

Aula 3: O conteúdo do Universo

Primeira Escola de Ciências Física Brasil-Cabo Verde
3-13 de abril 2017

Oliver F. Piattella
Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, Brasil



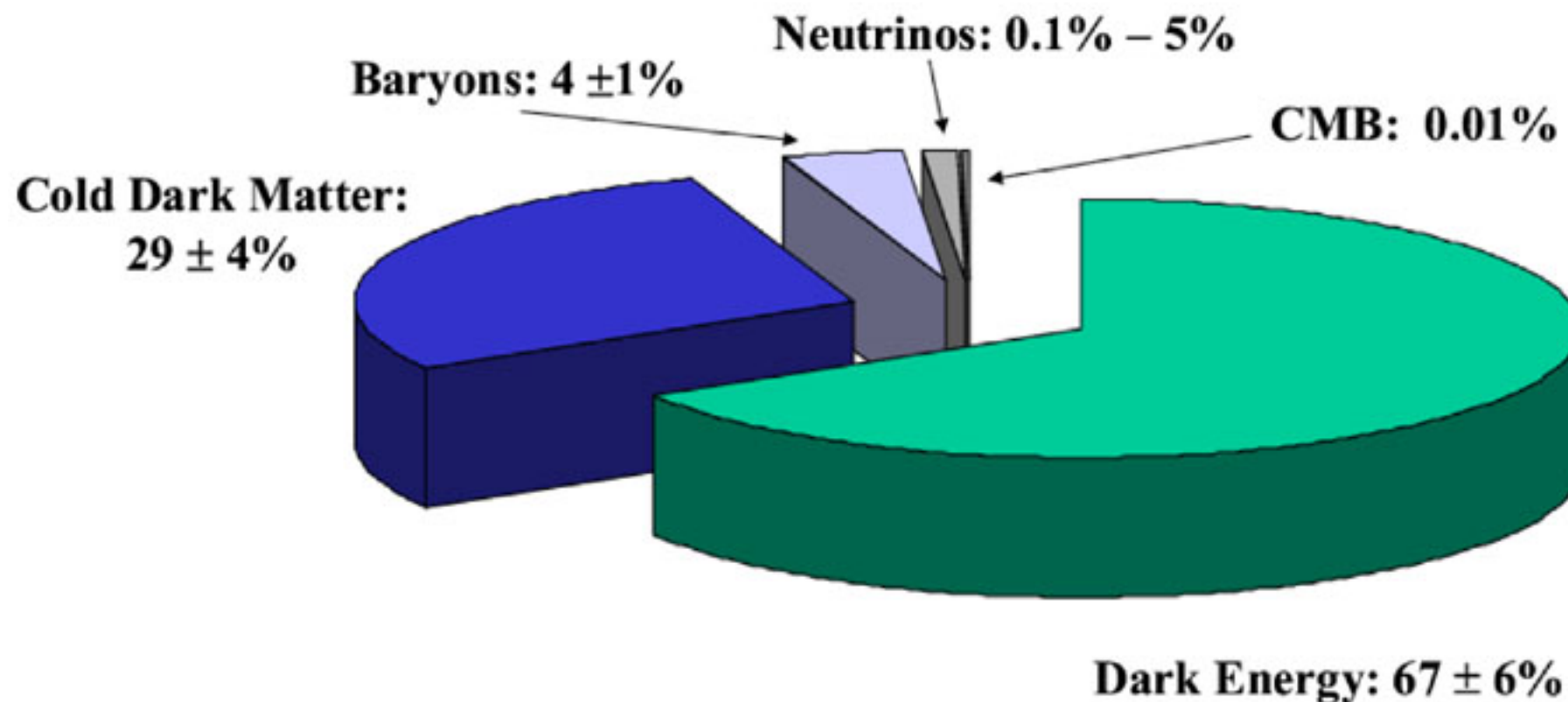
UFES



*Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico*

A composição do cosmo

Matter and Energy in the Universe: A Strange Recipe



Setor escuro = Energia escura + Matéria Escura
95% do total!

Equações de Friedmann

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2}$$

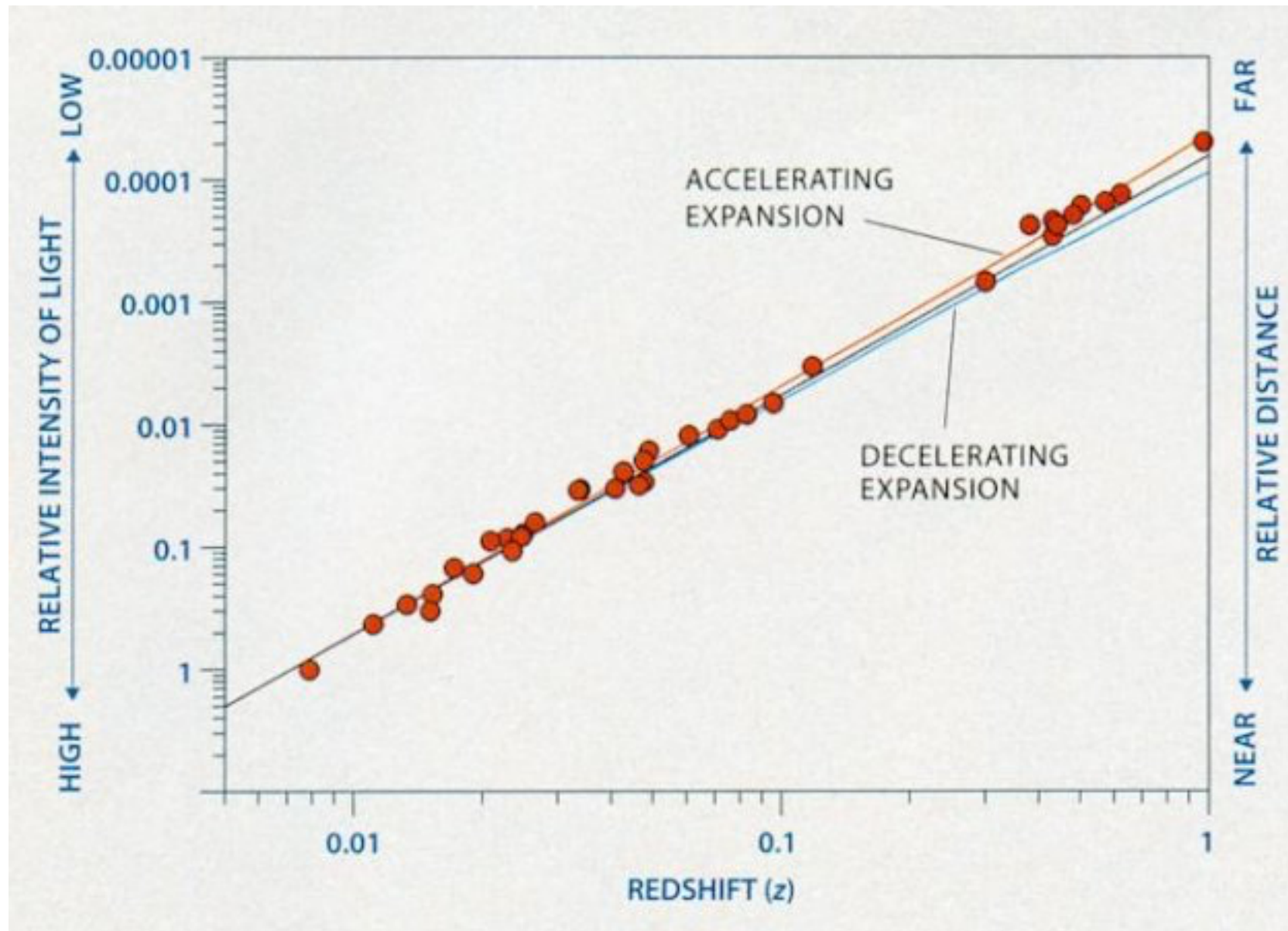
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3P/c^2)$$

Matéria normal possui densidade e pressão positivas então esperamos que a expansão seja desacelerada.

Esperávamos por isso, pois a gravidade é um força atrativa.

Mas é assim mesmo?

A expansão acelerada do Universo e a energia escura



Usando SN-Ia

Premio Nobel 2011



Photo: Andrew Frankel/National
Lao
Saul Perlmutter



Photo: Robert Fritzer Jr./National
National University
Brian P. Schmidt

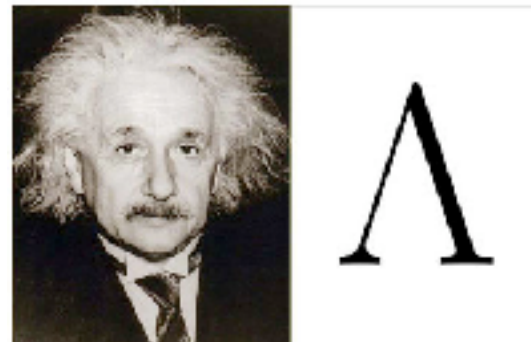


Photo: Scorpia/AP
Adam G. Riess

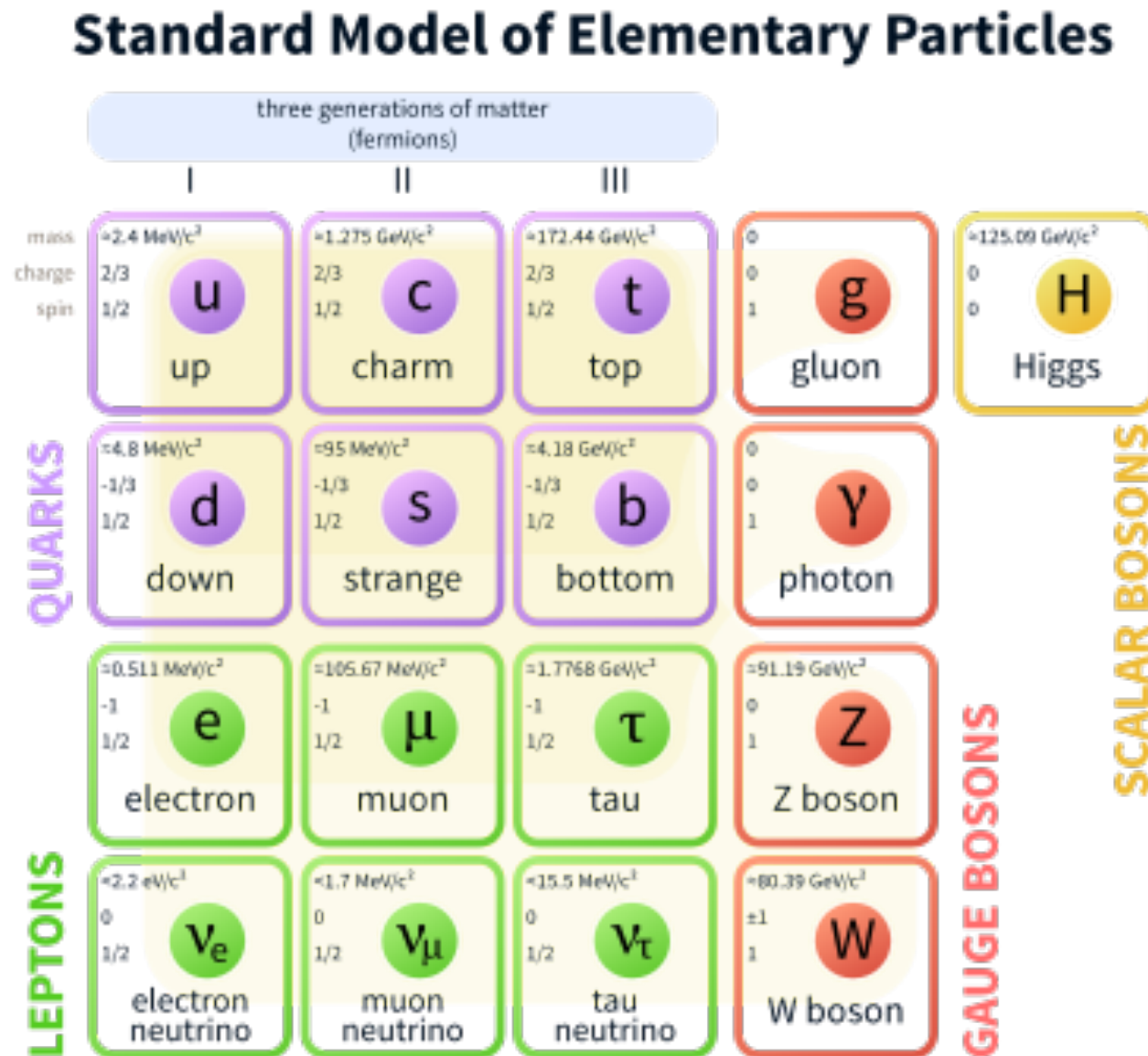
Energia escura

Possíveis candidatos:

- A constante cosmológica. Originariamente introduzida por Einstein para obter uma solução estática de Universo (1916).
- Campos escalares e outras componentes exóticas
- Modificações e extensões da Relatividade Geral

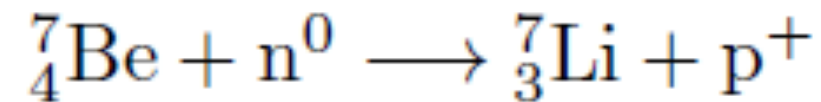
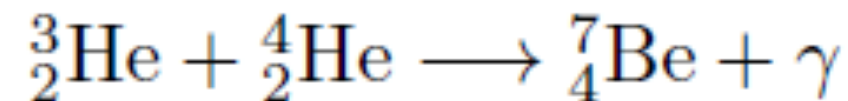
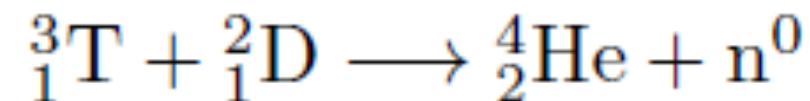
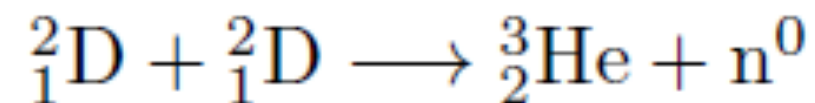
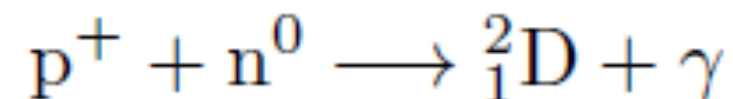
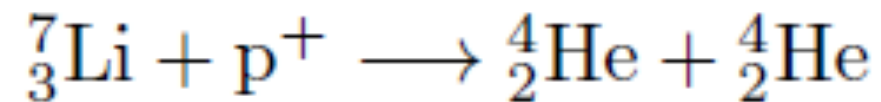
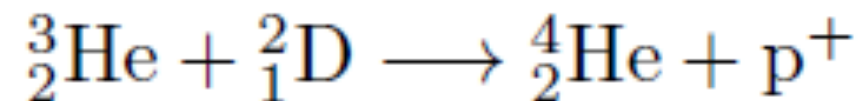
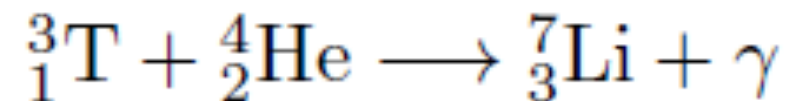
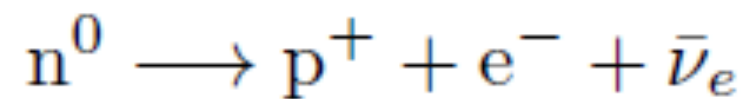


Partículas do modelo padrão: somente o 4% do total



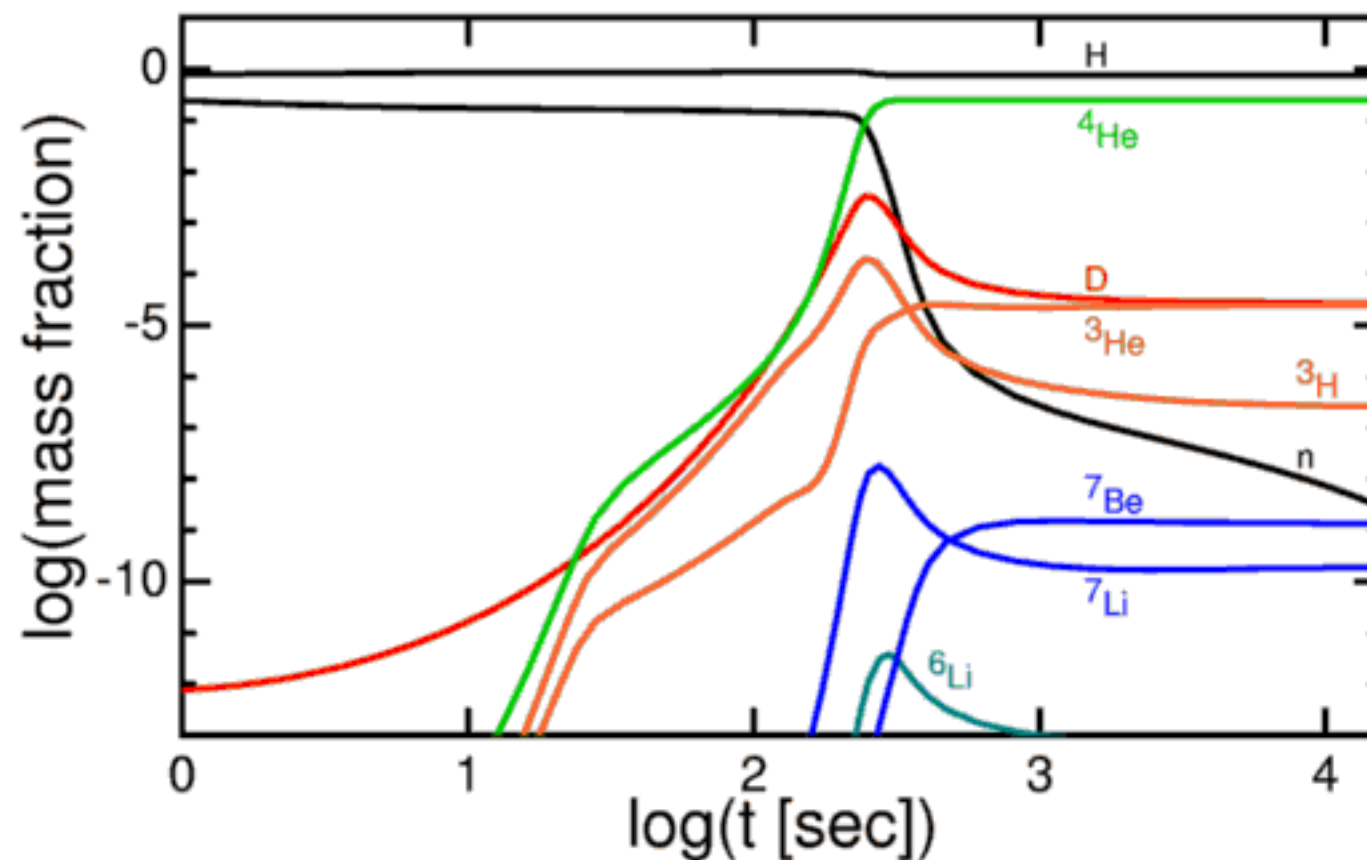
Nucleossíntese primordial

No universo primordial a temperatura era tão quente que fusão nuclear do hidrogênio se tornava possível.



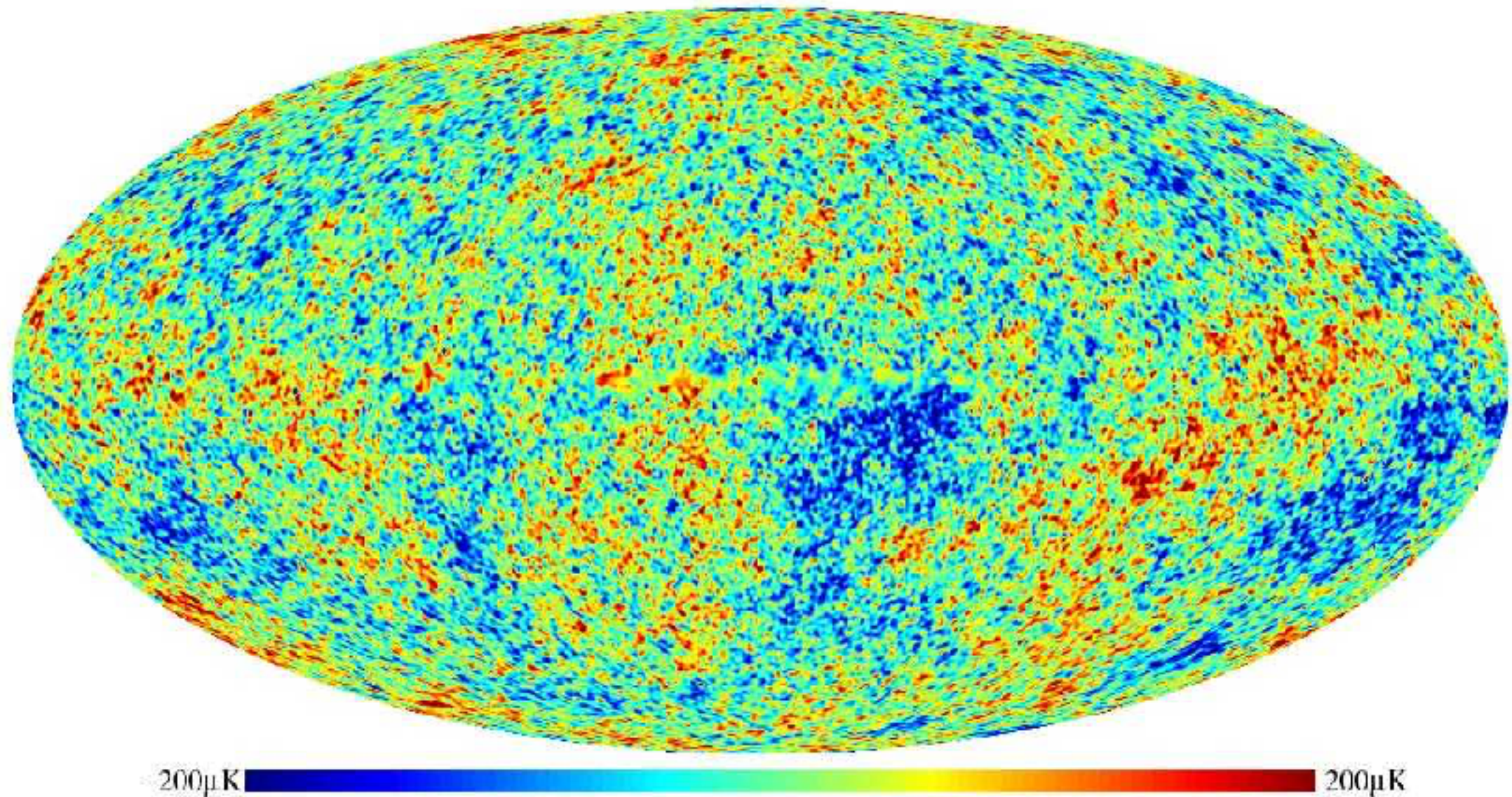
Nucleossíntese primordial

Ao mesmo tempo, o universo primordial se expandia muito rapidamente, esfriando-se. Por isto só os elementos mais leves se formaram.



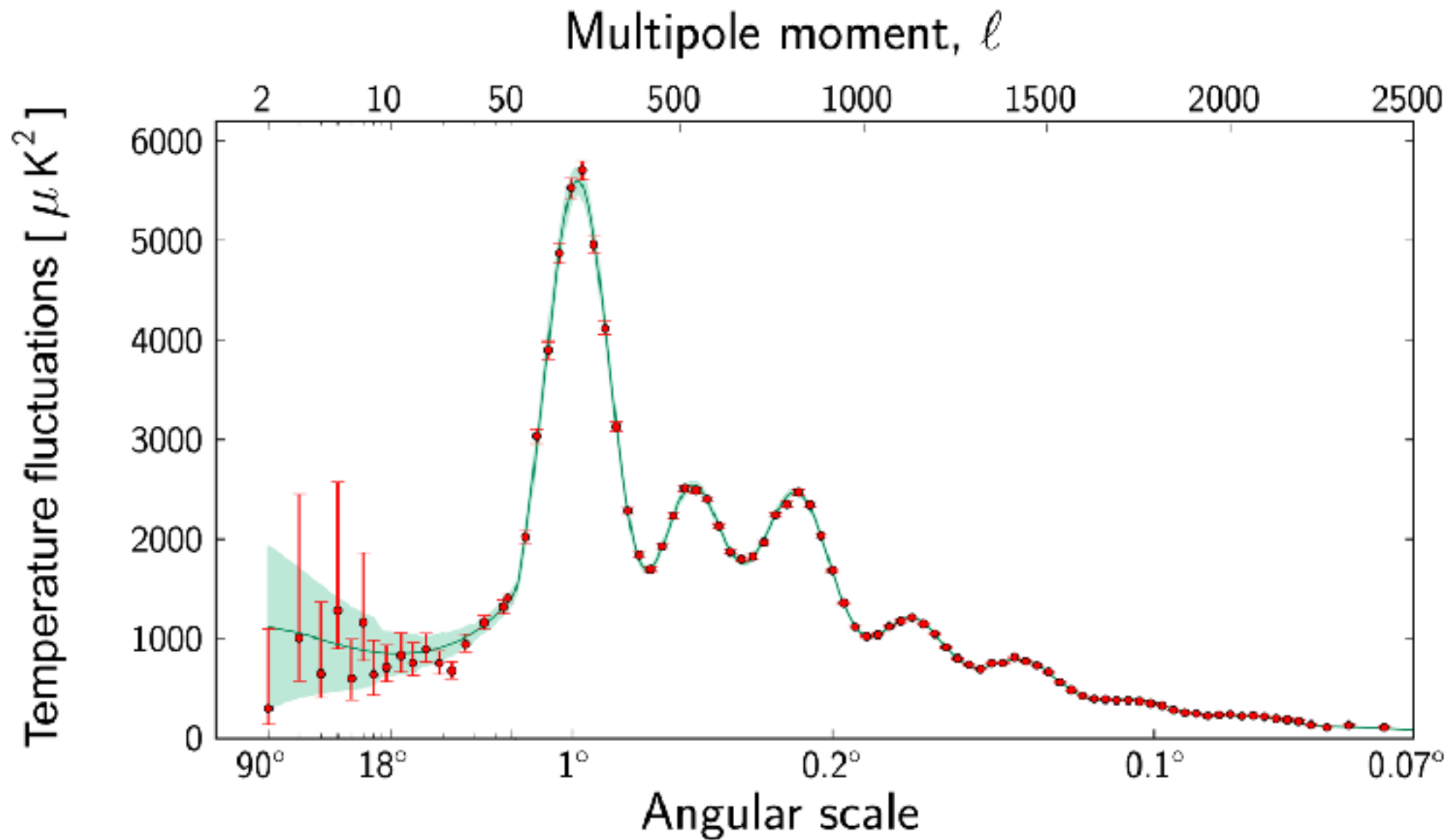
Os demais elementos da tabela periódica foram sintetizados nas estrelas.

Fótons: CMB



Fótons primordiais: resíduo térmico do Big Bang.
Anisotropias: diferentes temperaturas em diferentes direções.
Conteúdo de informação cosmológica importantíssimo!

Espectro de potência angular da CMB



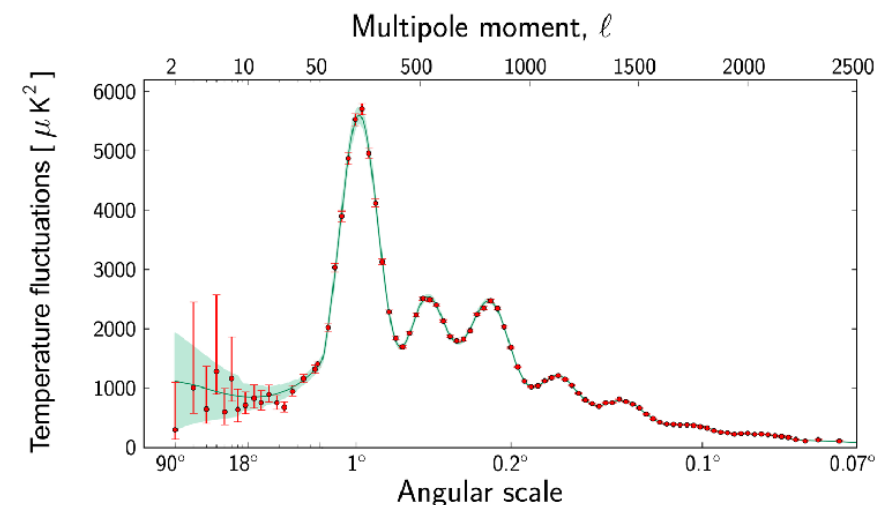
Matéria Escura

- Uma forma de matéria distinta da Energia Escura e da matéria ordinária
- É chamada de escura pois não interage (não é visível)
- A sua evidência (muito forte) vem de efeitos puramente gravitacionais.
- Do que se trata? Novas partículas além do modelo padrão?



A matéria escura: evidências observacionais

- Dinâmica em aglomerados de galáxias (já em 1933, Zwicky). A matéria escura tem uma história de cerca de 80 anos enquanto a energia escura de 20 anos.
- Curvas de rotações das galáxias.
- Emissão em raio-X de aglomerados de galáxias.
- Lenteamento gravitacional.
- As anisotropias da CMB.
- A formação de estruturas.



Teorema do virial em aglomerados de galáxias

Dark Matter

Virial Theorem:

$$2K = -U$$

kinetic energy potential energy

average galaxy speed


cluster radius

$$M \sim \frac{r \langle v^2 \rangle}{G}$$


cluster mass Newton's gravitational constant

Fritz Zwicky

10x more matter than we can see!!

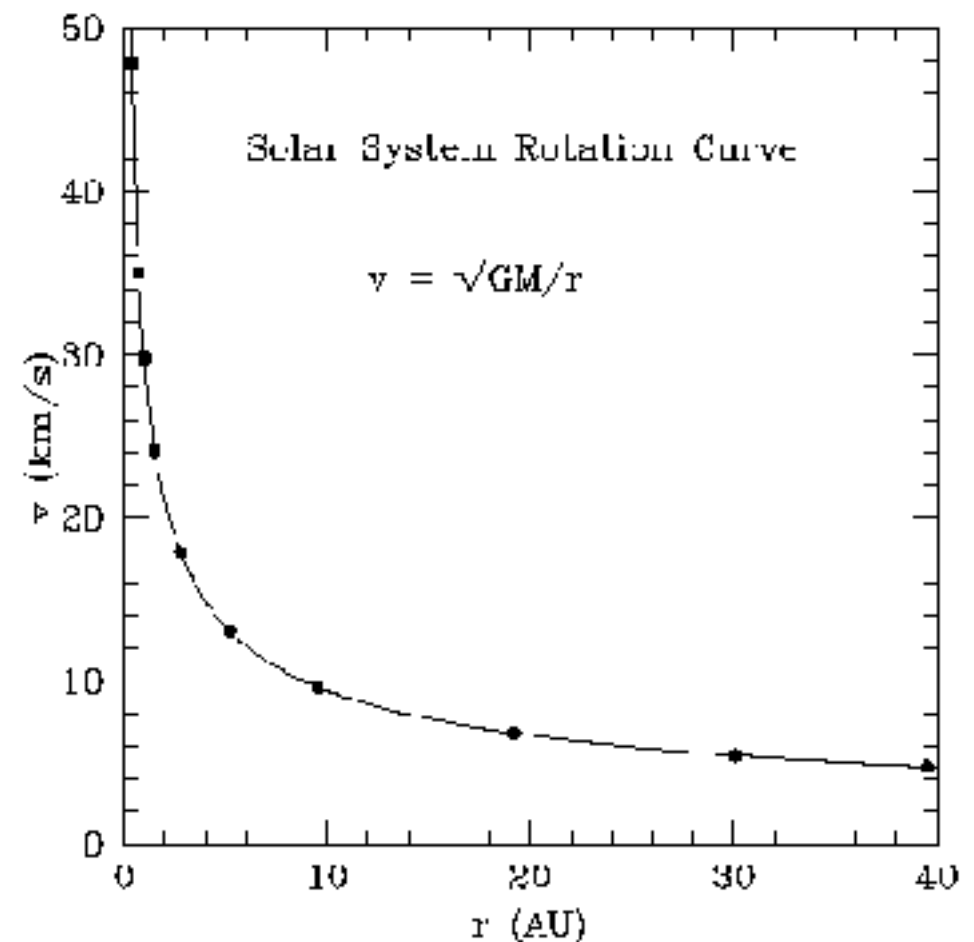
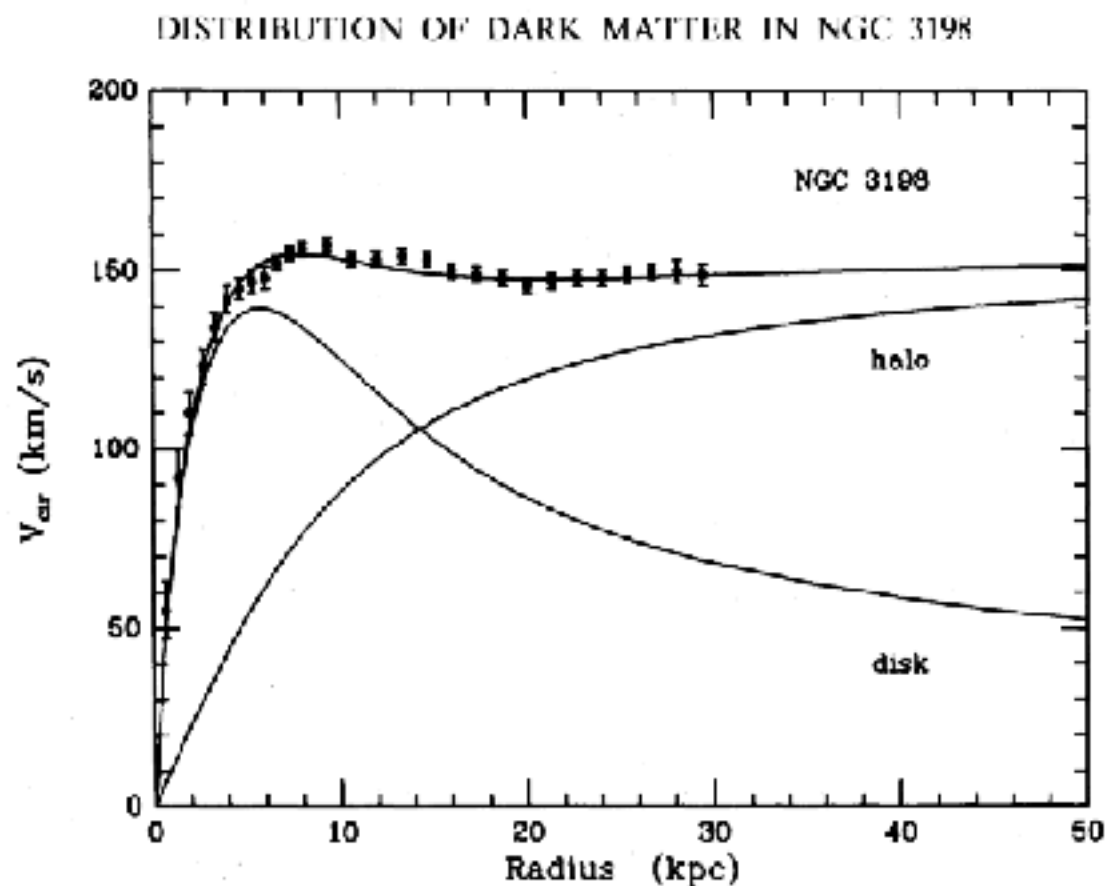


Abell 2744

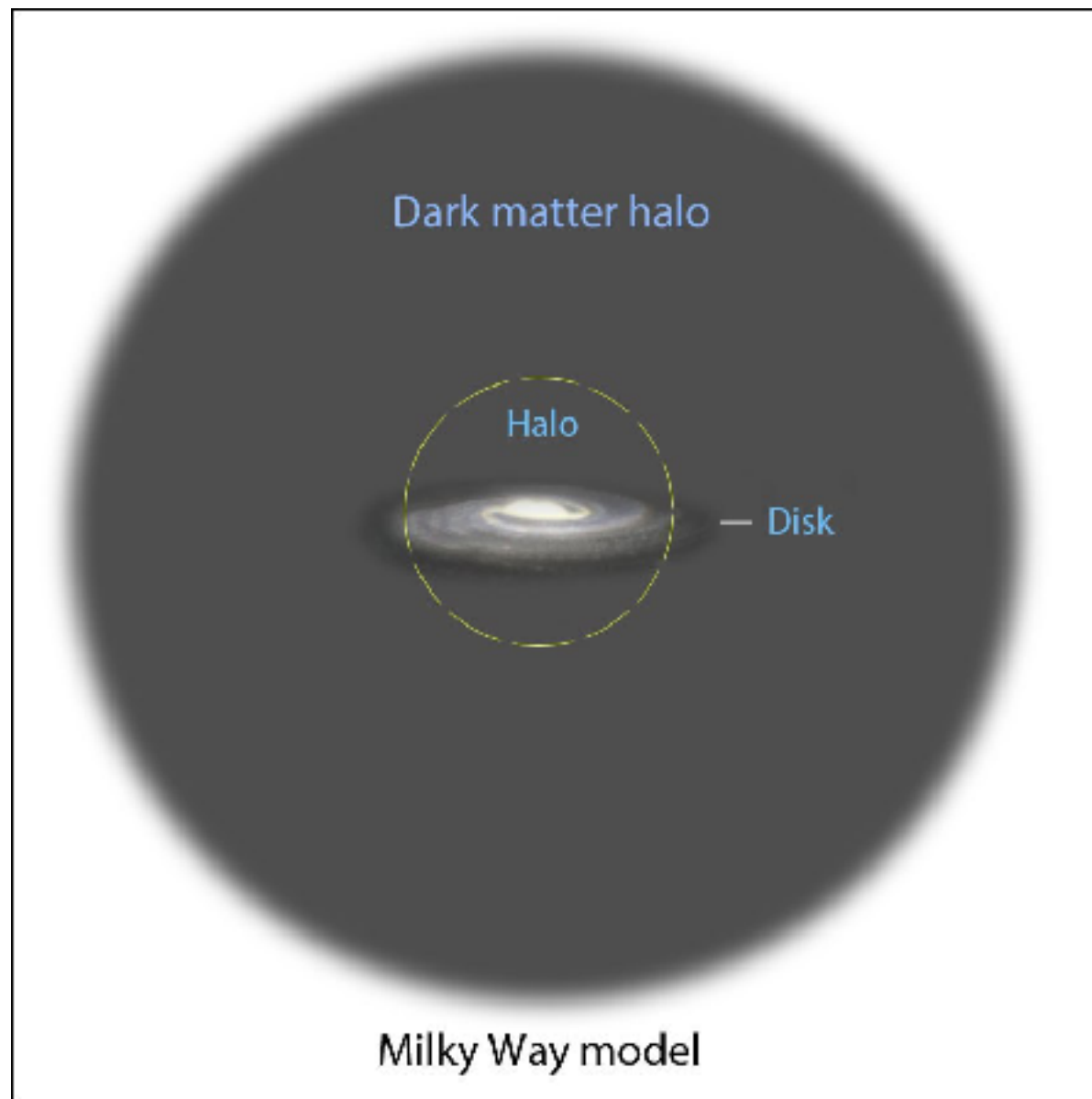


Curvas de rotação das galáxias

Onde esperamos uma queda Kepleriana, a velocidade de rotação é sustentada pela matéria escura.



O conceito de halo de matéria escura

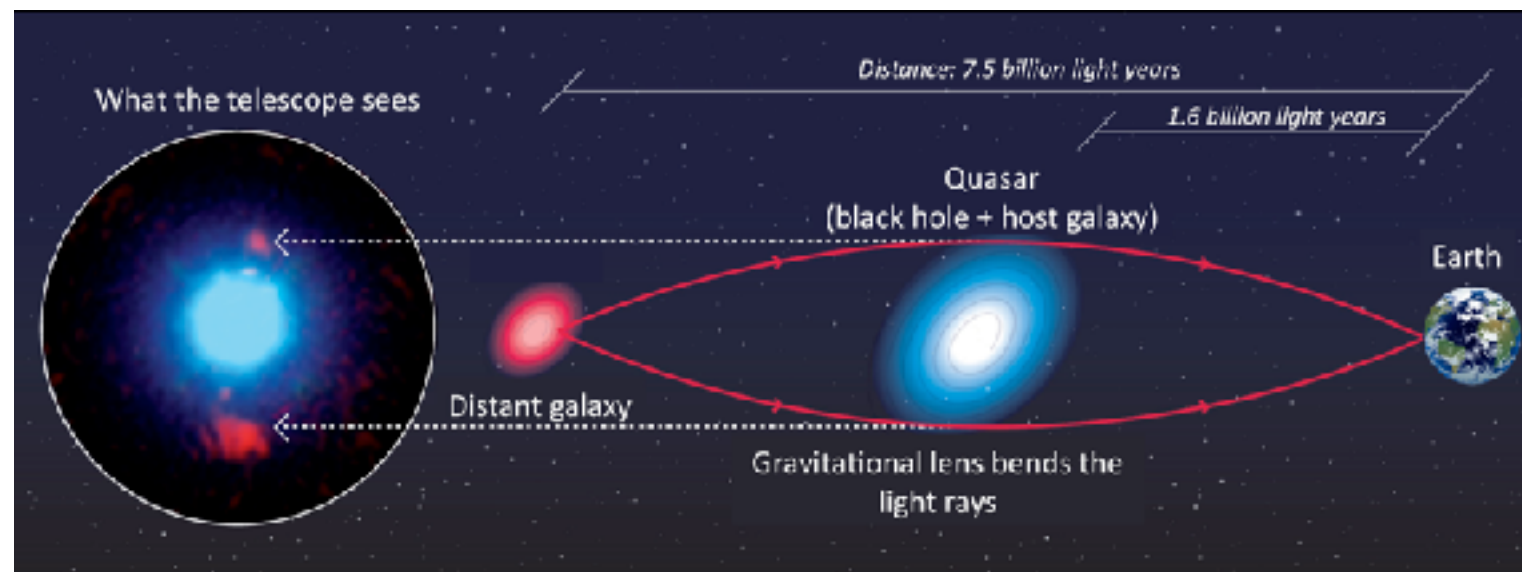


As estruturas, galáxias e aglomerados de galáxias, estão submergidas num halo de matéria escura.

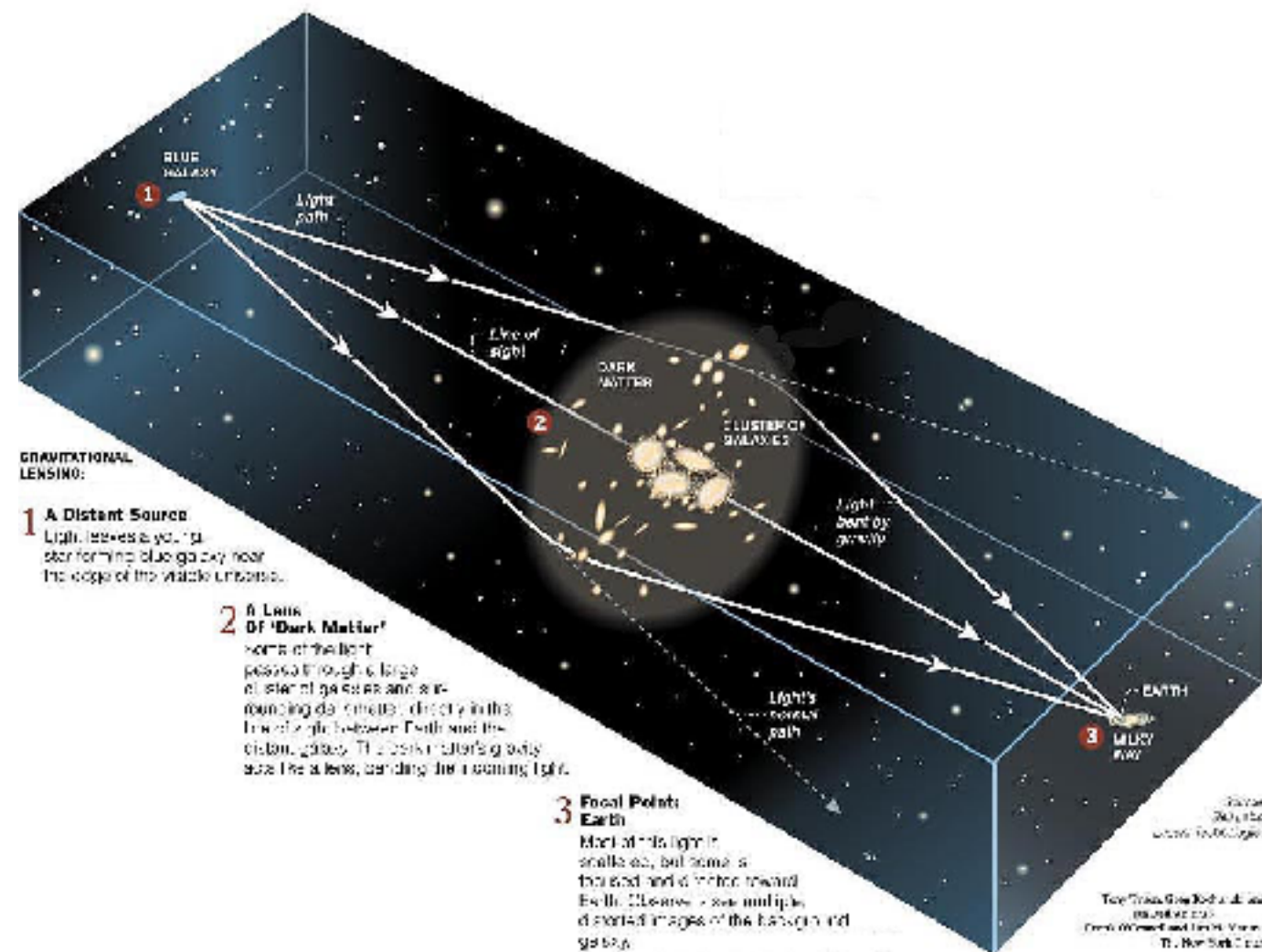
Lentes gravitacionais

A presença de matéria cria um poço de potencial que curva as trajetórias dos raios de luz.

Maior a massa da lente, maior a curvatura. Observação: a massa da componente estelar sozinha não basta -> matéria escura.



Lentes gravitacionais

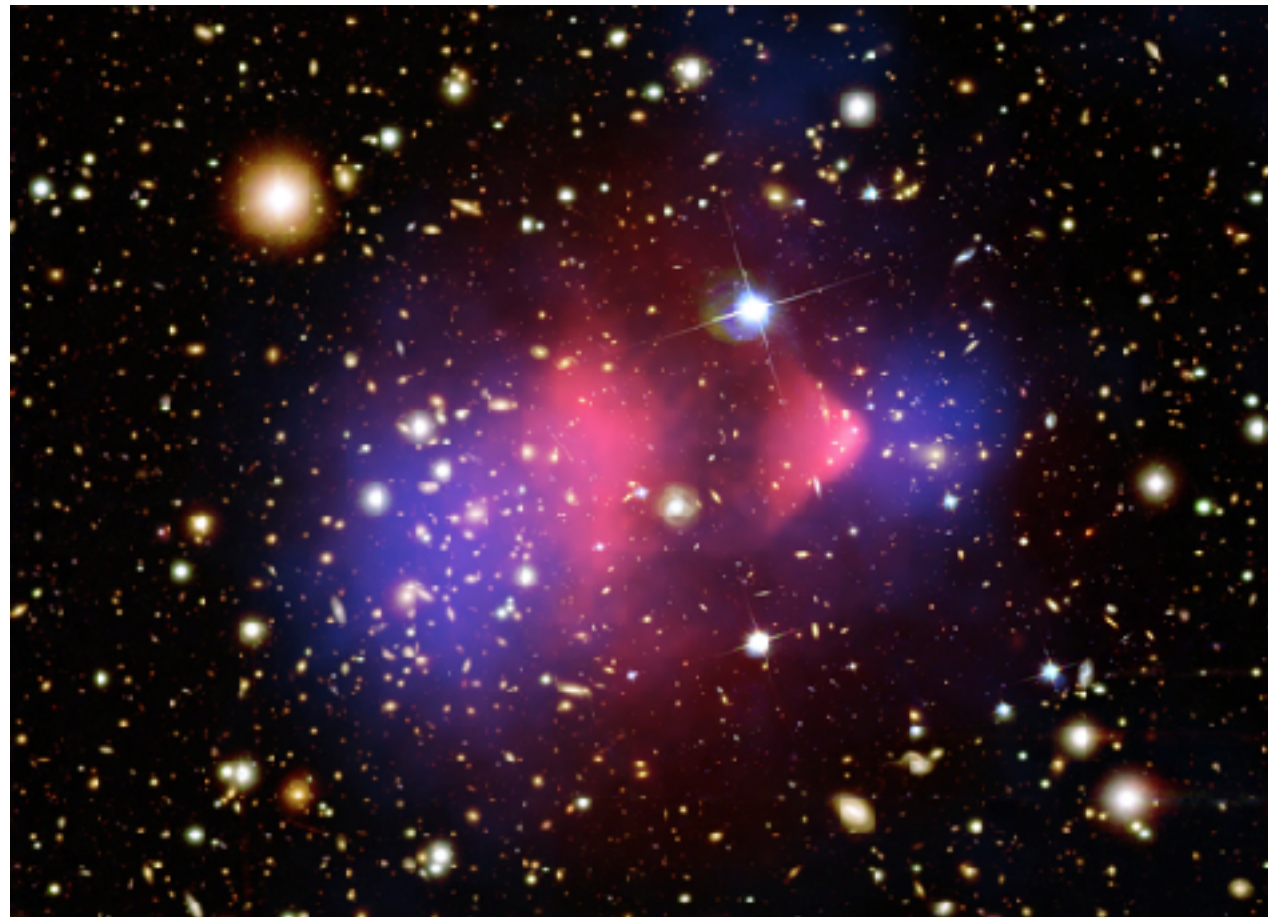


Lentes gravitacionais



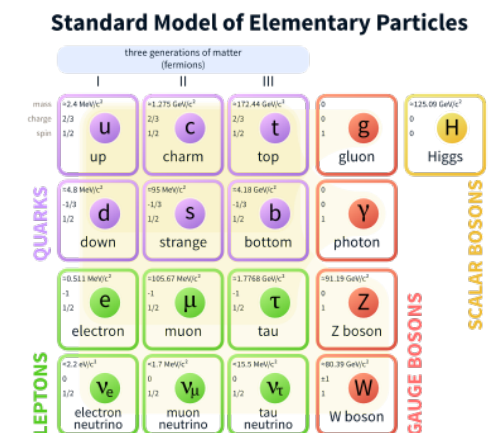
Dinâmica de aglomerados: O *Bullet Cluster*

Colisão entre dois aglomerados. Os halos de matéria escura passam um através do outro sem interagir enquanto o gás fica por trás.

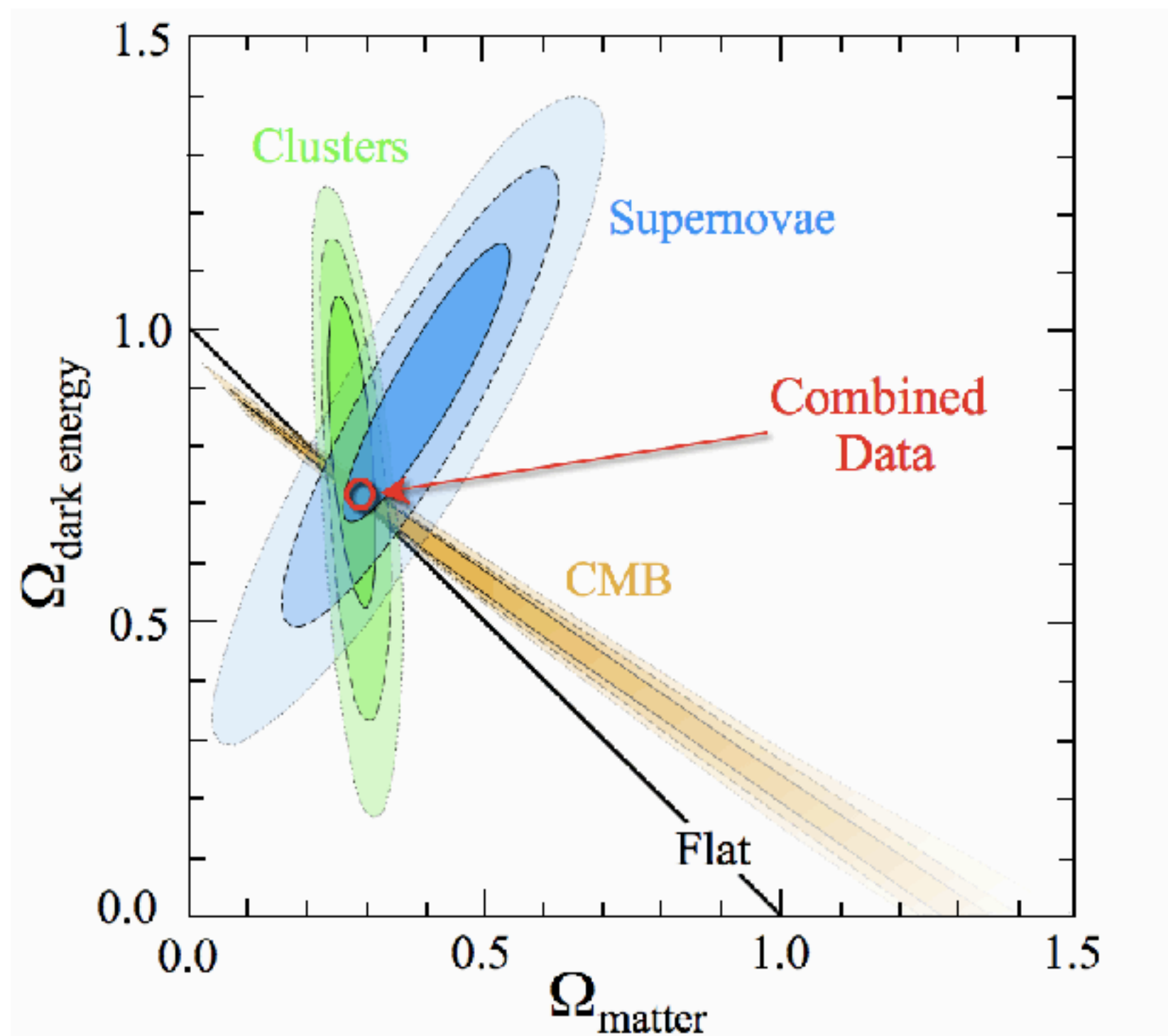


Candidatos para matéria escura

- Weakly Interacting Massive Particles (WIMP)
- Axions
- Neutrinos estereis
- Outras partículas além do modelo padrão
- Buracos negros primordiais
- Massive Compact Halo Objects (MACHO)
- Modificações da teoria da Relatividade Geral



Modelo padrão da cosmologia: Lambda + CDM. Modelo de concordância cósmica



Resumo do curso: informações importantes para vocês aprofundarem.

- Expansão do universo, desvio para o vermelho e lei de Hubble
- Cosmologia relativística: métrica FLRW e equações de Friedmann
- Expansão acelerada do universo: energia escura
- Matéria escura e energia escura = setor escuro do universo: 95% do conteúdo energético
- Modelo padrão da cosmologia: Lambda + CDM