



# Astrofísica Geral

## Tema 24: Cosmologia Observacional

Alexandre Zabot

# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

Matéria e Energia Escuras

Quadro Geral

Bibliografia



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

Matéria e Energia Escuras

Quadro Geral

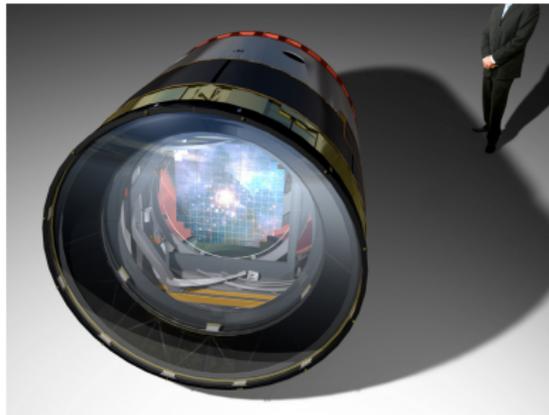
Bibliografia





A Cosmologia moderna apoia-se fortemente em observações, que exigem dados e tecnologias cada vez melhores para escolher entre modelos rivais. Foto do satélite Planck (ESA), um dos mais importantes telescópios usados recentemente em coleta de dados cosmológicos.

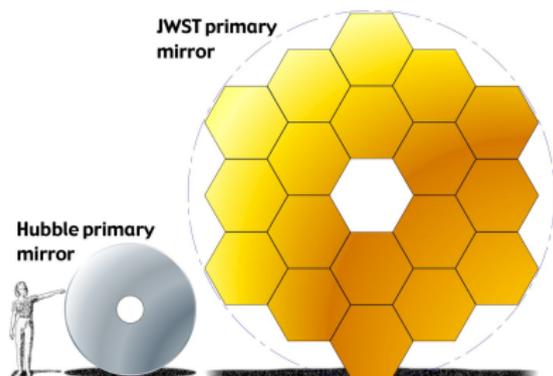




Câmera do Large Synoptic Survey Telescope (LSST).

- ▶ Survey de todo o céu
- ▶ Três espelhos: 8.4, 3.4 e 5 m
- ▶ Campo gigante
- ▶ Maior câmera já construída
- ▶ Banco de dados:
  - ▶ 15 TB de dados por noite
  - ▶ Final do projeto: 15 PB
  - ▶ ( MB → GB → TB → PB)
  - ▶ 37 bilhões de objetos





James Webb Space Telescope, será lançado em 2018 e irá operar no infra-vermelho.

- ▶ Formação das primeiras estrelas
- ▶ Primeiras galáxias
- ▶ Evolução de galáxias
- ▶ Aglomerados de galáxias



# Questões observacionais

## Perguntas importantes em cosm. observ. (Gregory Bothun)

- ▶ Qual a idade do universo?
  - ▶ A partir de dados diferentes: expansão, idade das estrelas, etc
  - ▶ As diversas idades são consistentes entre si
- ▶ Como é a distribuição de galáxias em larga escala?
  - ▶ Há um volume mínimo que a caracterize?
- ▶ Quais são as evidências de Matéria Escura?
  - ▶ Qual a massa total de Matéria Escura?
  - ▶ O universo é mesmo dominado por ela?



# Questões observacionais

## Perguntas importantes em cosm. observ. (Gregory Bothun)

- ▶ Como as estruturas se formam no universo?
  - ▶ Quais os cenários para formação das diversas estruturas?
  - ▶ São consistentes com os dados observacionais?
- ▶ Onde estão os bárions?
  - ▶ Dentro ou fora das galáxias?
  - ▶ Como a distribuição interfere na formação de galáxias?
- ▶ Qual a distribuição verdadeira de populações de galáxias?
  - ▶ Temos uma amostra representativa do universo médio?
  - ▶ A distribuição é consistente com os modelos de formação e evolução?



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

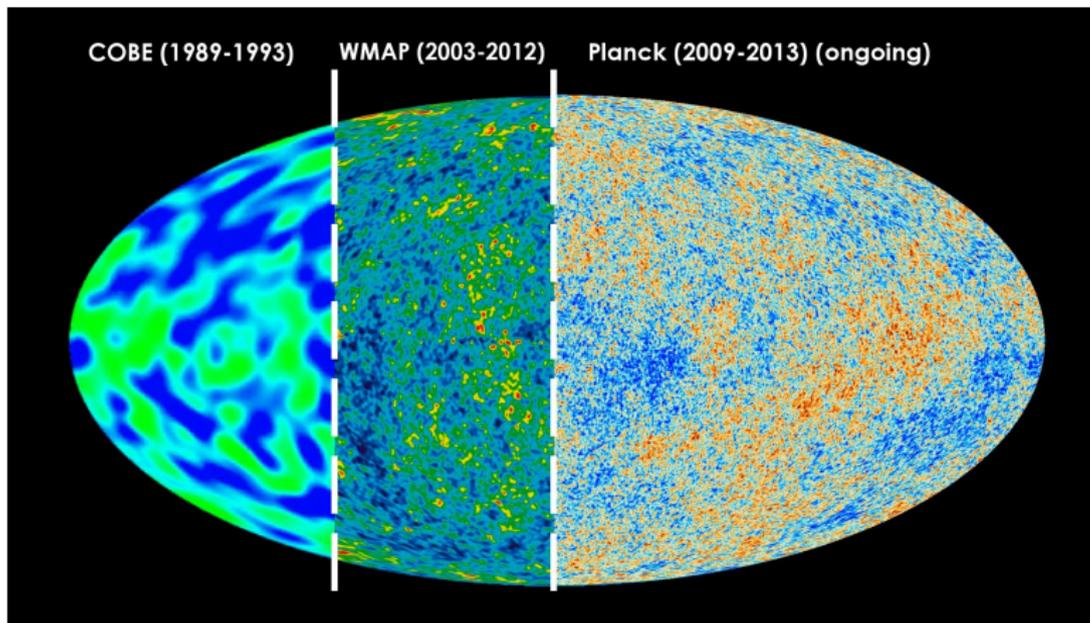
Matéria e Energia Escuras

Quadro Geral

Bibliografia



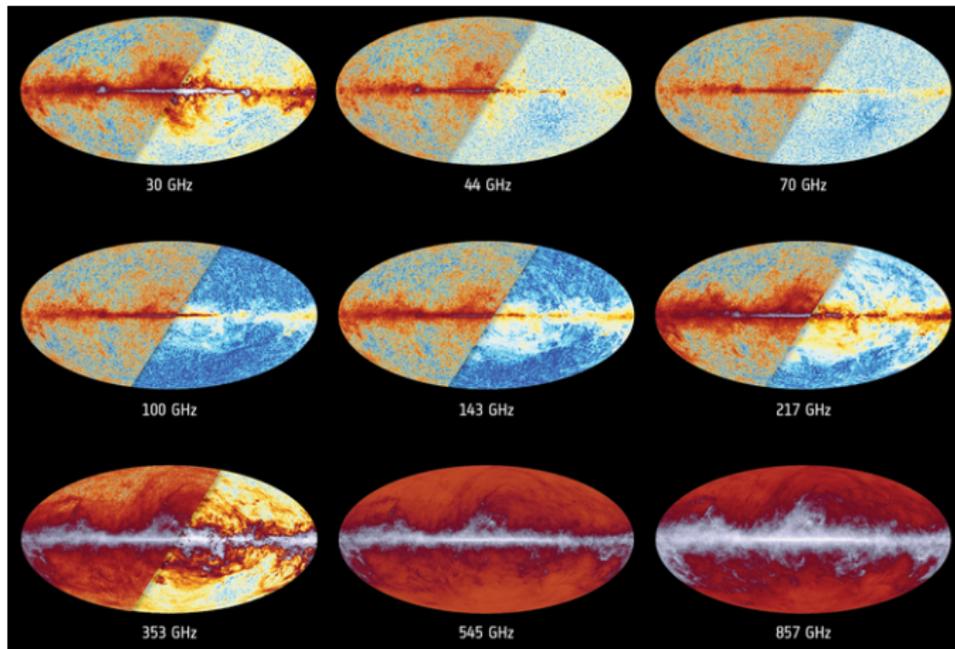
# Evolução das medidas



Três satélites espaciais mapearam a Radiação Microondas Cósica de Fundo, cada vez com resultados mais precisos.



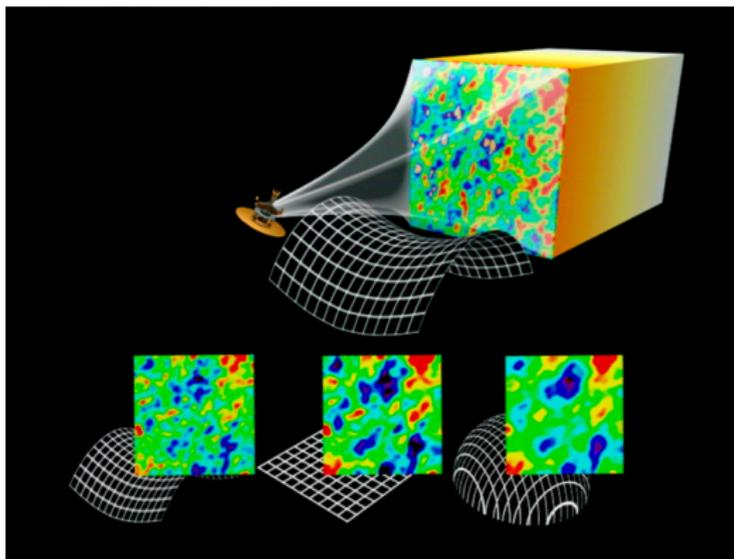
# Evolução das medidas



O Satélite Planck mediu a Radiação Microondas Cós mica de Fundo em várias frequências.



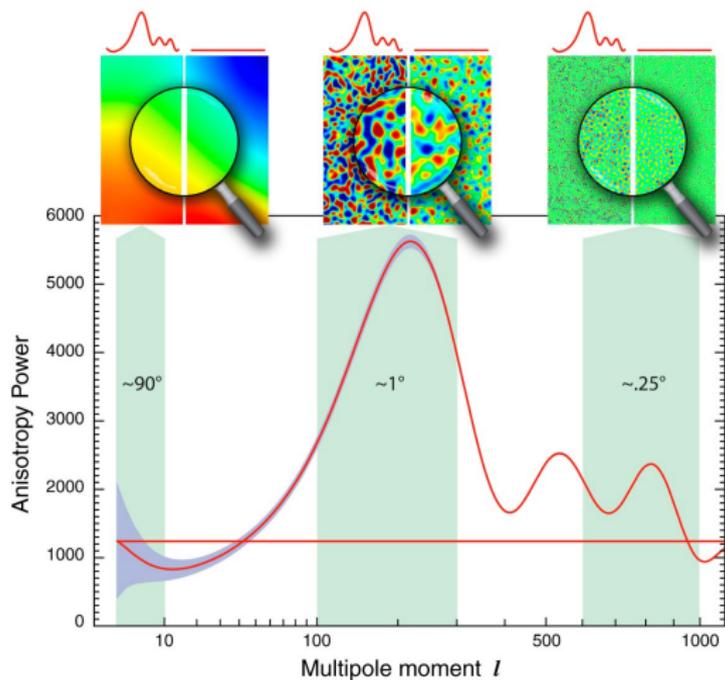
# Espectro de potência



A distribuição de tamanhos angulares das anisotropias indica a geometria do universo.



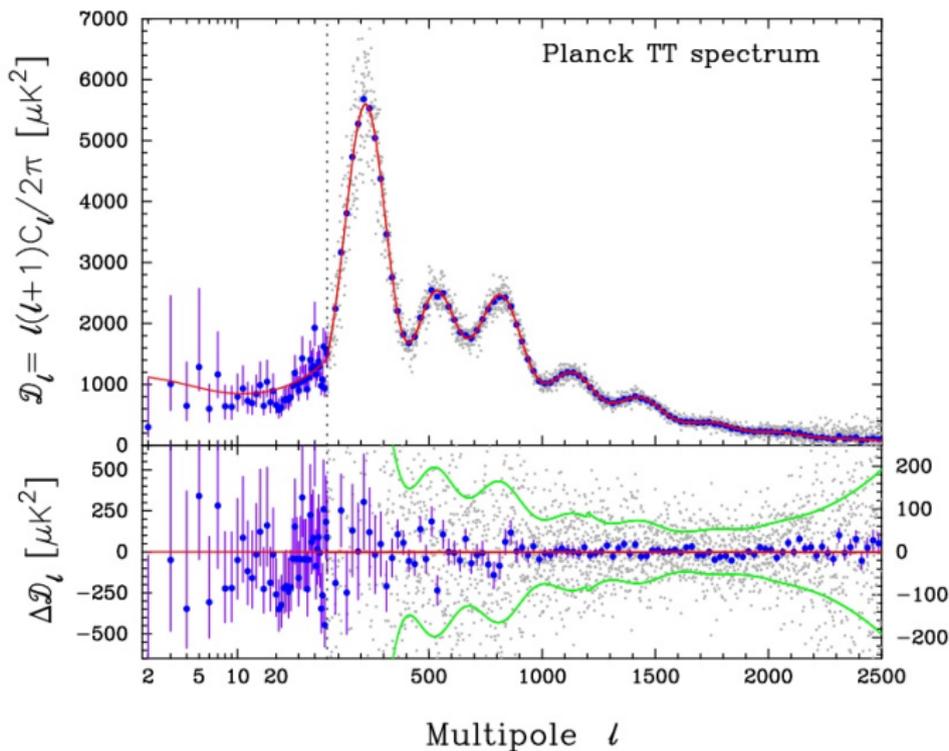
# Espectro de potência



Uma maneira de transformar a medida da anisotropia da radiação microondas cósmica de fundo em número é calcular o Espectro de Potência Angular.



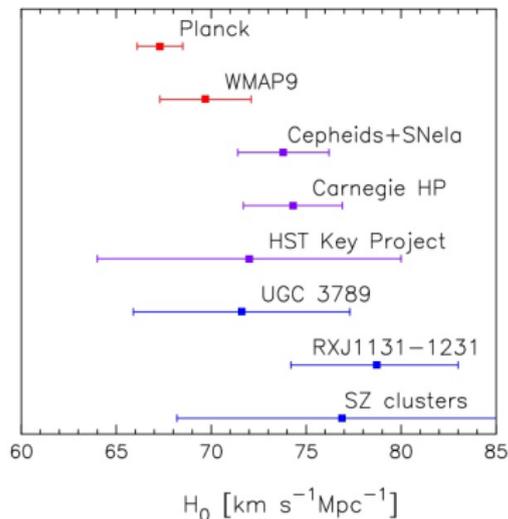
# Satélite Planck



Espectro de Potência obtido com o satélite Planck (ESA).



# Resultados do Planck

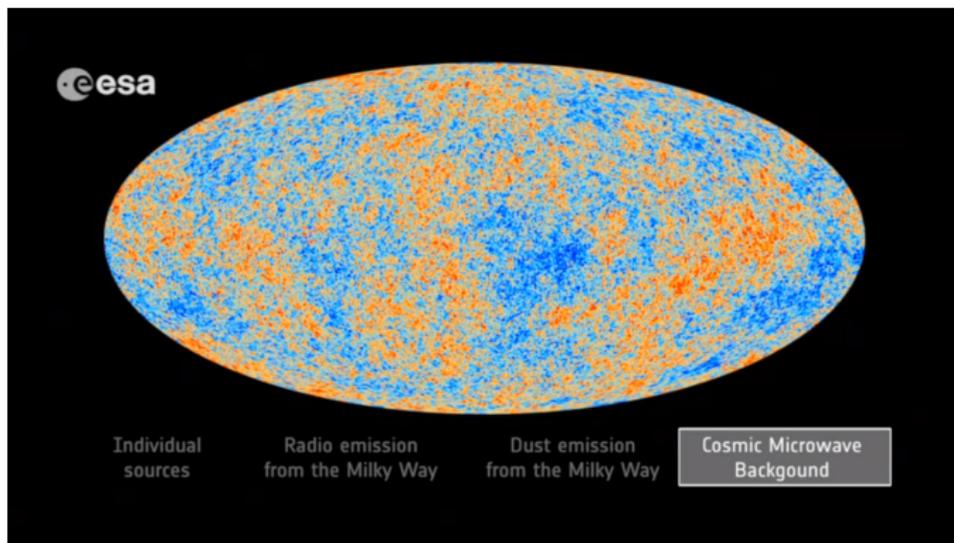


Medidas da Constante de Hubble.

- ▶ Idade:  $t_0 = 13.799 \pm 0.021$  bilhões de anos
- ▶  $H_0 = 67.74 \pm 0.46 \text{ km/s/Mpc}$
- ▶ Energia escura: 68.3 %
- ▶ Matéria escura: 26.8 %
- ▶ Matéria normal: 4.9 %
- ▶ Universo é plano



# Resultados do Planck



<https://www.youtube.com/watch?v=KxtFubp78z8>

Maneira como os dados do sat3lrite Planck foram analisados para obter o mapa da Radia3o Microondas C3smica de Fundo.



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

**Nucleossíntese Primordial**

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

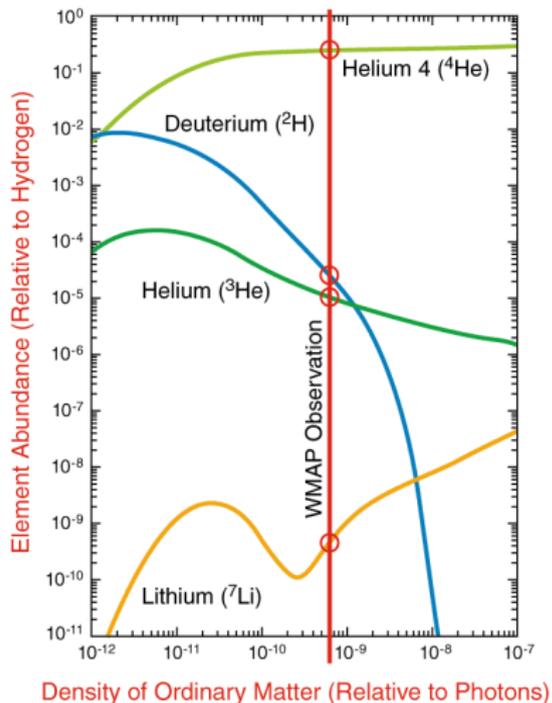
Matéria e Energia Escuras

Quadro Geral

Bibliografia



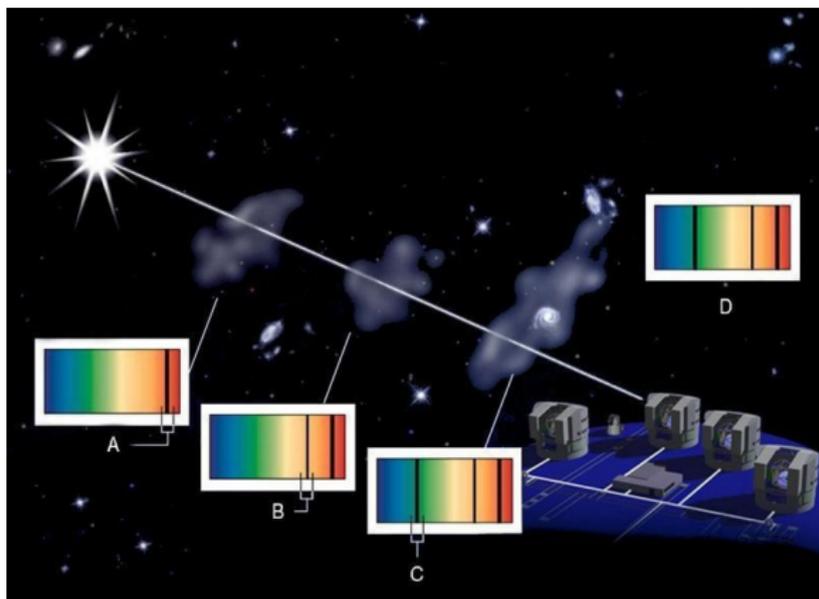
# Observações de abundâncias primordiais



A abundância de elementos químicos após o Big Bang prevista pelos dados do WMAP está em concordância com as medidas de abundância em nebulosas distantes.



# Observações de abundâncias primordiais



A medida de abundâncias primordiais é muito difícil pois exige que encontremos um objeto distante (ex.: quasar) alinhado com nebulosas que contenham gás primordial.



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

**Supernovas Ia**

Distribuição de galáxias

Matéria e Energia Escuras

Quadro Geral

Bibliografia



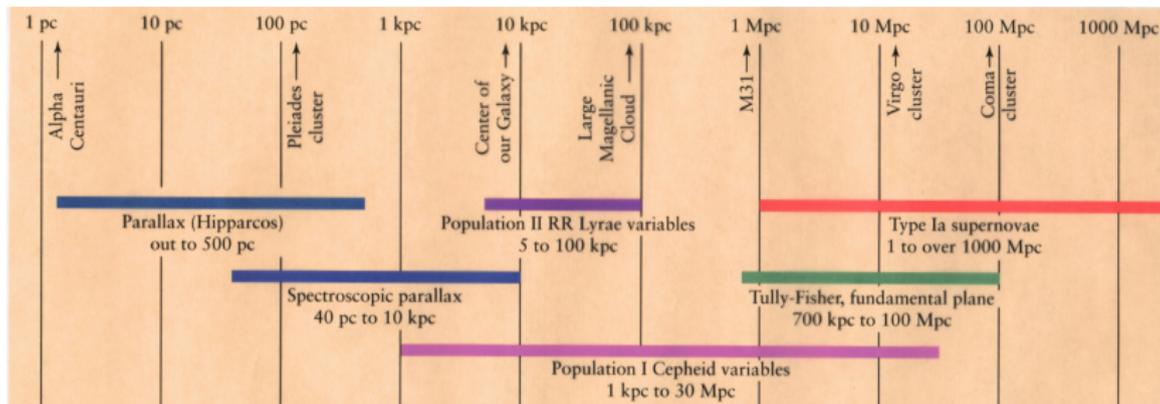
# Medidas de distância



É possível saber o brilho absoluto de uma SN Ia, e assim determinar a distância até ela.



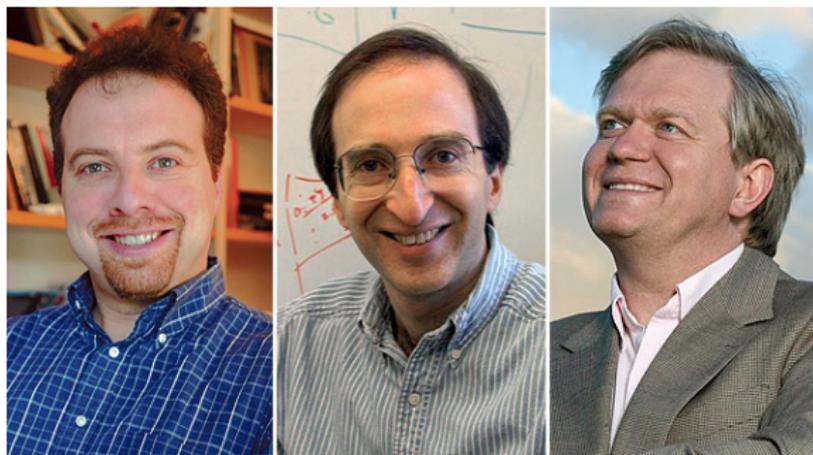
# Medidas de distância



Já estudamos várias técnicas de medida de distância em Astrofísica. As supernovas Ia fornecem as medidas mais distantes.



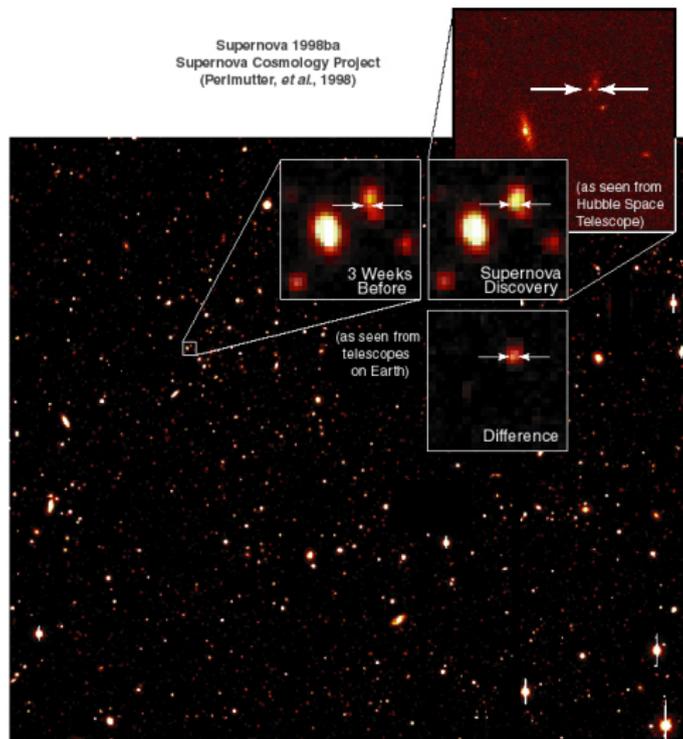
# Supernovas Ia



Adam Riess, Saul Perlmutter, Brian Schmidt, dividiram o Prêmio Nobel de Física em 2011 por descobrirem que o universo está se expandindo aceleradamente e é dominado por Energia Escura. Usaram SN Ia para fazer esta descoberta.



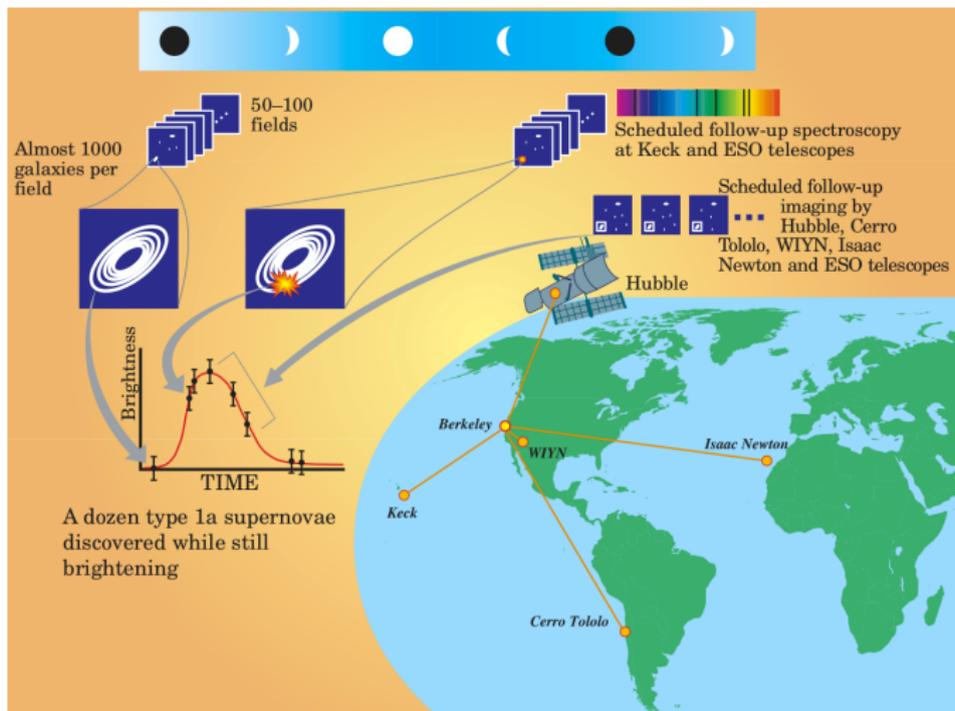
# Supernovas Ia



Detecção de uma SN Ia



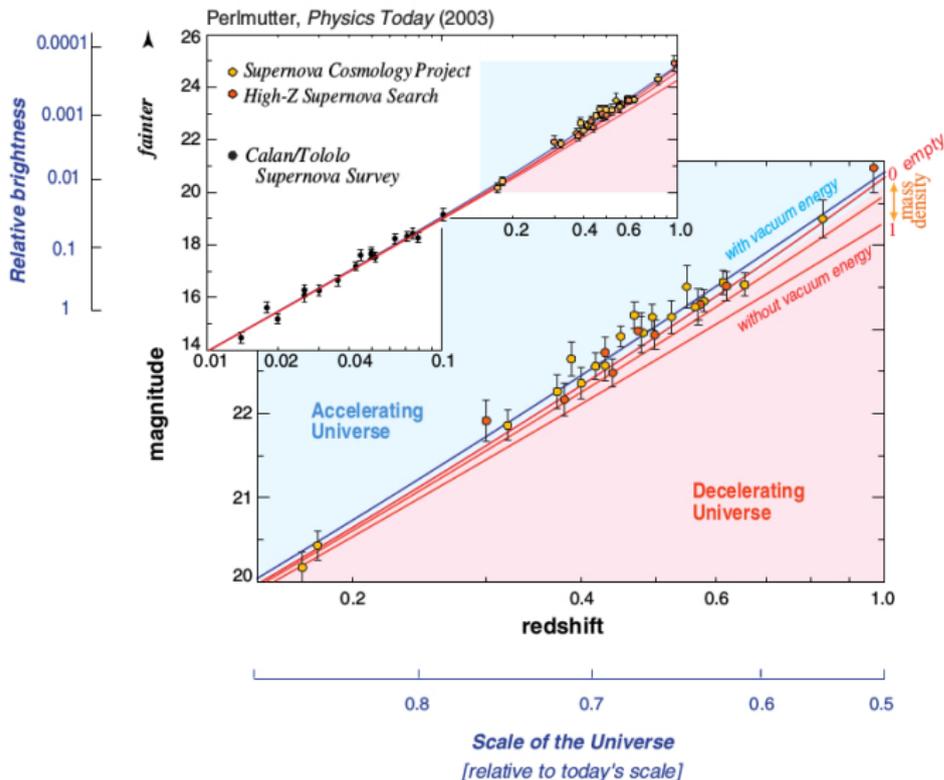
# Supernovas Ia



Esquema observacional utilizado pelos Astrofísicos.



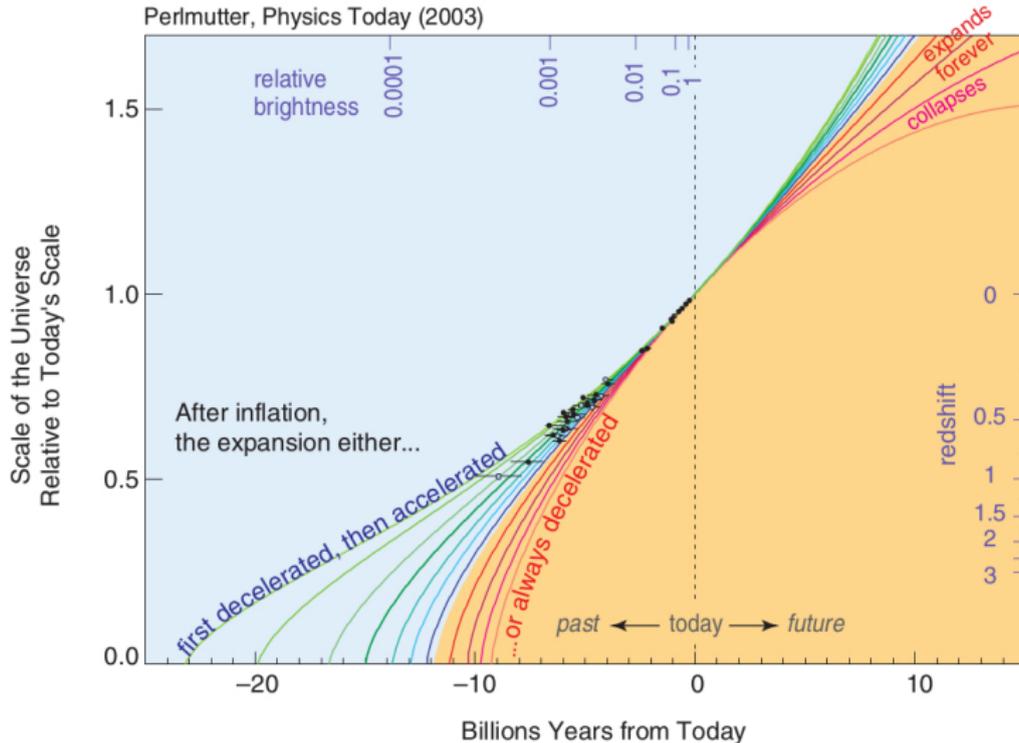
# Supernovas Ia



Compilação de dados dos dois grupos mais dados menos distantes de um terceiro grupo. O universo está em expansão acelerada.



# Supernovas Ia



A determinação da escala do universo no passado nos revela seu futuro.



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

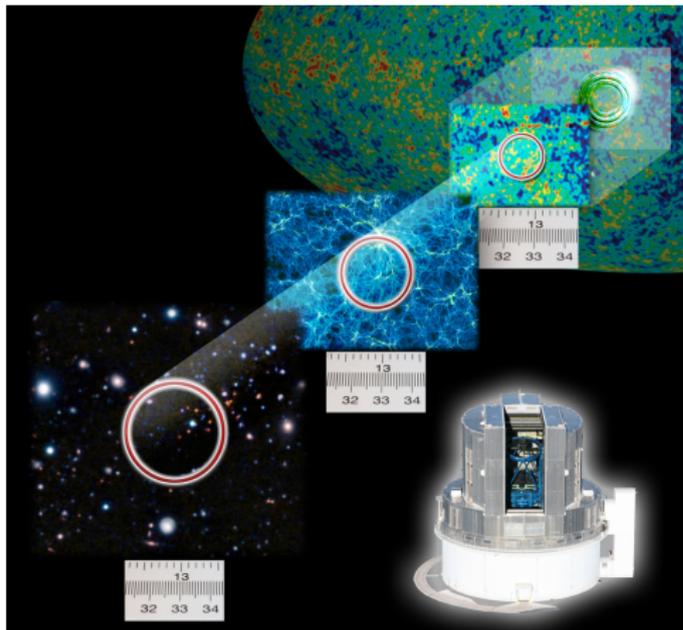
Matéria e Energia Escuras

Quadro Geral

Bibliografia



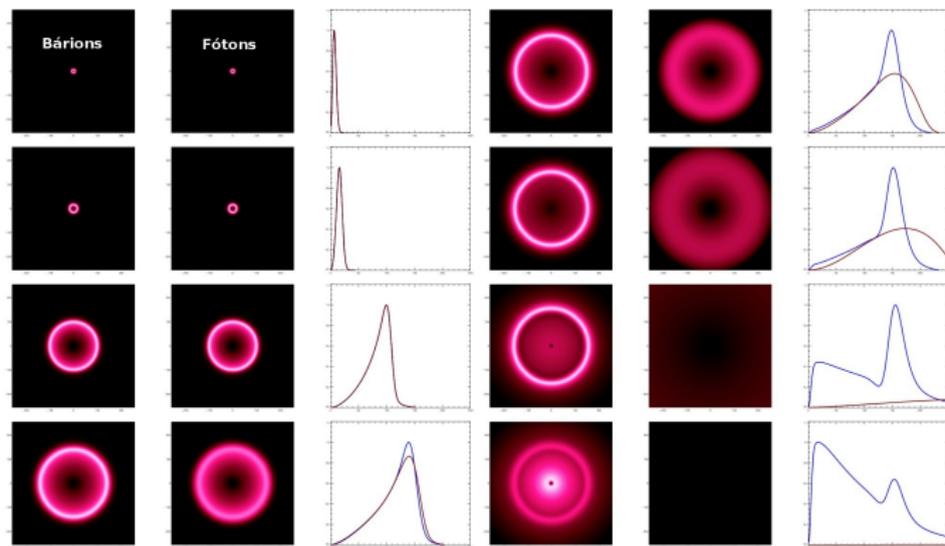
# Oscilações acústicas de bárions



A distribuição de massa no universo pode ser usada como "régua padrão" para medir a evolução da escala do universo com o tempo ( $H(t)$ ). Os Astrofísicos chamam a essa medida pelo nome de "oscilações acústicas de bárions".



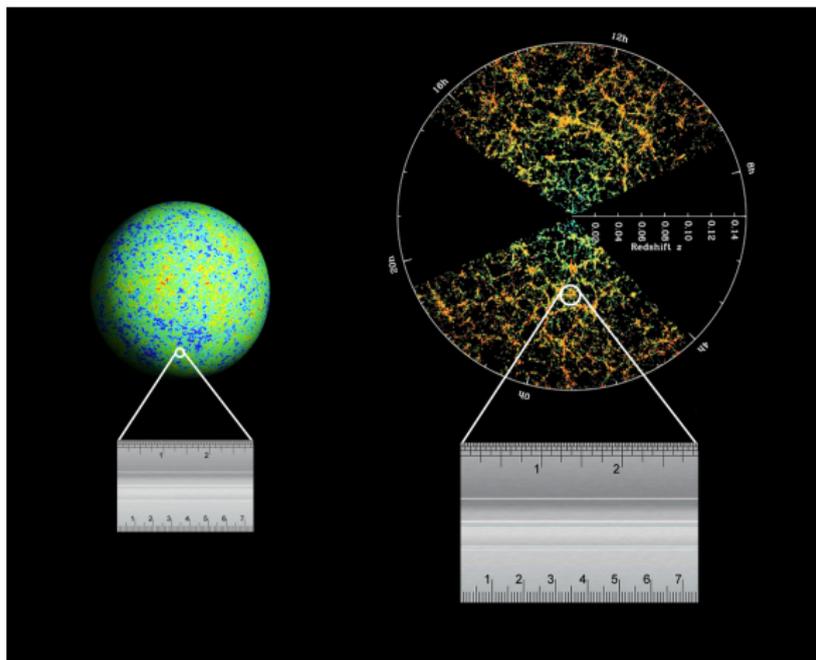
# BAO e a recombinação



A BAO está ligada à recombinação que gerou a Radiação Microondas Cósmica de Fundo. No desacoplamento dos fótons dos bárions, as estruturas ficaram com o tamanho fixado, depois formando os aglomerados de galáxias. A figura mostra o que aconteceu com os bárions e os fótons no começo do universo.

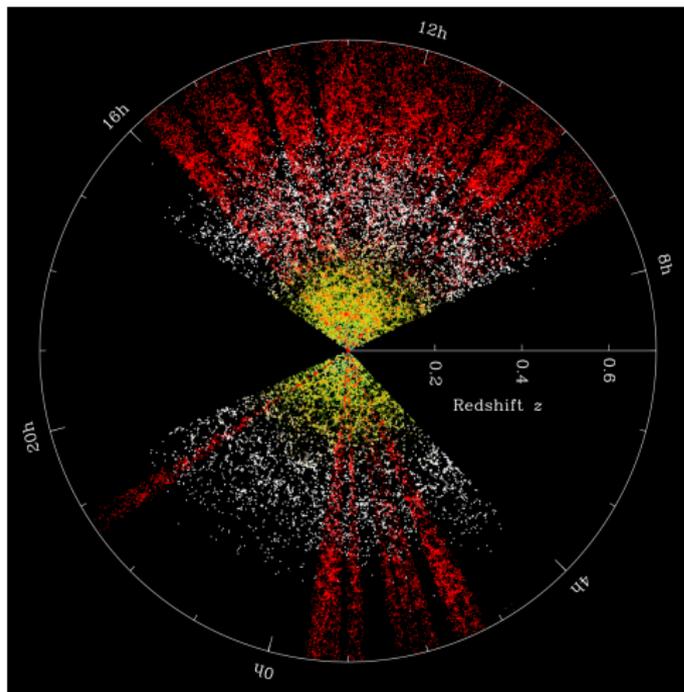


# Medindo a BAO



Para medir a BAO, precisamos medir a distribuição de galáxias em larga escala no universo e identificar o tamanho típico das estruturas em cada idade ( $z$ ) do universo.





O SDSS está conduzindo um survey chamado BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey).



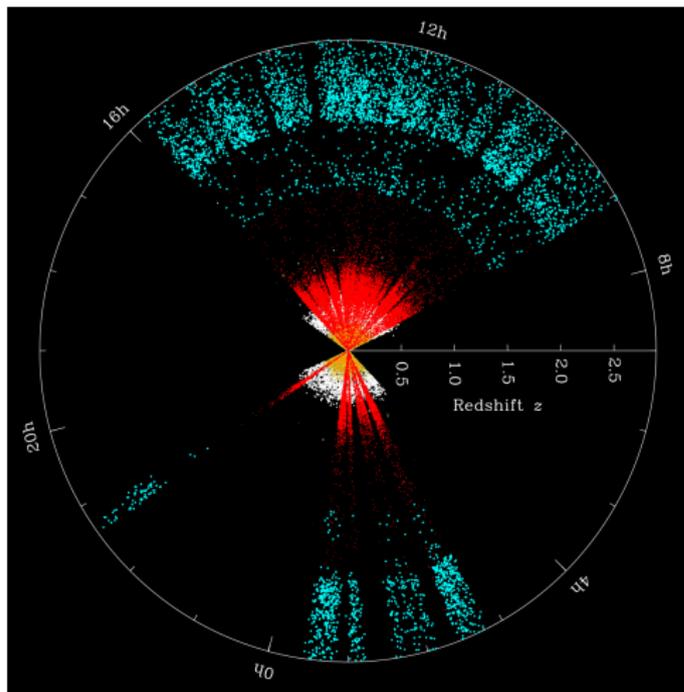
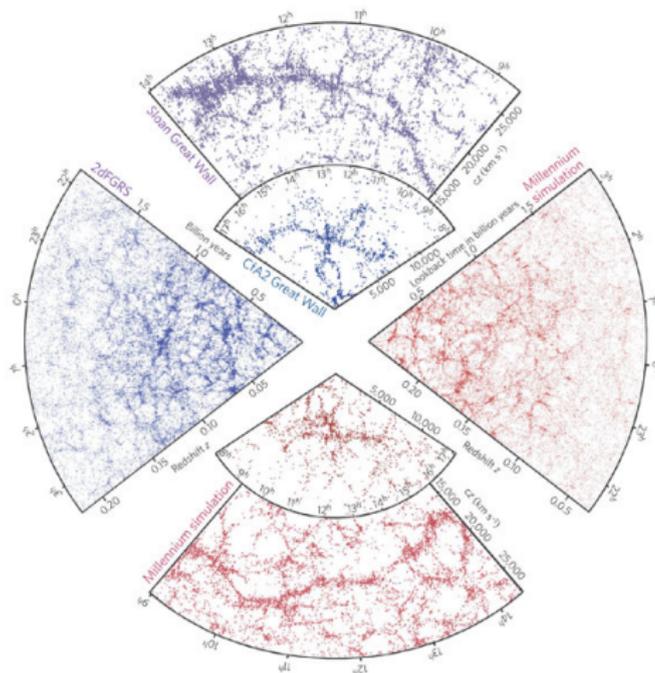


Gráfico anterior com dados de Quasares em azul.



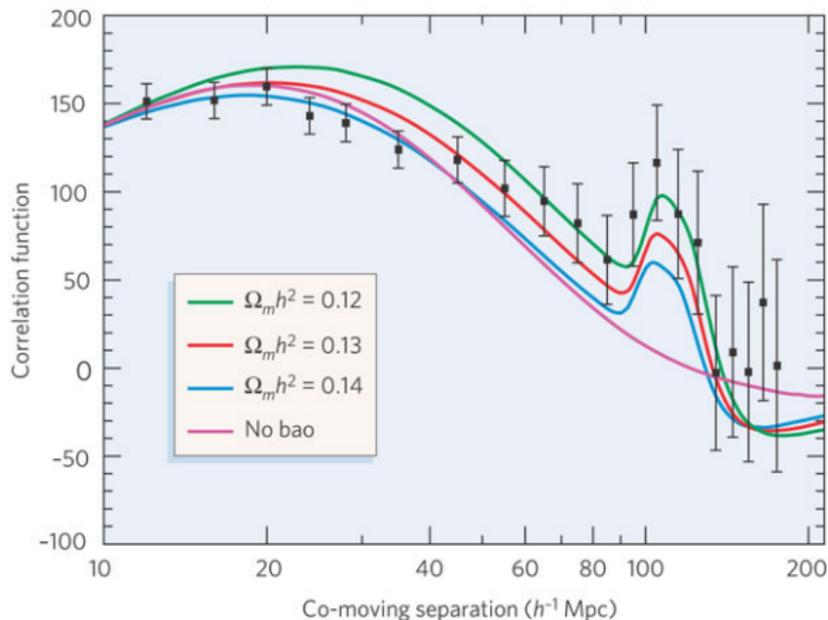
# BAO e os modelos cosmológicos



Confrontar simulações com dados permite restringir os modelos cosmológicos.



# BAO e os modelos cosmológicos



Charles Bennett na Nature, 2006. Vínculos cosmológicos a partir da BAO. É preciso observar o universo em redshifts maiores e em maior cobertura do céu para poder restringir melhor os modelos.



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

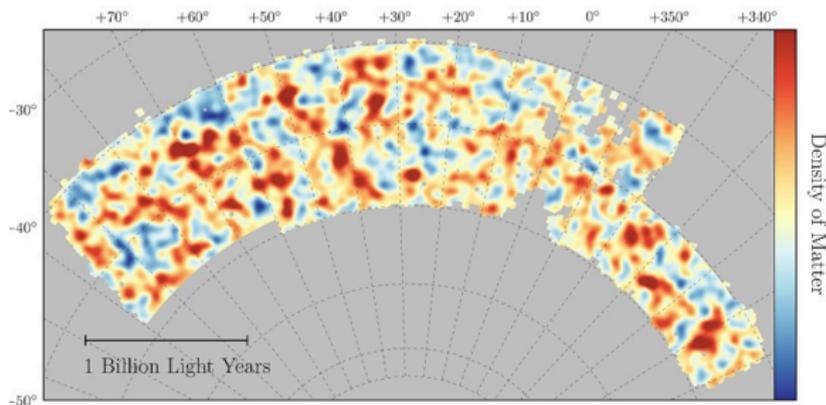
**Matéria e Energia Escuras**

Quadro Geral

Bibliografia



# Dark Energy Survey



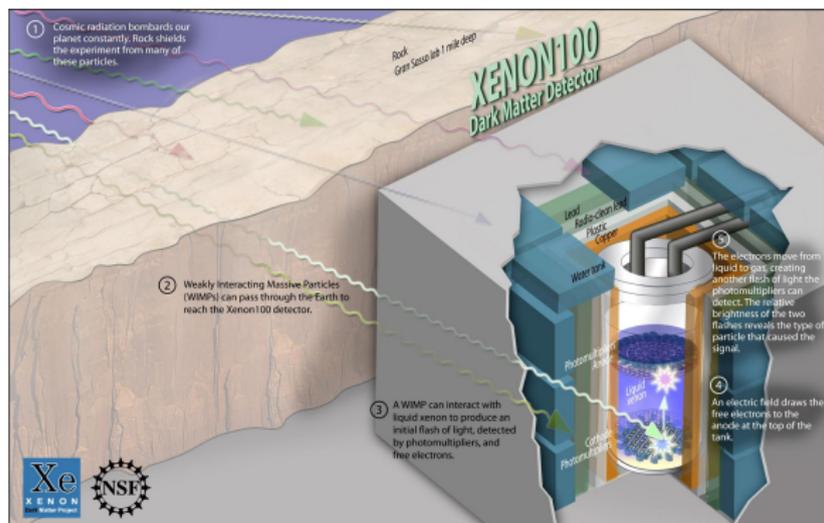
O Dark Energy Survey está fazendo um mapeamento de cinco anos do céu para estudar a distribuição de galáxias e supernovas.

Em 2017 foram publicados os resultados do primeiro ano de trabalho.

Neste mapa estão representadas as distribuições de Matéria Escura em uma parte do céu. Os dados foram obtidos através de lentes gravitacionais.



# Xenon100



Nem todos os experimentos de detecção de Matéria Escura envolvem telescópios. O XENON100 é um experimento que usa raios cósmicos e está a 1.5 km de profundidade, na Itália. Procura detectar interações de WIMPs com Xenon (



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

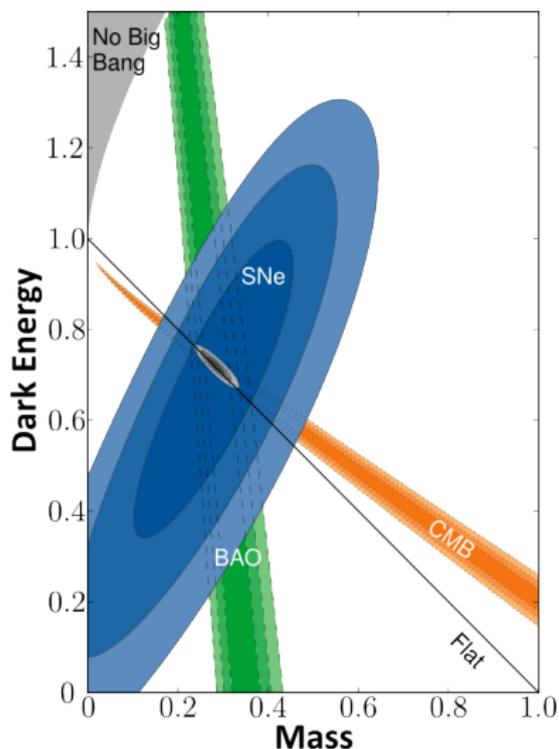
Matéria e Energia Escuras

**Quadro Geral**

Bibliografia



# Reunindo tudo



União de resultados de observações cosmológicas de várias técnicas diferentes. BAO: oscilação acústica de bárions (distribuição de galáxias em larga escala). CMB: radiação microondas cósmica de fundo. SNe: supernovas Ia. O universo é plano, dominado por energia escura e está se expandindo aceleradamente.



# Reunindo tudo

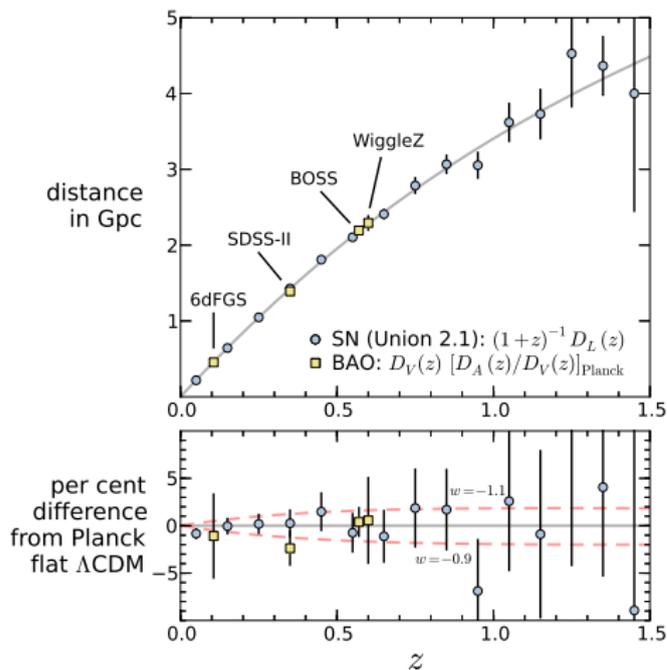


Gráfico da Distância em função do redshift. Os pontos são dados de SN Ia e BAO. A linha cinza é a predição do modelo  $\Lambda$ CDM usando dados da Radiação Microondas Cósica de Fundo obtidos com o satélite Planck e WMAP. Compilação no relatório do Particle Data Group. A **concordância** entre técnicas observacionais, telescópios e simulações numéricas tão diferentes é de **tirar o fôlego!**



# Índice

Observações em cosmologia

Radiação Microondas Cósmica de Fundo

Nucleossíntese Primordial

Supernovas Ia

Distribuição de galáxias

Matéria e Energia Escuras

Quadro Geral

Bibliografia



## Fontes para estudo

- ▶ O céu que nos envolve, capítulo 10
- ▶ Curso de Astronomia II do Prof. Steiner, aulas 17 a 22
- ▶ Astronomia Extragaláctica, Gastão Lima Neto, cap 2
- ▶ Seção “Cosmologia” em <http://astro.if.ufrgs.br/>



REALIZAÇÃO

