

# Lista de Exercícios - Aula 20

AGA0215 - Fundamentos de Astronomia

Docentes: Augusto Daminieli e Eduardo Cypriano

Monitora: Lia Doubrawa

## 1. Como as medidas para a densidade de matéria bariônica implicam na existência de matéria escura?

Medidas do parâmetro de densidade de matéria do Universo indicam um valor de  $\Omega_M$  que varia entre 0.15-0.3. Entretanto, quando tomado em consideração apenas a quantidade de matéria bariônica, esse valor  $\Omega_B = 0.04-0.05$ . Tal diferença implica na presença de uma matéria não-bariônica, a matéria escura, que soma em torno de  $\sim 85\%$  da matéria total do Universo.

## 2. Explique o problema da idade do Universo.

No fim do século XX, estimativas da idade da população estelar de aglomerados globulares eram de 12-16 bilhões de anos. Tais medidas eram obtidas a partir dos diagramas de cor-magnitude, com certa facilidade e precisão. Assim, havia um vínculo cosmológico muito forte para a idade do Universo, pois não seria possível medir um objeto com idade superior que o próprio Universo. O valor da constante de Hubble, que variava entre  $H_0 = 50-100 \text{ km/s Mpc}^{-1}$ , levava a estimativas de idade do Universo de 19.6-9.8 bilhões de anos (tempo de Hubble,  $t_H = 1/H_0$ ). Esse problema se agravava ainda mais dependendo do modelo escolhido para descrever a evolução do Universo. Tal comportamento pode ser visto na figura 1 (veja slide 13), que mostra o tamanho do Universo em função do tempo, centrado no instante atual (hoje). Em um universo vazio (em linha preta) a idade do Universo seria igual ao tempo de Hubble. Em um Universo de baixa densidade, esse valor seria um pouco menor (ciano). No caso de um modelo onde  $\Omega_M = 1$ ,  $t_H = 2/(3H_0)$  (roxo). E um universo de alta densidade, o universo seria ainda mais jovem (rosa).

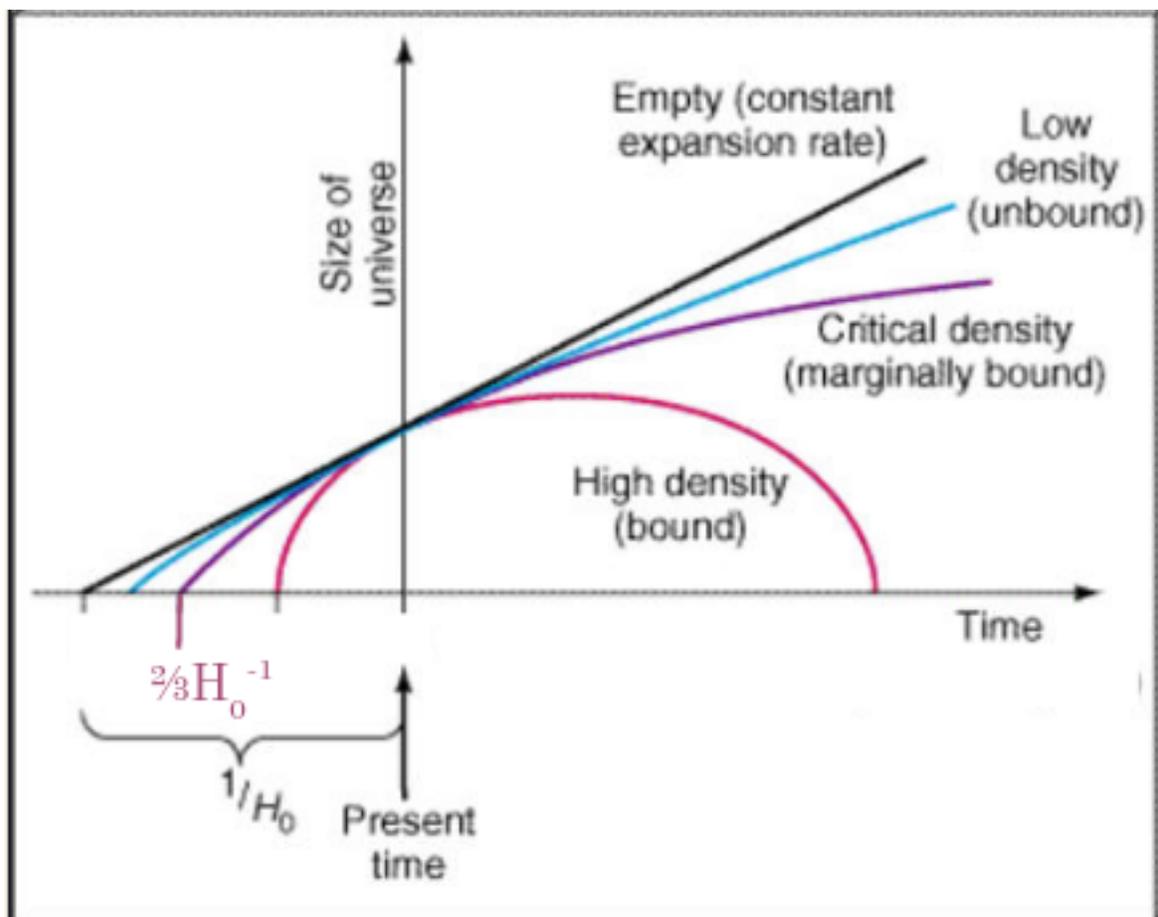


Figura 1: Evolução do Universo para diferentes modelos (slide 13).

**3. O que as observações de SNIa (considerando as equações 1 e 2) levaram a concluir a respeito do parâmetro de desaceleração e conseqüentemente sobre a expansão do Universo? (  $m$  - magnitude observada;  $M$  - magnitude conhecida)**

$$m - M = 5 \log_{10} \left[ \frac{d_L(z, H_0, q_0)}{1 \text{ Mpc}} \right] + 25 \quad (1)$$

$$d_L \simeq \frac{c}{H_0} z \left( 1 + \frac{1 - q_0}{2} z \right) \quad (2)$$

A equação 1, descreve a definição da distância  $d_L$  pela relação entre magnitude aparente ( $m$ ) e absoluta ( $M$ ) a partir do módulo de distância  $m - M$ . Em termos de luminosidade e fluxo, podemos escrever  $L = 4\pi F d_L^2$ .

As observações de SNeIa publicadas entre 1998 e 1999 mostraram que o fluxo dos objetos era menor do que as previsões obtidas pelo modelo de Friedmann-Lemaître (slide 18).

Os efeitos relativísticos de dilatação do tempo cosmológica e o *redshift*, devido à curvatura do espaço-tempo, precisam ser considerados para as medidas de distância. Assim, para que os dados fossem ajustados corretamente ao modelo dado pela equação 2 (aproximação válida no regime de  $z \ll 1$ ) era necessário considerar um parâmetro de desaceleração com valor negativo,  $q_0 \sim -0.6$ . Isso indica que o Universo está, na verdade, acelerando.

Considerando ainda que  $q_0 = \frac{1}{2}\Omega_M - \Omega_\Lambda$ , para produzir um valor negativo de  $q_0$ , utiliza-se a constante cosmológica – constante que havia sido previamente descartada por Einstein.

#### **4. De que forma o tamanho aparente das anisotropias da radiação cósmica de fundo traz informação sobre a curvatura do Universo?**

O tamanho das anisotropias da radiação cósmica de fundo está associado ao Horizonte do som, isto é, distância máxima que uma onda de pressão do fluido de bárions e fótons pode percorrer até  $z=1100$  (recombinação). Essas anisotropias são sensíveis à curvatura do Universo,  $1 - \Omega$ . Exemplos dessa variação com a geometria pode ser visto na figura 2. No caso de um Universo denso e fechado ( $1 - \Omega < 0$ ) esses objetos apareceriam angularmente maiores. Enquanto em um universo aberto ( $1 - \Omega > 0$ ) apareceriam angularmente menores. Note que o tamanho físico é o mesmo para os 3 casos.

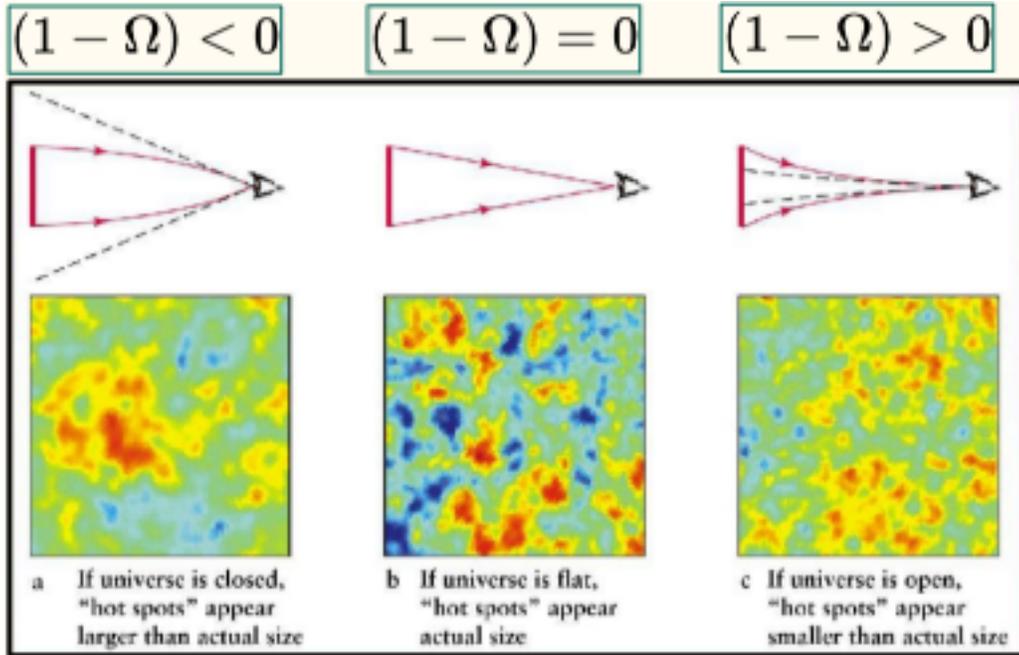


Figura 2: Variação angular observada na radiação cósmica de fundo em 3 geometrias diferentes: Universo fechado ( $1 - \Omega < 0$ ), plano ( $1 - \Omega = 0$ ) e aberto ( $1 - \Omega > 0$ ), slide 20).

## 5. Do que se trata a “concordância cósmica”? E Quais as características desse modelo? (e.g. densidade, curvatura)

A concordância cósmica trata dos resultados das observações de densidade de massa do Universo, e sua intersecção no plano  $\Omega_M, \Omega_\Lambda$  ( $\sim 0.3, 0.7$ ). Observou-se que mesmo utilizando metodologias, que partem de princípio diferentes, é possível obter um ponto em comum. Isso reforça as medidas, e os modelos utilizados. A combinação desses resultados independentes permitem reduzir significativamente as barras de erro.

Esse modelo permite afirmar que vivemos em um Universo composto em  $\sim 30\%$  de matéria e  $\sim 70\%$  de energia escura. Sendo a soma total dos parâmetros de densidade igual a unidade, isto é, de geometria plana. Com tais parâmetros de densidade, temos um modelo de Universo acelerado, o que ajuda também a resolver o problema da idade (juntamente com medidas de distâncias mais precisas dos aglomerados globulares), discutido na questão 2.