

Relíquias de um Universo borbulhante

Transição de fase eletrofraca de primeira ordem e suas implicações cosmológicas

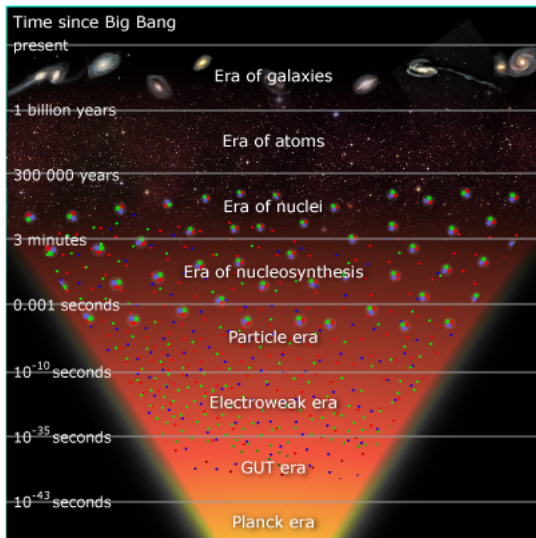
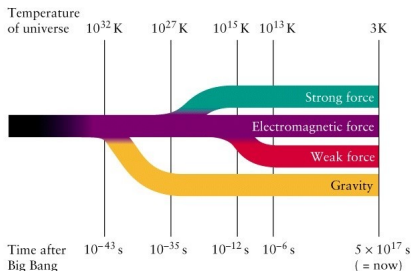
Daniel Aguiar Pinto



27 de Setembro, 2022

História do Universo

- 1 Transição Eletrofraca
- Separação da interação eletromagnética e fraca



Transformação de Calibre no Modelo Padrão

O que é uma transformação de calibre?

São transformações locais aplicadas na lagrangiana em que a lagrangiana do sistema não se altera.

O que é uma transformação de calibre?

São transformações locais aplicadas na lagrangiana em que a lagrangiana do sistema não se altera.

- Se a o fóton possuísse massa, a lagrangiana da QED possuiria o termo da forma

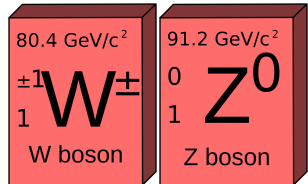
$$\mathcal{L}_{QED} \supset +\frac{1}{2}m_\gamma^2 A_\mu A^\mu$$

- Transformações de calibre do grupo $U(1)$

$$A_\mu \longrightarrow A'_\mu = A_\mu - \partial_\mu \chi \Rightarrow \frac{1}{2}m_\gamma^2 (A_\mu - \partial_\mu \chi)(A^\mu - \partial^\mu \chi) \neq \frac{1}{2}m_\gamma^2 A_\mu A^\mu$$

Problema

Para a interação fraca isso confronta os dados experimentais.



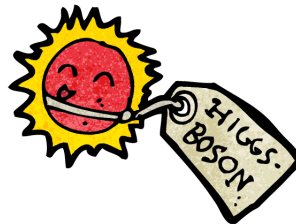
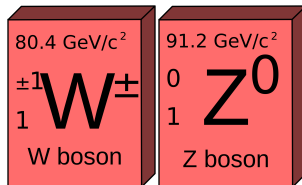
Massa dos Bósons

Problema

Para a interação fraca isso confronta os dados experimentais.

Solução

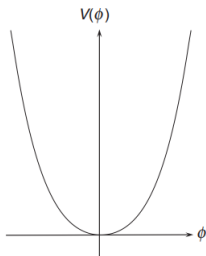
Inserir interações com um campo escalar, o Bóson de Higgs.



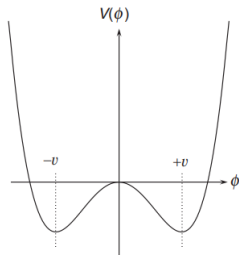
Potencial de um campo escalar

Considerando o potencial de um campo escalar da forma

$$V(\phi) = \frac{1}{2}\mu^2\phi^2 + \frac{1}{4}\lambda\phi^4$$



Para $\mu^2 > 0$



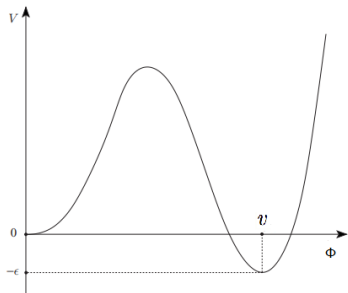
Para $\mu^2 < 0$

Quebra de Simetria

- Quebra de simetria dependente da temperatura

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu\phi)(\partial^\mu\phi) + \frac{1}{2}\mu^2\phi^2 - \frac{1}{4}\lambda\phi^4 - V(T, \phi)$$

- Tunelamento na barreira do potencial

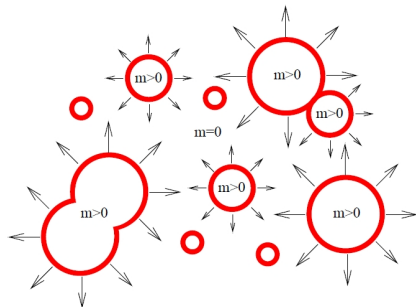
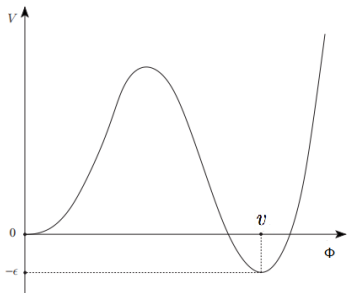


Quebra de Simetria

- Quebra de simetria dependente da temperatura

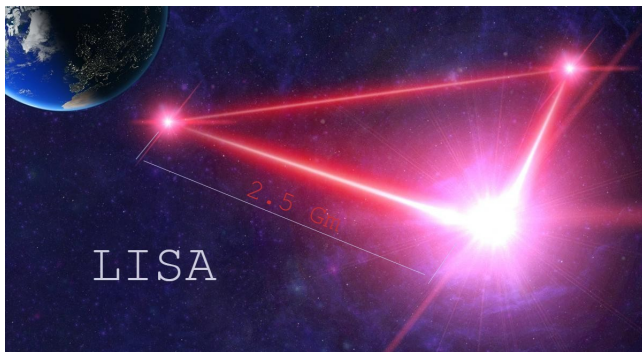
$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu\phi)(\partial^\mu\phi) + \frac{1}{2}\mu^2\phi^2 - \frac{1}{4}\lambda\phi^4 - V(T, \phi)$$

- Tunelamento na barreira do potencial



LISA: Laser Interferometer Space Antenna

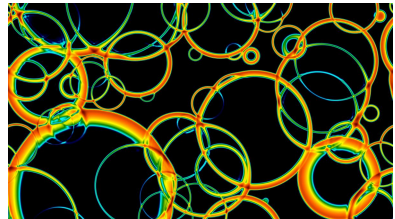
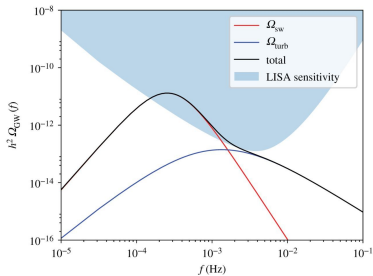
- Inteferômetro do tipo Michelson
- 3 naves espaciais distanciadas de 2.5 Gm
- Lançamento previsto para 2034



Ondas Gravitacionais

Geração das Ondas Gravitacionais:

- 1 Colisão e choque no plasma
- 2 Ondas sonoras no plasma
- 3 Turbulência no plasma



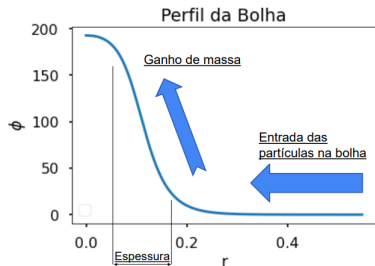
- SMEFT

$$V(\phi) = -(\mu^2/2)\phi^2 + (\lambda/4)\phi^4 + (1/M^2)\phi^6$$

- SMEFT

$$V(\phi) = -(\mu^2/2)\phi^2 + (\lambda/4)\phi^4 + (1/M^2)\phi^6$$

- Descrição da Bolha



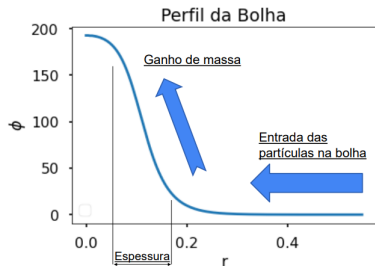
$$\frac{d^2\phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\phi}{dr} - \frac{\partial V(T, \phi)}{\partial \phi} = 0$$

- $\alpha = \frac{\rho_{vac}}{\rho_{rad}}$: Intensidade
- T_n : Bolhas surgem

- SMEFT

$$V(\phi) = -(\mu^2/2)\phi^2 + (\lambda/4)\phi^4 + (1/M^2)\phi^6$$

- Descrição da Bolha



$$\frac{d^2\phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\phi}{dr} - \frac{\partial V(T, \phi)}{\partial \phi} = 0$$

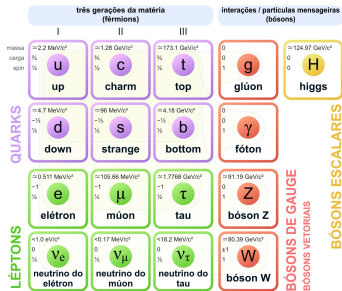
- $\alpha = \frac{\rho_{vac}}{\rho_{rad}}$: Intensidade
- T_n : Bolhas surgem

- Cálculo do Espectro

$$h^2\Omega(f) = 1.67 \cdot 10^{-5} \left(\frac{H_*}{\beta}\right)^2 \left(\frac{\kappa\alpha}{1+\alpha}\right)^2 \left(\frac{100}{g_*}\right)^2 \left(\frac{0.11v_w^3}{0.42+v_w^2}\right) S(f)$$

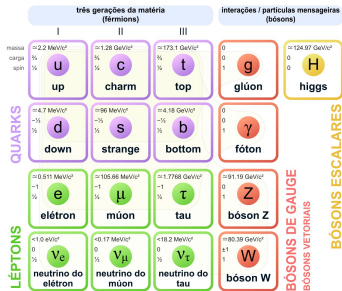
- Quebra de Simetria
- Colisão das Bolhas
- Comportamento teórico para Ondas Gravitacionais
- Física Além do Modelo Padrão

Modelo Padrão das Partículas Elementares



- Quebra de Simetria
- Colisão das Bolhas
- Comportamento teórico para Ondas Gravitacionais
- Física Além do Modelo Padrão

Modelo Padrão das Partículas Elementares



Obrigado!