



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Tesi di laurea triennale in fisica e astrofisica

## Collasso gravitazionale di una nube primordiale

**Candidato:** Martina Cannata

**Relatore:** Dott. Daniele Galli

(galli@arcetri.astro.it)

### Riassunto

Nell'epoca precedente alla formazione delle prime stelle, il gas primordiale era composto esclusivamente di elementi leggeri, principalmente idrogeno ed elio. Questi elementi erano presenti dapprima in forma ionizzata e poi in forma atomica, in conseguenza del progressivo raffreddamento della materia dovuto all'espansione dell'Universo. Il processo di formazione stellare ha inizio in questo gas atomico e rarefatto con la crescita di fluttuazioni di densità la cui evoluzione dinamica dipende fortemente dalla temperatura, dalla densità e dalla composizione chimica del gas stesso. Fluttuazioni di densità di massa superiore ad una massa critica, detta massa di Jeans, possono collassare per instabilità gravitazionale e formare la prima generazione di stelle.

Scopo di questo lavoro di tesi è stato quello di descrivere da un punto di vista fisico-chimico il processo di collasso gravitazionale di una nube primordiale, concentrandoci sulle fasi precedenti alla formazione delle stelle. Nel far questo ci siamo anche avvalsi dei programmi numerici del *software* KROME, che ci hanno consentito di simulare il collasso della nube, seguendo l'evoluzione dei suoi parametri fisici e della sua composizione chimica.

Abbiamo preso in considerazione una nube di gas primordiale specificandone le caratteristiche iniziali di temperatura, densità e composizione chimica. All'epoca della formazione delle prime stelle, circa 400 milioni di anni dopo il Big Bang, una tipica nube primordiale presenta temperature dell'ordine del centinaio di K, densità dell'ordine di  $1 \text{ cm}^{-3}$  e, fatto più importante, totale assenza di "metalli", ovvero elementi più pesanti dell'elio. Abbiamo poi descritto le condizioni per il verificarsi del collasso della nube (condizioni di instabilità gravitazionale, o di Jeans) e illustrato i processi chimici e fisici che influenzano il collasso della nube e la sua evoluzione. Questi sono stati individuati soprattutto nei processi di riscaldamento e raffreddamento del gas. La principale responsabile del riscaldamento del gas è la compressione dovuta alla contrazione cui è soggetta la nube, mentre al suo raffreddamento concorrono soprattutto la formazione, la dissociazione e le emissioni radiative dell'idrogeno molecolare. La simulazione effettuata con il programma KROME ci ha consentito di seguire l'evoluzione di temperatura, composizione chimica e processi di riscaldamento e raffreddamento della nube una volta innescato il collasso. Abbiamo così ottenuto l'andamento della temperatura, delle abbondanze di idrogeno e dei processi di riscaldamento e raffreddamento della nube in funzione della sua densità, e riprodotto in forma grafica l'evoluzione di queste quantità. Abbiamo infine confrontato i risultati ottenuti per la nostra nube primordiale con quelli analoghi per nubi con metallicità diversa da zero, caratterizzando l'evoluzione del collasso in base alla composizione chimica iniziale del gas della nube.

Da quanto ottenuto possiamo affermare che una nube primordiale in fase di collasso presenta temperature dell'ordine delle migliaia di K, destinate poi a crescere quando la nube diventa opaca alla sua radiazione, e una composizione chimica determinata da una progressiva conversione dell'idrogeno atomico in idrogeno molecolare. Tutto questo è regolato dalla compresenza di fenomeni che riscaldano e raffreddano il gas di cui la nube è composta; sono questi infatti i veri responsabili della traccia evolutiva calcolata, in quanto creano le condizioni necessarie affinché il collasso possa procedere secondo questo andamento. L'evoluzione è stata interrotta quando l'aumento di temperatura e densità era tale da dissociare l'idrogeno molecolare che si era formato.