

COLAPSO GRAVITACIONAL, FORMAÇÃO DE ESTRELAS E MASSA DE JEANS

Tiago Dos Anjos Almeida¹; Rainer Karl Madejsky²

1. Bolsista FAPESB/UEFS, Graduando em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: tiago.alves789@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, email: madejsky789@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Colapso, Estrelas, Massa de jeans.

INTRODUÇÃO

Ao olharmos para o céu em uma noite estrelada ficamos deslumbrados com a incrível quantidade de estrelas possíveis de se observar. As estrelas fascinam as pessoas desde antigamente e sempre despertaram a curiosidade. Naquele tempo, as pessoas não sabiam explicar o fenômeno das estrelas e então às associavam a deuses. Além de seu encanto, as estrelas desempenham um papel de suma importância no universo, fazendo parte da nossa cultura e nos fornecendo a energia indispensável para vivermos. Com o desenvolvimento da tecnologia e conseqüentemente com o surgimento dos telescópios tornou-se possível o estudo mais detalhado a respeito das estrelas. Hoje se sabe que uma estrela é uma esfera de gás onde há um constante equilíbrio entre pressão gravitacional, tentando contraí-la, e a pressão térmica, que não permite que essa contração ocorra. O objetivo principal desse trabalho é, através do colapso gravitacional de uma nuvem de gás e poeira, entender o processo de formação das estrelas até elas atingirem o estado de equilíbrio hidrostático. A figura um (a), mostra essa nuvem de gás e poeira em estado inicial de colapso, a parte esquerda da figura (b) mostra algumas estrelas envoltas em gás brilhante em pó e a parte direita da figura (b) mostra as mesmas estrelas, só que vista sobre a visão infravermelha do telescópio espacial Hubble. O estudo da formação estelar tem um papel muito importante para entender como ocorre o processo de formação das estrelas e como o nosso universo se desenvolve.



Figura 1:(a) Nebulosa de Órion: nuvem de gás e poeira (localizada na constelação) de órion onde está ocorrendo o processo de formação estelar. Figura 1 (b) mostra as estrelas de formação recente.

MATERIAL E MÉTODO

Consulta da literatura original através da internet e de revistas especializadas, como também consulta de livros e textos relacionados ao assunto, como por exemplo, SILK, O Big Bang a origem do universo. Foram analisados os métodos físicos sobre a formação das estrelas e das galáxias, e as diferentes fases do colapso gravitacional.

A abordagem aos cálculos será feita com métodos matemáticos analíticos, Métodos analíticos: cálculo diferencial, cálculo integral, solução de uma equação diferencial, cálculo

do tempo de queda livre e do colapso de uma nuvem de gás e poeira. Também faremos uso dos conceitos da termodinâmica a respeito de um gás, e também faremos uso do teorema virial, que desempenha um papel de suma importância no estudo da evolução estelar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando uma nuvem de gás e poeira intergaláctica (com tamanho de milhares de anos luz) choca com outra, ou passa por uma região densa de um braço espiral, ela começa a colapsar. Começa ai então o processo de formação das estrelas, a ação da gravidade vai fazendo com que cada vez mais a massa se contraia em direção ao centro. O tempo de colapso dessa nuvem é calculado considerando a nuvem como uma distribuição homogênea e esférica de gás e poeira, com isso podemos usar a equação do movimento de um elemento de massa m que se encontra na superfície de uma distribuição esférica de massa $M = \frac{4}{3}\pi\rho r^3$, onde ρ é a densidade media da nuvem, e r é o raio, é dada por

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{GMm}{r^2} \quad (1)$$

Se multiplicarmos a última equação por $\left(\frac{dr}{dt} \frac{1}{m}\right)$ temos que

$$\frac{dr}{dt} \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{dr}{dt} \frac{GM}{r^2} \quad (2)$$

Como $\frac{d}{dt} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = 2 \frac{d^2 r}{dt^2} \frac{dr}{dt}$ e $\frac{d}{dt} \frac{GM}{r} = -\frac{dr}{dt} \left(\frac{GM}{r^2}\right)$,

Substituindo cada termo na ultima equação, ficamos com:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 - \frac{GM}{r} \right) = 0;$$

Integrando a ultima equação, ficamos com

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 - \frac{GM}{r} = -\frac{GM}{R_0} \quad (3)$$

Onde $\frac{GM}{R_0}$; é a constante de integração que foi escolhida para ser igual à energia potencial inicial, visto que a energia cinética inicial é zero.

Para encontrar o tempo de colapso isolamos $\frac{dr}{dt}$ na ultima equação, e ficamos com

$$\frac{dr}{dt} = (2GM)^{1/2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_0}\right)^{1/2}$$

Que resulta na integral,

$$\int_{t_0}^t dt' = \frac{1}{\sqrt{2GM}} \int_{R_0}^R \frac{r}{\sqrt{r-r^2/R_0}} dr \quad (4)$$

Onde esses limites de integração em relação ao tempo são t_0 , e t , e em relação aos raios são R_0 e R . Resolvendo essa integral, encontramos que o tempo necessário para a nuvem diminuir de um raio inicial R_0 é

$$t_q = \frac{1}{\sqrt{G\rho_0}} \quad (5)$$

Onde ρ_0 é a densidade inicial da nuvem.

Podemos perceber que o tempo calculado anteriormente depende apenas da densidade inicial da nuvem, e não da massa total, mais não é qualquer nuvem que está sujeita ao colapso, numa descrição mais completa deve ser incluída a pressão térmica. Pois os átomos estão em movimento, e possui energia cinética dada por: $\frac{1}{2}\mu v^2 = \frac{3}{2}kT$, onde v é a velocidade do átomo, μ é sua massa, e k é a constante de Boltzmann.

Para um gás monoatômico composto de N átomos de massa μ , sua energia cinética é dada por

$$E_c = \frac{1}{2}N\mu v^2 = \frac{3}{2}NkT = \frac{3}{2\mu}MkT \quad (6)$$

Onde M é a massa total do gás dada por $M = N\mu$.

A energia potencial de uma esfera homogênea de massa M , raio R e densidade ρ pode ser calculada adicionando uma camada infinitesimal de massa dM_r , a uma esfera que já existe de raio r , e massa $Mr = \frac{4}{3}\pi\rho r^3$, com isso diminui a energia potencial negativa devido à adição da camada por um fator $dE_p = -\frac{GM_r dM_r}{r}$.

Como dM_r é a derivada da massa Mr , temos que, $dM_r = 4\pi\rho r^2 dr$, substituindo esse resultado, e o valor da massa Mr na equação de dE_p , temos que; $dE_p = -\frac{4}{3}G\rho\pi r^3 \frac{1}{r} 4\pi\rho r^2 dr$, a energia potencial é conseguida integrando a ultima equação de zero até um raio R , $E_p = \int_0^R dE_p$, Substituindo o valor de dE_p , e Resolvendo a integral, encontramos que a energia potencial é dada por

$$E_p = -\frac{3GM^2}{5R} \quad (7)$$

O teorema virial diz que a energia total $E = E_c + E_p$ se distribui de tal forma que na maioria da média do tempo

$$E_c = -\frac{E_p}{2}$$

Essa última equação diz que quando o raio da estrela diminui a energia potencial torna-se mais negativa. Segundo o teorema virial, a configuração de equilíbrio é dada por

$$\frac{2E_c}{-E_p} = 1 \quad (8)$$

Substituindo as energias encontradas nas equações (6) e (7), em (9), temos que

$$[(3MkT/\mu)/(3/5)GM^2/R] = 1$$

Isolando R da ultima equação ficamos com

$$R < GM/(5kT/\mu) \quad (9)$$

Esse é o raio mínimo necessário para que uma nuvem de gás e poeira entre em colapso gravitacional.

Como a massa total de uma nuvem de gás e poeira com densidade ρ e temperatura T é $M = \frac{4}{3}\pi\rho R^3$, substituindo o raio encontrado na equação (9) temos que

$$M > \frac{5^{3/2}}{(4\pi/3)^{1/2}} \left(\frac{kT}{\mu G}\right)^{3/2} \rho^{-1/2}$$

Essa é a massa mínima necessária para que a nuvem ultrapasse o limite de estabilidade e inicie o colapso gravitacional. Essa massa é chamada de massa de jeans. Através do teorema virial podemos chegar à conclusão de que não é qualquer nuvem de gás e poeira que está sujeita ao colapso gravitacional, ela precisa possuir uma massa mínima, chamada de massa de Jeans.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que as estrelas desempenham um papel importante na evolução do universo, agindo de forma direta na formação de sistemas planetários, como por exemplo, o sistema solar. O estudo da formação das estrelas é uma fase fundamental para entender como são formados os planetas, visto que eles nascem a partir da aglutinação das partículas (que sobrou do colapso) que colidem umas com as outras e vão se juntando até formarem um sistema planetário. Percebe-se também que a formação desses astros procede de maneira diferente em ambientes diferentes. No processo de formação das estrelas e das galáxias é necessário que se inclua a pressão térmica. Essa inclusão faz surgir uma condição necessária para que se inicie o colapso gravitacional, essa condição é que a nuvem de gás e poeira possua a chamada massa de jeans.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MACIEL: Introdução a estrutura e evolução estelar

NUSSENZVEIG: Física Básica, Vol. 1

SILK, O Big Bang: A origem do universo

ZEMANSKY, Termodinâmica

Sites da internet

[Http://astro.if.ufrgs.br](http://astro.if.ufrgs.br)

[Http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/index.html](http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/index.html)

[Http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/Extragal.html](http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/Extragal.html)