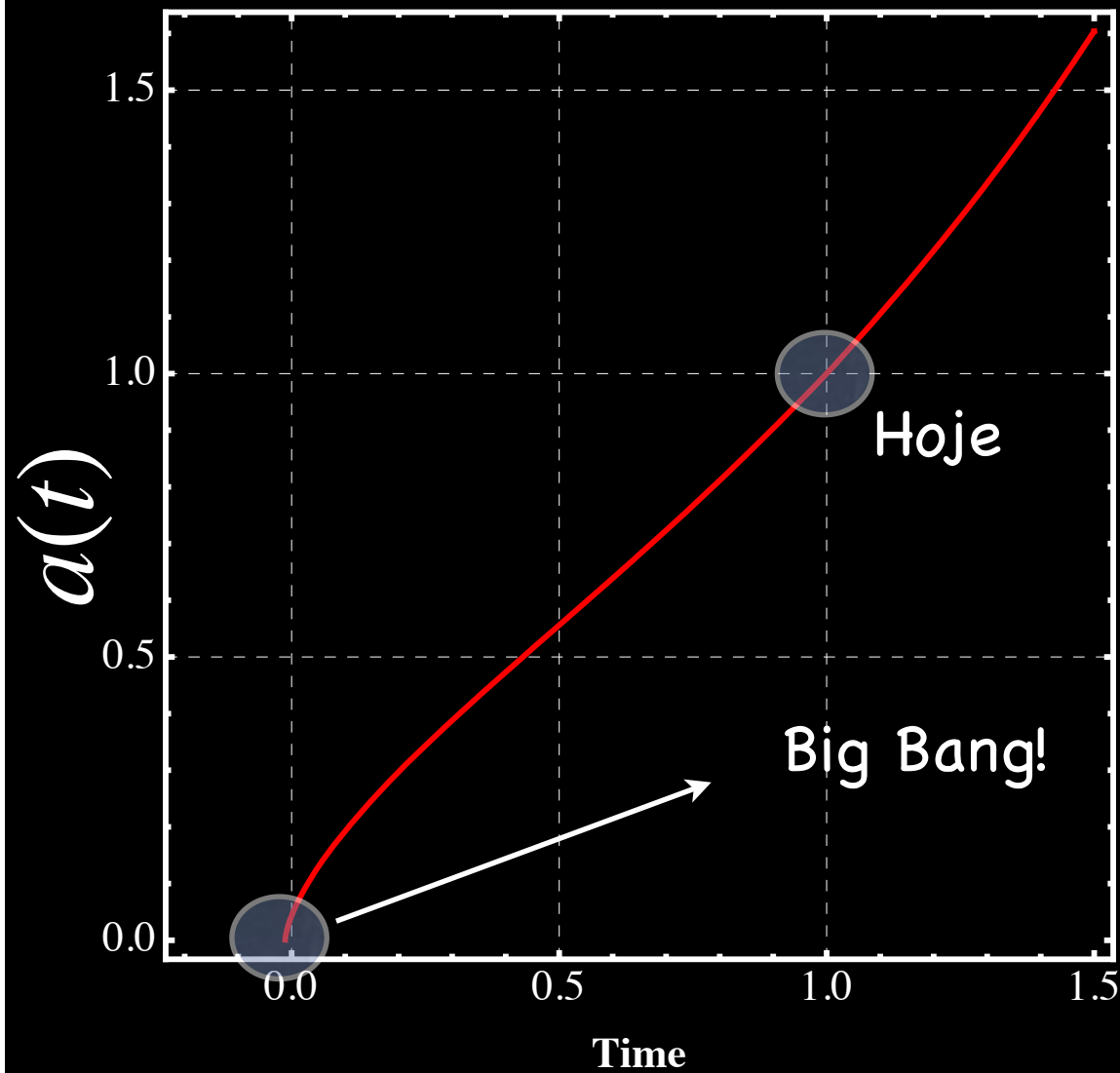


- Quanto antes no tempo, mais próximo as galáxias estavam.
- As equações de Friedmann prevêm que, na presença de qualquer matéria, indo para trás no tempo, o fator de escala $a(t)$ diminui, se aproximando assintoticamente de $a = 0$ e $H = \infty$.
- Quanto mais se comprime as distâncias no universo, mas “quente” ele fica. Isso é consequência do seguinte: a matéria não relativística, evolui da seguinte forma $\rho \propto a^{-3}(t)$. Mas a densidade de energia da radiação satisfaz $\rho_{rad} \propto a^{-4}(t)$.
- Este comportamento tem a seguinte interpretação: além da mudança do volume do espaço, que contribui com a^{-3} , a energia de qualquer onda eletromagnética é aumentada proporcionalmente ao inverso de seu comprimento. Logo, ganha-se um fator a mais $a^{-1}(t)$. Esta interpretação é consequência da equação de estado $\rho = \frac{1}{3}p$.

Big bang

37



Exercício 4 (parte 2): No espaço homogêneo em expansão, vale a seguinte equação de conservação: $\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = 0$.

Mostre que i) $p = 0$ implica que $\rho \propto a^{-3}$ e

ii) $\rho = p/3$ (eq. de estado de gás de fótons) implica que $\rho \propto a^{-4}$.

Comentário além do exercício: essa equação de conservação é consequência da conservação do tensor energia momento, que é expressa por $\nabla_{\mu} T^{\mu}_{\nu} = 0$, em que ∇_{μ} é uma derivada covariante, ela depende de ∂_{μ} e de $\Gamma^{\mu}_{\nu\lambda}$.

Big bang

- Quanto antes no tempo, mais próximo as galáxias estavam.

• **Exercício 4** (parte 2): No espaço homogêneo em expansão, vale a seguinte equação de conservação: $\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = 0$.

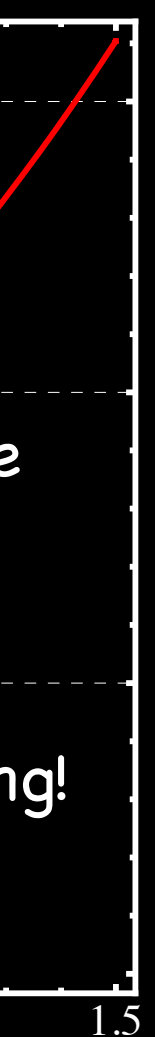
- (Mostre que i) $p = 0$ implica que $\rho \propto a^{-3}$ e
fii) $\rho = p/3$ (eq. de estado de gás de fótons) implica que $\rho \propto a^{-4}$.

• Comentário além do exercício: essa equação de conservação é consequência da conservação do tensor energia momento, que é expressa por $\nabla_{\mu} T^{\mu}_{\nu} = 0$, com que ∇_{μ} é uma derivada covariante, ela depende de ∂_{μ} e de $\Gamma^{\mu}_{\nu\lambda}$.

a mais $a^{-1}(t)$. Esta interpretação é consequência da equação de estado $\rho = \frac{1}{3}p$.

LS

e



ca

or

Bariogênese

- Como o universo surge com uma densidade de energia acima de qualquer coisa conhecida, inicialmente não havia qualquer partícula composta, não só átomos, mas prótons e nêutrons não poderiam existir.
- Assim, o universo precisa passar por um período chamado de **bariogênese**, o que ocorre quando o universo tinha menos de 1 segundo de existência e a energia média dos fótons era inferior a 1 GeV (quando a energia média é maior, qualquer bárion que se forme é rapidamente destruído).
- É um processo não perfeitamente bem entendido; há em especial uma questão em aberto sobre a quebra da simetria entre matéria e antimatéria. Associado a isso, está a violação da conservação do número bariônico.