazar contraddistinta da intense emissioni di raggi  $\gamma$  strettamente direzionali da parte di un getto relativistico di Plasma lungo  $\sim 3 \cdot 10^{16}$  cm.

Questo AGN, in particolare, sta mostrando emissioni  $\gamma$  ben nette in forma di alti picchi fra ampie valli, accuratamente periodici con  $P \sim 2.18$  anni, che richiederebbero come sorgente un sistema binario da  $10^8 M_{\text{Sole}}$  con un compagno minore, su orbite quasi-Kepleriane di eccentricità 0.15. Finora è stata osservata con confidenza  $> 0.992$  una serie di 5 periodi contigui, di cui gli ultimi 2 erano stati precisamente previsti in base alla periodicità. Consci dei falsi allarmi che in passato hanno vanificato l'interesse di simili ma frammentarie e confuse sorgenti, attendiamo con curiosità il prossimo periodo.

Alfonso Cavaliere

Referenze qui citate:

Cavaliere, A. Fusco-Femiano, R., *Astron. & Astrophys*, 49, 137, 1976

” ” 70, 677, 1978

Cavaliere, A., Tavani, M., Munar, P., Argan, A., *ApJ Letters*, 875, 22, 2019