

Studio del troncamento di dischi circumstellari: analisi della dipendenza dai parametri della binaria

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è valutare le dimensioni e le eccentricità dei dischi proto-planetari circumstellari in dipendenza dei parametri del sistema binario che li ospita. L'analisi da noi effettuata si concentra sul rapporto fra le masse della binaria q (mass-ratio), sull'eccentricità della binaria e e sulla viscosità del materiale.

I dischi proto-planetari sono delle strutture sottili costituite da gas e polveri che orbitano attorno ad una stella: in essi si formano i pianeti. L'evoluzione del disco è dettata da meccanismi che determinano una ridistribuzione del momento angolare: il materiale che lo costituisce accresce lentamente sul corpo centrale. Se un sistema stellare è composto da due stelle gravitazionalmente legate i dischi proto-stellari presenti possono essere tre: due circumstellari ed uno circum-binario. Nell'ambito di questa tesi siamo interessati ai dischi circum-stellari, che abbiamo considerato essere posti sullo stesso piano orbitale della binaria.

Determinare l'estensione spaziale di un disco d'accrescimento in un sistema multiplo è una problematica che richiede lo studio dell'interazione fra un corpo perturbante ed un anello di gas. Approcci semi-analitici come quello di Papaloizou & Pringle (1977), focalizzato sull'analisi delle forze di marea causate dalla presenza del compagno, e quello di Goldreich & Tremaine (1980), basato sulle risonanze fra le orbite del disco e della binaria, hanno consentito di determinare che la posizione in cui avviene il troncamento dipende da e , da q , dal parametro adimensionale α che regola la viscosità del materiale e dalla temperatura T del disco. Un campionamento fine dello spazio dei parametri è stato realizzato da Pichardo et al. (2005) effettuando 45 simulazioni al variare di q ed e : il metodo delle *test particles* da loro utilizzato focalizza l'attenzione della ricerca su effetti puramente dinamici e non consente di studiare i fenomeni di natura viscosa che regolano l'evoluzione del disco. Una trattazione più rigorosa del troncamento è quella di Artymowicz & Lubow (1994), che hanno preso in considerazione tutta la fisica del problema mediante simulazioni lagrangiane dell'evoluzione del disco: a causa dell'elevato costo computazionale i dischi circumstellari da loro studiati sono solamente otto. Manara et al. (2019) hanno proposto una formula analitica per la determinazione del raggio di troncamento

$$r_T = R_L(ae^b + c\mu^d), \quad (1)$$

dove R_L è la dimensione spaziale del Roche-Lobe (Eggleton 1983), $c = 0.88$ e $d = 0.01$ sono dei parametri determinati a partire dal lavoro di Papaloizou & Pringle (1977) ed a , b sono stati calcolati fittando i risultati numerici ottenuti da Artymowicz & Lubow (1994).

Nonostante il troncamento sia stato diffusamente trattato dal punto di vista computazionale, una vasta regione dello spazio dei parametri resta ad oggi inesplorata: questo lavoro di tesi si propone di colmare alcune delle lacune presenti. Per fare ciò effettuiamo delle simulazioni numeriche 2D utilizzando FARGO3D (Benítez-Llambay & Masset 2016), che è un codice a griglia euleriana sviluppato con l'obiettivo di studiare la fisica dei dischi d'accrescimento, ampiamente utilizzato in ambito astrofisico. I sistemi binari che abbiamo analizzato possono essere

divisi in tre categorie: circolari ($e = 0.0$), a media eccentricità ($e = 0.3$) e ad elevata eccentricità ($e = 0.6$). Per ogni valore di e , abbiamo studiato quattro rapporti fra la massa m_2 della stella secondaria e quella m_1 della primaria. Abbiamo deciso di lavorare con tre differenti viscosità del materiale orbitante esplorando l'intervallo caratteristico del problema in analisi, giungendo a valori del numero di Reynolds più elevati rispetto a Artymowicz & Lubow (1994). Il numero totale di simulazioni effettuate in questo lavoro di tesi è 72, nove delle quali sono delle run di convergenza per verificare la correttezza dell'approccio utilizzato: il campione da noi analizzato è 9 volte più grande di quello di Artymowicz & Lubow (1994). Le dimensioni del disco e la sua eccentricità vengono valutate per ogni configurazione assunta dal materiale fra il trentesimo e il cinquantesimo periodo di rivoluzione della binaria: i risultati che forniamo sono i valori medi delle stime effettuate.

Abbiamo determinato l'estensione dei dischi con due metodi differenti: per ogni sistema in analisi effettuiamo una stima del raggio di troncamento e del semiasse maggiore del disco. Abbiamo osservato che ad e fissato la dimensione del disco dipende fortemente dal valore di m_{cen}/m_{per} , dove m_{cen} è la massa della stella al centro della griglia, mentre m_{per} la massa del corpo perturbante: gli oggetti che orbitano attorno ad una frazione di massa della binaria più elevata sono più grandi. All'aumentare di e le dimensioni dei dischi circumstellari analizzati diminuiscono sensibilmente: questo andamento è dovuto al fatto che le risonanze eccentriche sono di intensità maggiore per un sistema ad alta e , con un conseguente spostamento della regione di troncamento (Artymowicz & Lubow 1994). È possibile osservare una dipendenza da α : maggiore è la viscosità, maggiori sono le dimensioni del disco che otteniamo.

La seconda caratteristica a cui siamo interessati è e_{disco} , che abbiamo definito come l'eccentricità delle orbite percorse dal materiale nell'intorno del semiasse maggiore di troncamento. Abbiamo effettuato una stima per ognuno dei 63 dischi simulati, osservando che in media e_{disco} diminuisce all'aumentare dell'eccentricità della binaria: questo comportamento contro-intuitivo sembra si verifichi perché le risonanze responsabili dell'eccitazione di e_{disco} finiscono per trovarsi a raggi maggiori rispetto a quello di troncamento. Artymowicz & Lubow (1994) fanno riferimento ad e_{disco} solo per rimarcare come la mancanza di simmetria per rotazioni attorno all'asse z del disco pregiudichi una corretta valutazione di r_T : l'approccio quantitativo presente in questa tesi è innovativo.

Abbiamo effettuato un confronto fra le dimensioni dei dischi da noi ottenute e quelle presenti in letteratura osservando un buon accordo fra i valori di r_T per i dischi ospitati in sistemi binari circolari o altamente eccentrici. Nel caso di binaria ad $e = 0.3$ abbiamo osservato delle discrepanze in media del 15 % fra i valori teorici e quelli da noi ottenuti: il modo di scalare delle dimensioni del disco è leggermente differente nei due casi. Considerato il buon accordo fra i nuovi risultati numerici e quelli ottenuti da lavori precedenti, uno dei possibili sviluppi futuri di questo lavoro di tesi è un'estensione del fit di a , b , c , d ad una nuova regione dello spazio dei parametri.

Bibliografia

- Artymowicz, Pawel & Stephen H. Lubow (feb. 1994). «Dynamics of Binary-Disk Interaction. I. Resonances and Disk Gap Sizes». In: *The Astrophysical Journal* 421, p. 651. DOI: 10.1086/173679)
- Benítez-Llambay, Pablo & Frédéric S. Masset (2016). «FARGO3D: A New GPU-oriented MHD Code». In: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 223.1, p. 11. URL: <http://stacks.iop.org/0067-0049/223/i=1/a=11>)
- Eggleton, P. P. (mag. 1983). «Aproximations to the radii of Roche lobes.» In: *The Astrophysical Journal* 268, pp. 368–369. DOI: 10.1086/160960)
- Goldreich, P. & S. Tremaine (ott. 1980). «Disk-satellite interactions.» In: *The Astrophysical Journal* 241, pp. 425–441. DOI: 10.1086/158356)
- Manara, C. F., M. Tazzari, F. Long, G. J. Herczeg, G. Lodato, A. A. Rota, P. Cazzoletti, G. van der Plas, P. Pinilla, G. Dipierro, S. Edwards, D. Harsono, D. Johnstone, Y. Liu, F. Menard, B. Nisini, E. Ragusa, Y. Boehler & S. Cabrit (ago. 2019). «Observational constraints on dust disk sizes in tidally truncated protoplanetary disks in multiple systems in the Taurus region». In: *Astronomy & Astrophysics* 628, A95, A95. DOI: 10.1051/0004-6361/201935964. arXiv: 1907.03846 [astro-ph.EP])
- Papaloizou, J. & J. E. Pringle (nov. 1977). «Tidal torques on accretion discs in close binary systems.» In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 181, pp. 441–454. DOI: 10.1093/mnras/181.3.441)
- Pichardo, Barbara, Linda S. Sparke & Luis A. Aguilar (mag. 2005). «Circumstellar and circumbinary discs in eccentric stellar binaries». In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 359.2, pp. 521–530. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2005.08905.x. arXiv: astro-ph/0501244 [astro-ph])