

# INTRODUÇÃO À GRAVITAÇÃO E À COSMOLOGIA

Victor O. Rivelles

–

Aula 4

Instituto de Física da Universidade de São Paulo

e-mail: [rivelles@fma.if.usp.br](mailto:rivelles@fma.if.usp.br)

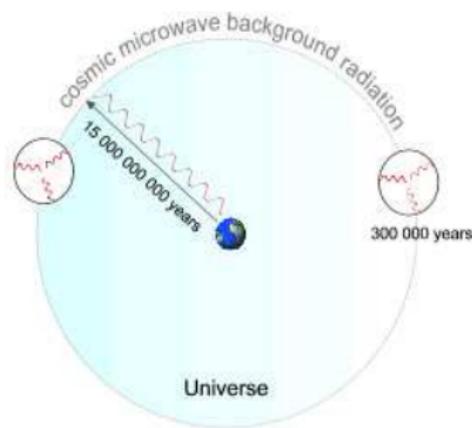
<http://www.fma.if.usp.br/~rivelles>

Escola Norte-Nordeste de Partículas e Campos

J. Pessoa, 10-14/08/2009

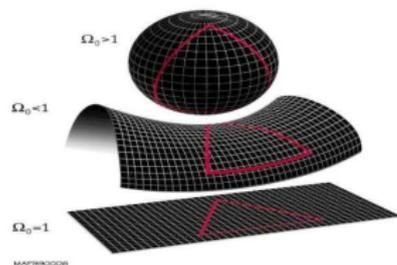
# PROBLEMAS COSMOLÓGICOS

- Em 1966 Peebles mostra que o Big Bang prevê a abundância de Hélio correta.
- Apesar dos muitos sucessos do Big Bang, **problemas** começam a aparecer.
- Problema do horizonte
- A luz da RCF percorreu 13.7 bilhões de anos desde o início do universo
- Foi emitida quando o Universo era muito mais jovem, cerca de 300 mil anos.
- Naquela época a luz atingiria os pequenos círculos.
- Os dois pontos no círculo não tiveram tempo de entrar em contacto entre si.
- Como podem estar a **mesma temperatura?**



# UNIVERSO PLANO

- Topologia do Universo.
- Depende da **densidade do Universo**. Na densidade crítica: Universo plano; acima: Universo fechado; abaixo: Universo aberto.
- **Hoje o Universo é quase plano.**
- Se no Big Bang a densidade fosse um pouco diferente da densidade crítica **não seria plano hoje.**
- Como isso é possível?
- Solução dos problemas ...

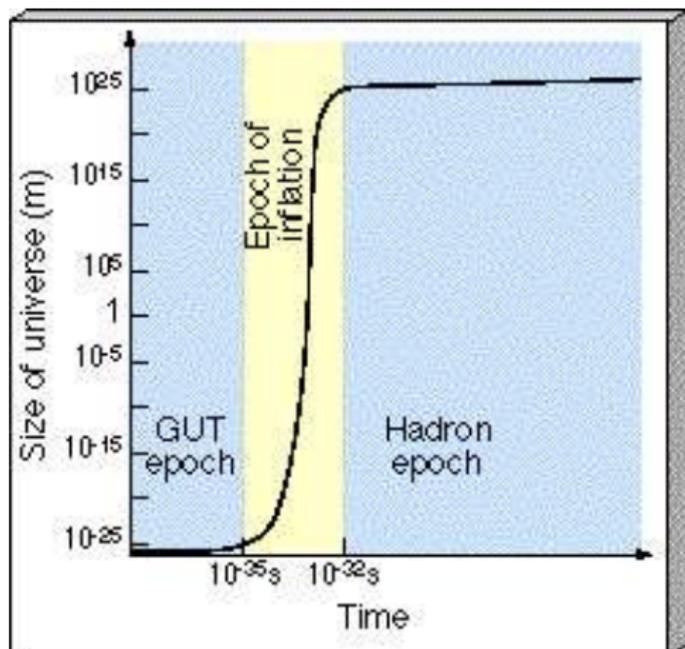


# Monopolos Magnéticos

- O modelo padrão das partículas elementares  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  poderia provir da quebra de uma teoria de gauge mais simples: **grande unificação**.
- Essa teoria prevê a produção de uma grande quantidade de **monopolos magnéticos** no universo primordial.
- Como eles são estáveis o universo atual deveria estar cheio de monopolos magnéticos!
- Até hoje **nenhum monopolo magnético foi detectado!**

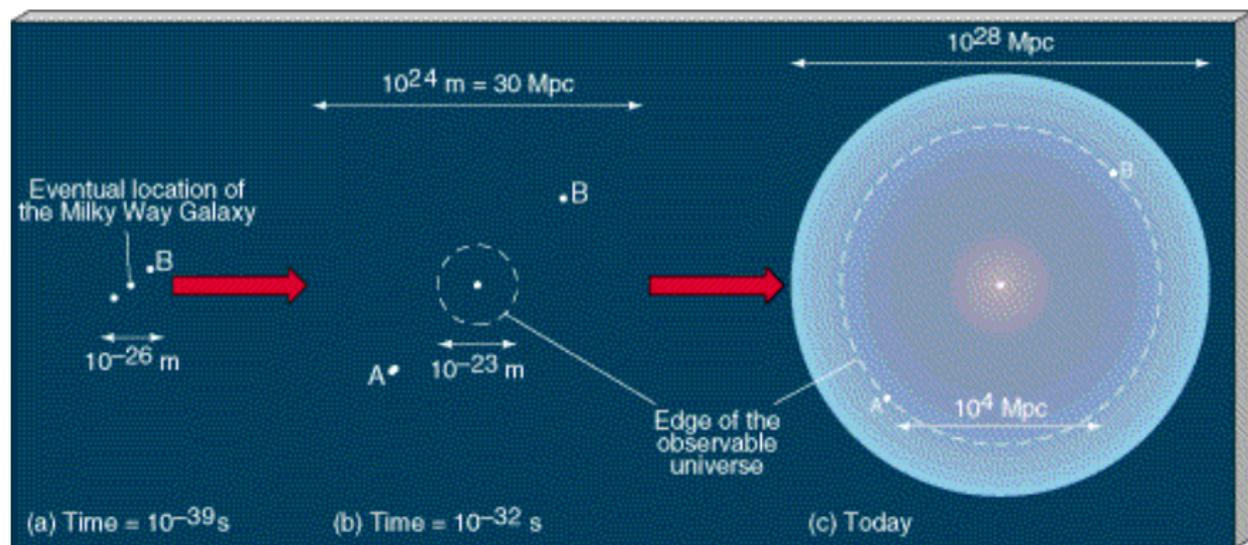
# UNIVERSO INFLACIONÁRIO

- O Universo passou por uma fase de expansão exponencial.
- Dobrava de tamanho a cada  $10^{-34}$  s.!!!
- A inflação foi gerada pelo inflaton.



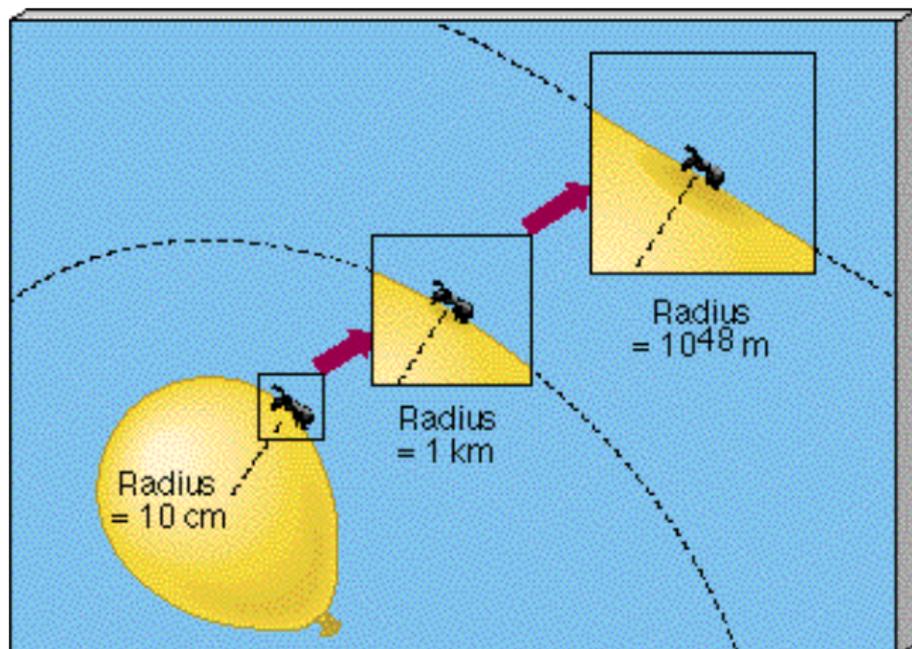
# TEORIA INFLACIONÁRIA

- Resolve o problema do horizonte.



# TEORIA INFLACIONÁRIA

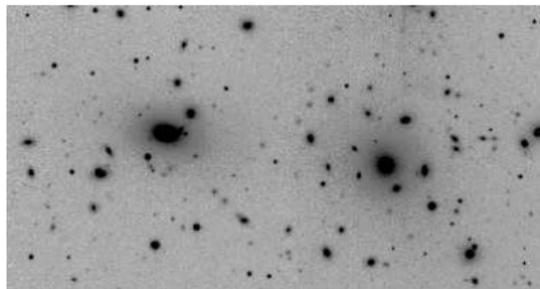
- Resolve o problema do Universo plano.



- Resolve o problema dos monopolos magnéticos. Densidade de monopolos extremamente pequena.

# CURVAS DE ROTAÇÃO

- Em 1933 o aglomerado de galáxias de Coma é estudado.
- O movimento das galáxias **não pode ser explicado** pela atração gravitacional.
- O mesmo acontece com **estrelas na borda das galáxias**.



# CURVAS DE ROTAÇÃO

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r}$$

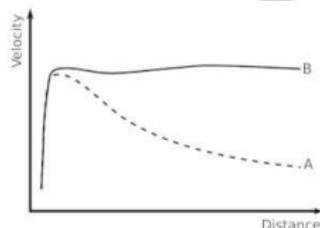
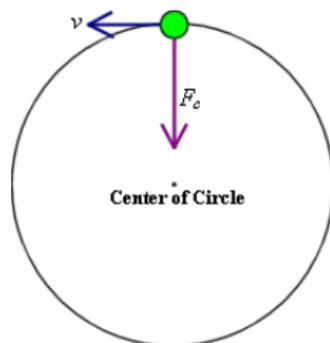
$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Como a massa da galáxia  $M \sim 1/r^p$  então a **velocidade diminui com  $r$** .

Velocidade orbital como função da distância ao centro da galáxia.

A - prevista

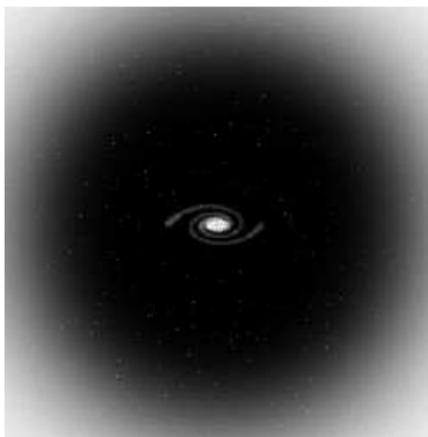
B - observada



Parece que há **mais massa** no aglomerado do aquela vista pelos telescópicos. É então postulado a existência da ...

# MATÉRIA ESCURA

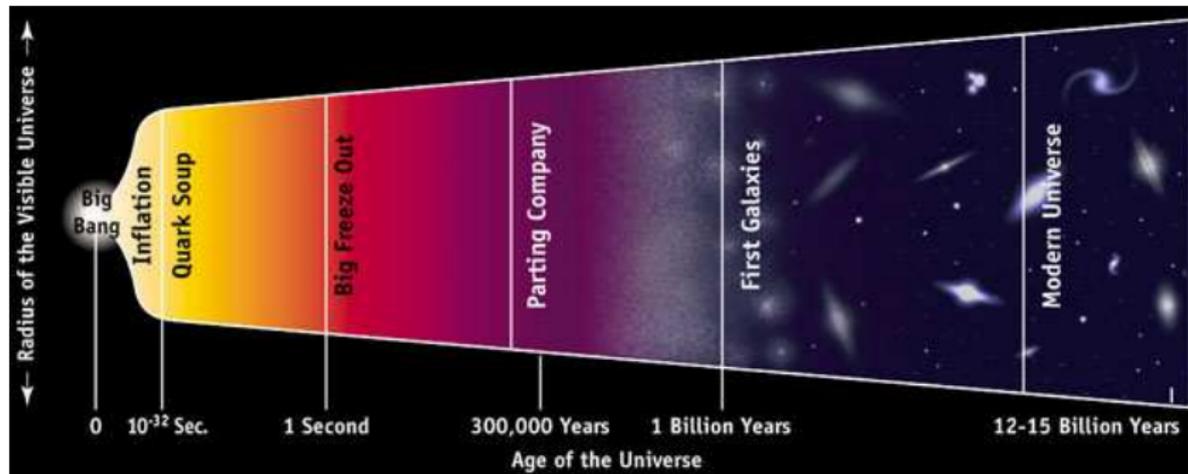
- É um **novo tipo de matéria** que praticamente não emite nem reflete luz.
  - Sua **natureza é desconhecida**.
  - Propostas que provém do modelo de partículas elementares: axions, WIMPs, neutralino, outras partículas supersimétricas.
- 
- Há vários experimentos tentando detectar tais partículas.
  - Matéria escura constitui 23% do conteúdo do Universo.
  - Matéria comum constitui apenas 4% do Universo.
  - Ainda faltam 73% !!!



# EXPANSÃO ACELERADA DO UNIVERSO

- Em 1998 é descoberta através da observação de supernovas do tipo IA que a [expansão do Universo é acelerada](#).
- Para explica-la é necessário postular a existência de uma energia que produza pressão negativa: [a energia escura](#).
- Na relatividade geral o efeito de uma pressão negativa é gerar uma força que se opõem à força gravitacional.
- A energia escura pode estar na forma da [constante cosmológica](#).
- Outras alternativas mais exóticas existem: quintessência, cosmologia de branas, etc.
- A energia escura constitui [73% do conteúdo do Universo](#).

# RESUMO

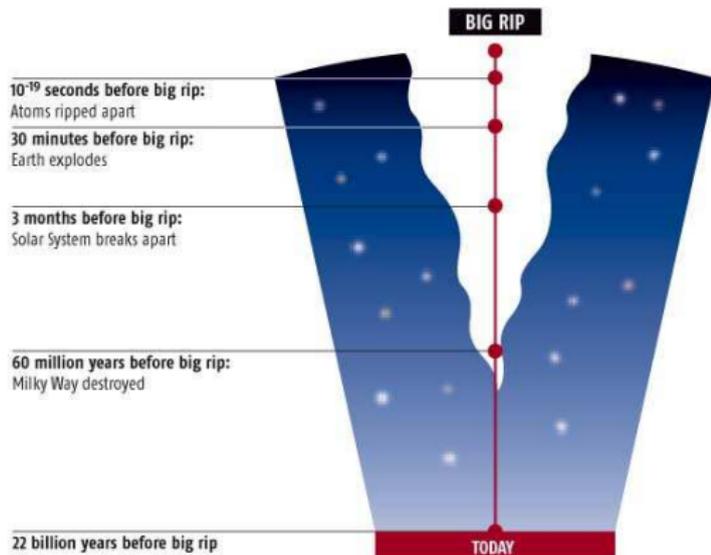


Assista ao Big Bang  
Qual é o destino do universo?

# Big Rip

- A gravitação será tão fraca que não manterá unida a Via Láctea. e outras galáxias.
- Depois o sistema solar não estará mais ligado pela gravitação.
- Estrelas e planetas serão ...
- E finalmente os átomos serão destruídos.

## END OF EVERYTHING



# GRAVITAÇÃO QUÂNTICA

- Não é possível quantizar a relatividade geral (não é renormalizável)
- O modelo padrão das partículas elementares precisa ser ampliado
- A relatividade geral também
- A proposta mais viável é a teoria de cordas
- **Fornece uma teoria quântica para a gravitação perturbativamente**
- **Explica a entropia de certos buracos negros**
- Requer dimensões extras e objetos extensos: branas
- Branas dão origem à outros modelos cosmológicos
- **Mas a teoria de cordas ainda não está completa!!!**

- M. Gleiser, A Dança do Universo (Cia. das Letras, 1997)
- S. Hawking, O Universo Numa Casca de Noz (Mandarim, 2001)
- S. Weinberg, Os Três Primeiros Minutos (Guanabara Dois, 1980)
- A. Guth, O Universo Inflacionário (Campus, 1997)
- S. Weinberg, Gravitation and Cosmology (Wiley, 1972)
- B. F. Schutz, A First Course in General Relativity (Cambridge, 1985)
- J. Foster and J. D. Nightingale, A Short Course in General Relativity (Springer, 1995)
- L. D. Landau and E. M. Lifshitz, The Classical Theory of Fields (Pergamon Press, 1975)
- C. W. Misner, K. S. Thorne and J. A. Wheeler, Gravitation (Freeman, 1973)