

Fosforo interstellare in nubi con formazione di stelle massicce: osservazioni multiriga della molecola PN

CANDIDATO: Chiara Mininni

RELATORE: Prof. Francesco Fontani
fontani@arcetri.astro.it

Il fosforo (P) è uno degli elementi cruciali per lo sviluppo della vita. Assume un ruolo centrale nella formazione di biomolecole fondamentali, come gli acidi nucleici (RNA e DNA), i fosfolipidi (il rivestimento delle membrane cellulari) e l'adenosintrifosfato (ATP), da cui tutte le forme di vita traggono energia. Per questo motivo lo studio di come molecole contenenti P possano formarsi, ben prima della creazione di sistemi planetari, già nelle prime fasi di creazione di una stella, e di come la loro abbondanza possa evolvere nelle varie fasi del processo di formazione stellare, è estremamente importante.

Il fosforo nell'Universo è sintetizzato in stelle di alta massa ed è immesso nel mezzo interstellare (MIS, costituito da 99% gas e 1% grani di polvere in massa, raggi cosmici e fotoni) grazie alle esplosioni di Supernovae e venti stellari. Nelle regioni più dense ($n > 10^4 \text{ cm}^{-3}$) e fredde ($T \sim 10 - 20 \text{ K}$) del MIS, dove inizia la formazione stellare, si crede che il P sia per lo più ghiacciato sui grani di polvere, per cui la sua osservazione risulta complicata.

Le osservazioni di molecole contenenti P nel MIS, in regioni di formazione stellare, ad oggi sono un numero esiguo (solo 2 molecole, PN e PO, sono state rivelate in un numero totale di ~ 15 sorgenti). Nonostante PN e PO siano molecole estremamente semplici, la comprensione di come queste specie si formino nel MIS, e come evolvano durante gli stadi del processo di formazione stellare, è fondamentale per cercare di comprendere l'evoluzione della chimica del P, fino alla possibile formazione di molecole più complesse.

In questo lavoro di tesi abbiamo focalizzato l'attenzione sullo studio della molecola PN, sia perché è la più facile da rivelare, sia perché è cruciale in alcuni modelli chimici per la produzione di altre molecole più complesse, contenenti P. Tuttavia, gli stessi modelli sono in disaccordo sulla formazione di questa molecola: Charnley & Millar (1994) hanno teorizzato che questa si formi tramite **reazioni in fase gassosa**, dopo che il fosforo sia sublimato dai grani di polvere a $T \sim 90 \text{ K}$; Turner&Bally (1987) hanno ipotizzato che si possa creare rapidamente dopo che i **grani di polvere** siano stati parzialmente distrutti in regioni di shock; Rivilla et al. (2016) hanno proposto una catena di reazioni chimiche per cui PN può formarsi già in regioni dense e fredde, successivamente essere depletato su grani di polvere ed essere rilasciato nuovamente in fase gassosa a $T \sim 35 \text{ K}$.

Le poche rivelazioni di PN fino ad oggi non permettono di vincolare i modelli e comprendere quale sia il meccanismo più importante nella creazione di questa molecola.

In questo lavoro di tesi abbiamo osservato, con il radiotelescopio IRAM-30m, 18 regioni di formazione stellare di alta massa, divise in tre stadi evolutivi, nelle transizioni rotazionali PN (3-2) a 141 GHz e PN (6-5) a 282 GHz. Queste sono state analizzate insieme alla riga PN (2-1) a 94 GHz osservata in 10 delle sorgenti del nostro campione da Fontani et al. (2016) e Rivilla et al. (2016). Dalla rivelazione di più di una transizione in condizioni di LTE, profondità ottica $\tau \ll 1$ e temperatura di eccitazione dei livelli della molecola $T_{\text{ex}} \gg T_{\text{BG}}$ (temperatura di brillantezza del background), è possibile effettuare un'analisi multiriga basata sul metodo dei **Boltzmann plots**, da cui è possibile ricavare T_{ex} ed N_{tot} , la densità di colonna totale della molecola.

Il PN è stato rivelato in 15 sorgenti su 18 e le T_{ex} trovate hanno valori compresi fra 3 K e 12 K (una eccezione con $T_{\text{ex}} \sim 32 \text{ K}$), estremamente basse, le quali indicano che probabilmente i livelli energetici della molecola sono sub-termicamente popolati. Le densità di colonna osservate sono nel range $N_{\text{tot}} \sim 0.6 - 23 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$. Queste proprietà fisiche della molecola del PN, insieme alla larghezza di riga a metà altezza (FWHM) e al profilo di riga stesso, sono state confrontate con altre molecole: due traccianti di shock (SiO & SO) e CH₃OH, la quale si forma sui grani di polvere ed ad alte temperature sublima, tornando in fase gassosa.

I risultati mostrano una correlazione fra PN, SiO ed SO, anche se non tutte le rivelazioni sono compatibili con una origine in regioni di shock, a causa di profili di riga di PN molto stretti. Nessuna correlazione fra PN e CH₃OH è stata osservata dalle analisi effettuate. Dalle osservazioni sembrerebbe emergere la presenza di due componenti distinte di PN: una proveniente da gas relativamente quiescente ed una seconda strettamente legata a shocks.