O LADO ESCURO DO UNIVERSO

Pedro Abreu
LIP/IST, Lisboa
Escola de Profs no CERN em Língua Portuguesa 2013

(Heinrich Wilhelm Olbers, 1823)

• Porque é que o Universo é escuro?

E porque era isto um paradoxo?

Se o Universo é infinito e eterno (e com uma densidade de estrelas ±uniforme), então todas as linhas de visão deveriam terminar na superfície de uma estrela.

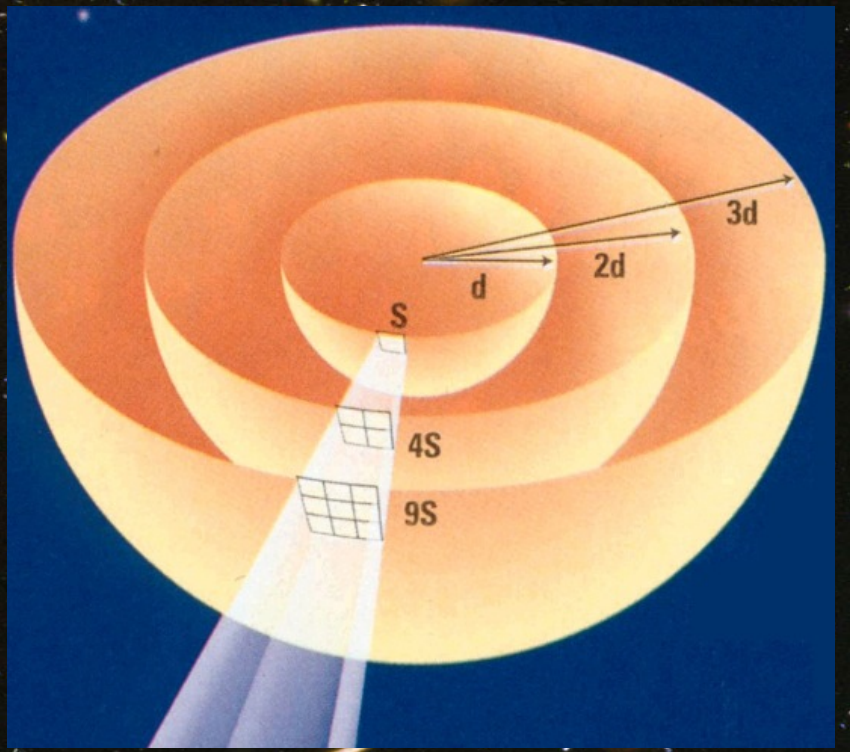
Formalmente:

Cada camada contribui com nº estrelas ~ r^2
A luz diminui de intensidade com ~$1/r^2$
Contribuição de luz de cada camada = constante

O Céu deveria ser cheio de luz

Consequência:

O UNIVERSO NÃO PODE SER INFINITO E ETERNO!

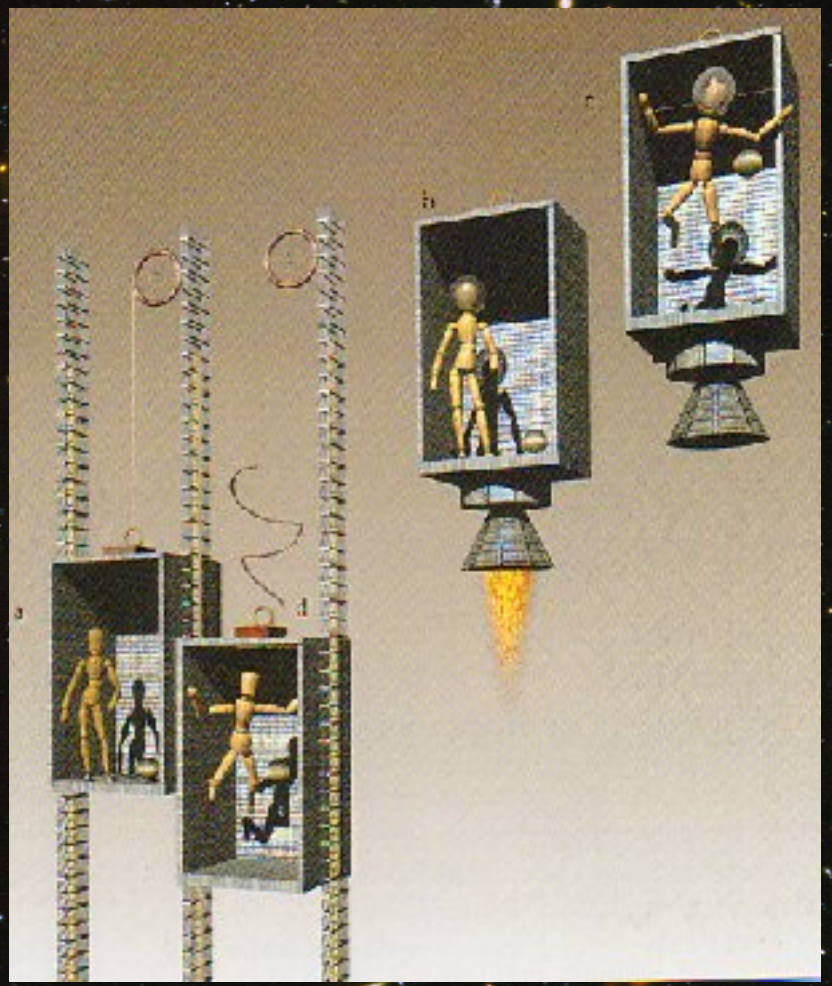


Uma teoria para o Universo:

Relatividade Geral (1915 !)

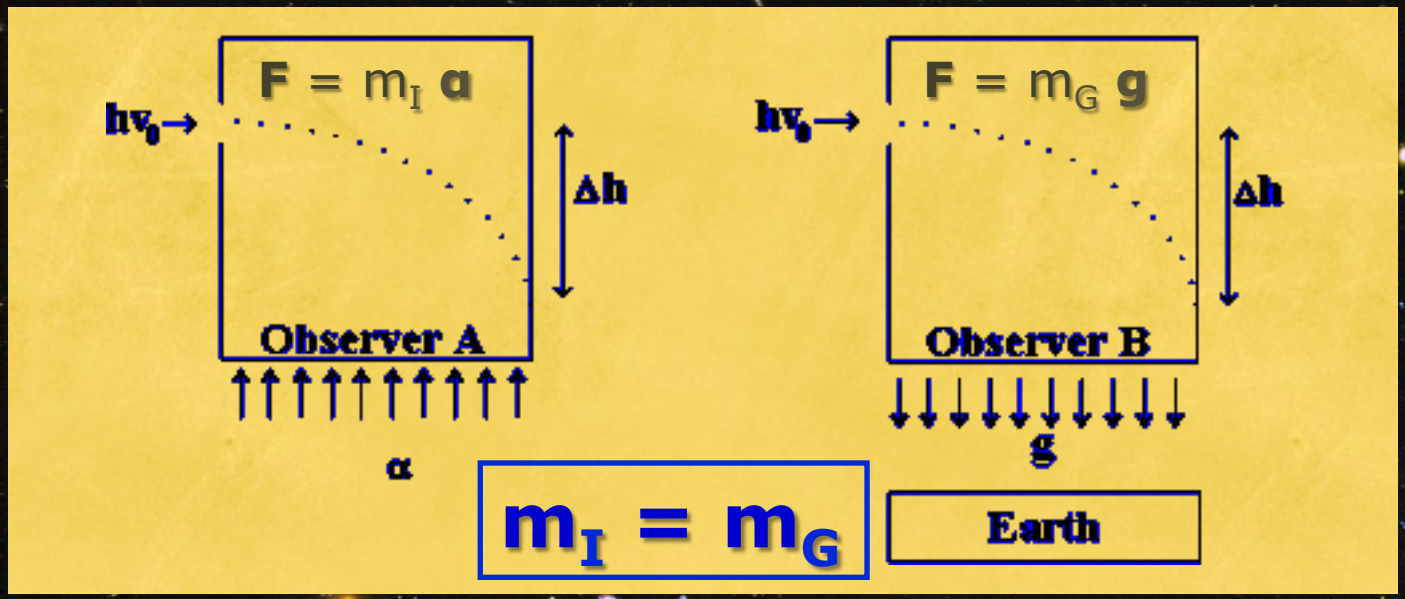
Não se pode realizar nenhuma experiência, de qualquer natureza, que nos permita distinguir um referencial acelerado e um referencial sujeito à gravidade!

Então e se ligar uma.**lanterna** ?!



Princípio de Equivalência

1907



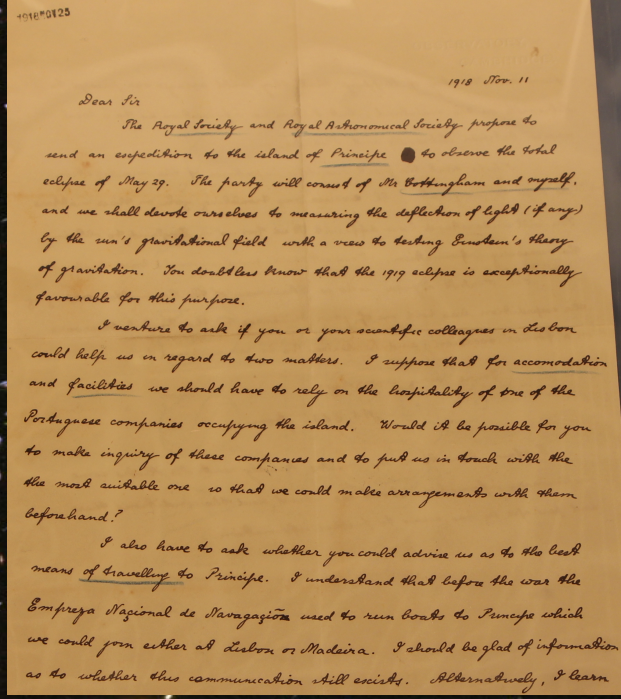
Massa Inercial = Massa Gravítica

Aceleração = Gravitação

"A Ideia mais feliz da minha vida" (Albert Einstein)

A Luz desviada pelo Sol (1919 !)

Confirmado por
Sir Arthur Eddington
Ilha do Príncipe,
29 de Maio de 1919



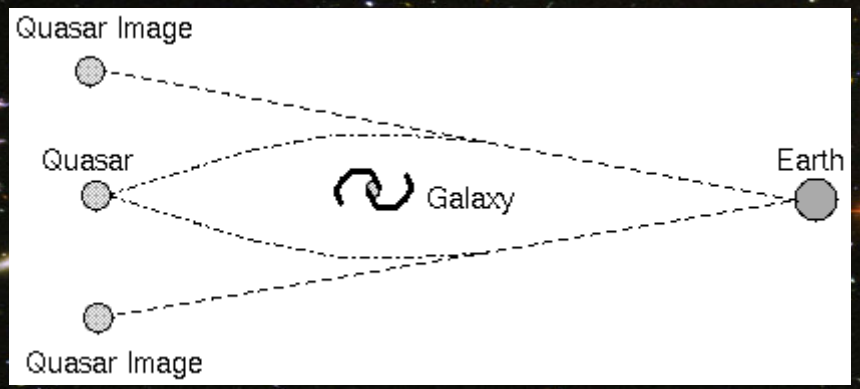
1918 Nov. 11

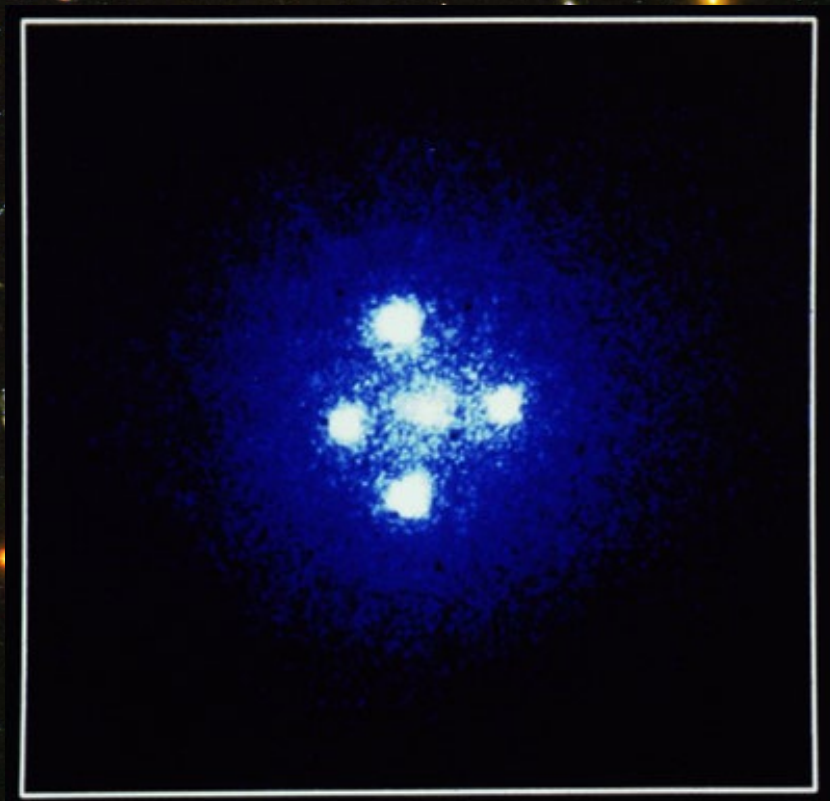
Dear Sir

The Royal Society and Royal Astronomical Society propose to send an expedition to the island of Principe to observe the total eclipse of May 29. The party will consist of Mr Cottingham and myself, and we shall devote ourselves to measuring the deflection of light (if any) by the sun's gravitational field with a view to testing Einstein's theory of gravitation. You doubtless know that the 1919 eclipse is exceptionally favourable for this purpose.

I venture to ask if you or your scientific colleagues in Lisbon could help us in regard to two matters. I suppose that for accomodation and facilities we should have to rely on the hospitality of one of the Portuguese companies occupying the island. Would it be possible for you to make inquiry of these companies and to put us in touch with the the most suitable one so that we could make arrangements with them beforehand?

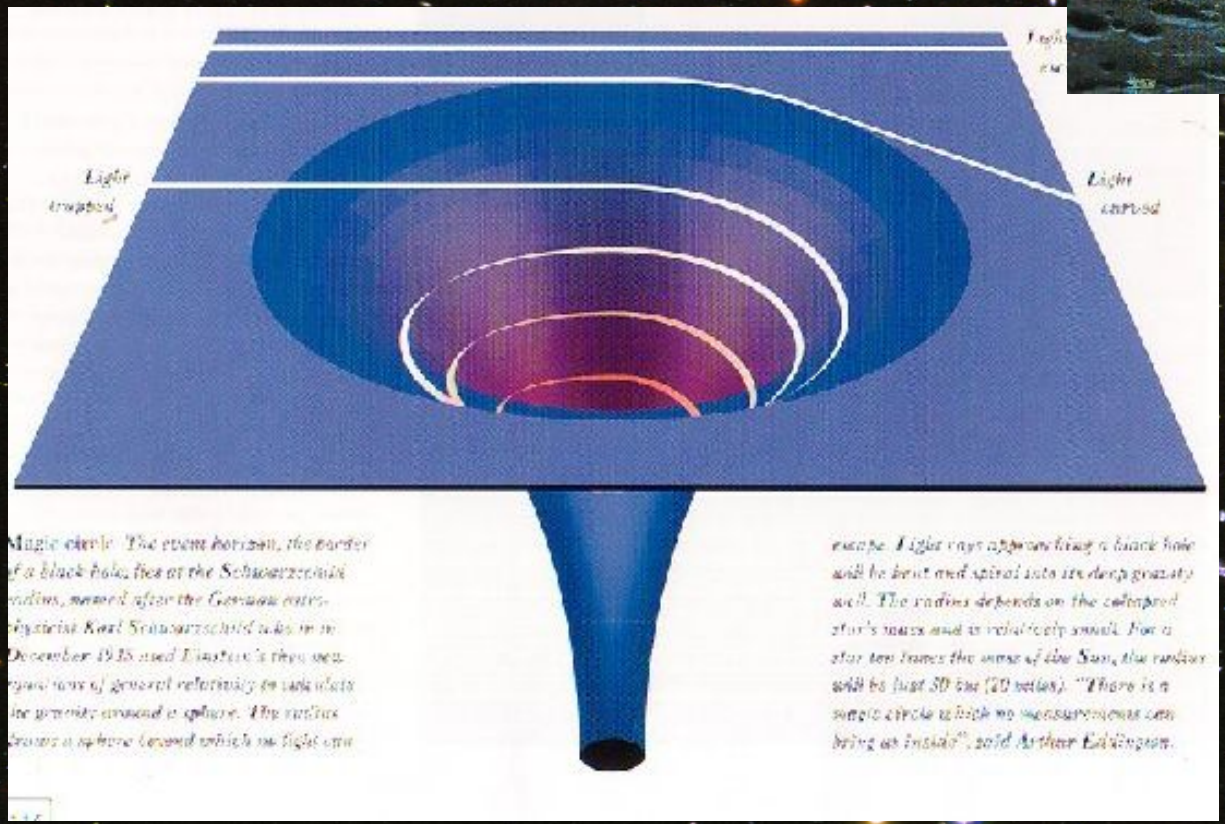
I also have to ask whether you could advise us as to the best means of travelling to Principe. I understand that before the war the Empreza Nazional de Navagaçion used to run boats to Principe which we could join either at Lisbon or Madeira. I should be glad of information as to whether this communication still exists. Alternatively, I learn





Gravitational Lens G2237+0305

Caso limite: Buraco Negro



Magic circle. The event horizon, the border of a black hole, lies at the Schwarzschild radius, named after the German astrophysicist Karl Schwarzschild who in December 1915 used Einstein's then new equations of general relativity to calculate the gravity around a sphere. The radius draws a sphere beyond which no light can escape. Light rays approaching a black hole will be bent and spiral into its deep gravity well. The radius depends on the collapsed star's mass and is relatively small. For a star ten times the mass of the Sun, the radius will be just 30 km (20 miles). "There is a magic circle in which no measurements can bring us inside", said Arthur Eddington.

A Teoria da Relatividade Geral

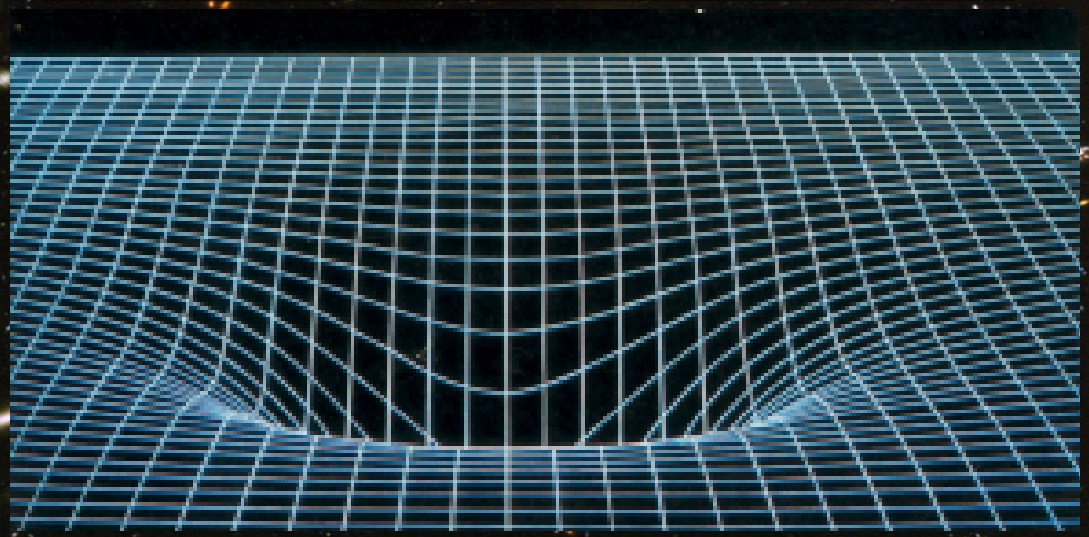
O caminho mais curto no espaço-tempo é definido pela trajetória dos raios de luz.
Elevador acelerado: luz segue uma trajectória parabólica
Campo Gravítico: raios de luz são curvados!

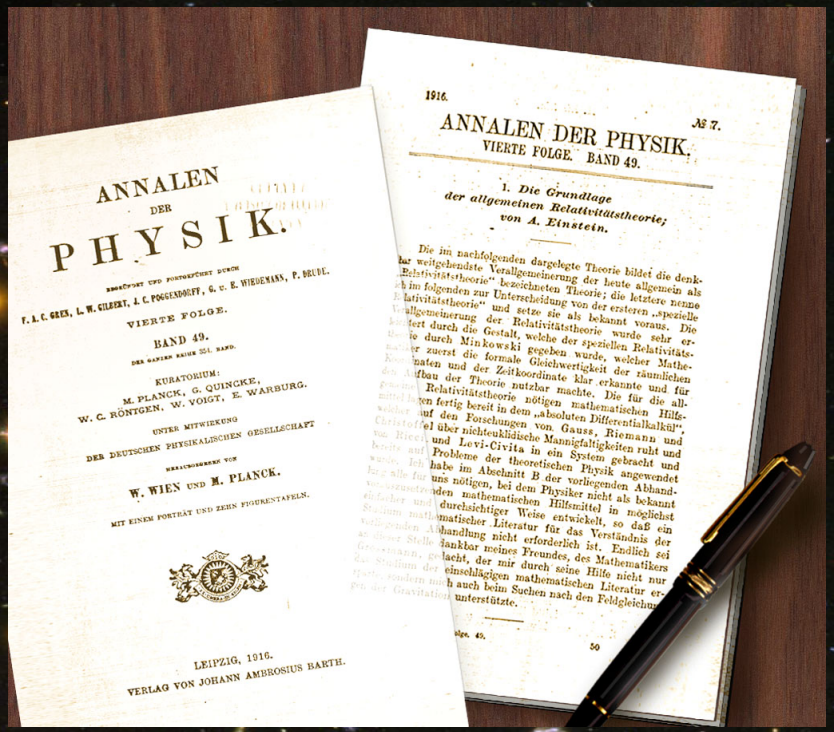
Espaço e Tempo são curvos!

Albert Einstein (1912-15) : Relatividade Geral

$$G\mu\nu = 8\pi T\mu\nu$$

Matéria diz ao Espaço como se curva
Espaço diz à Matéria como é que se move



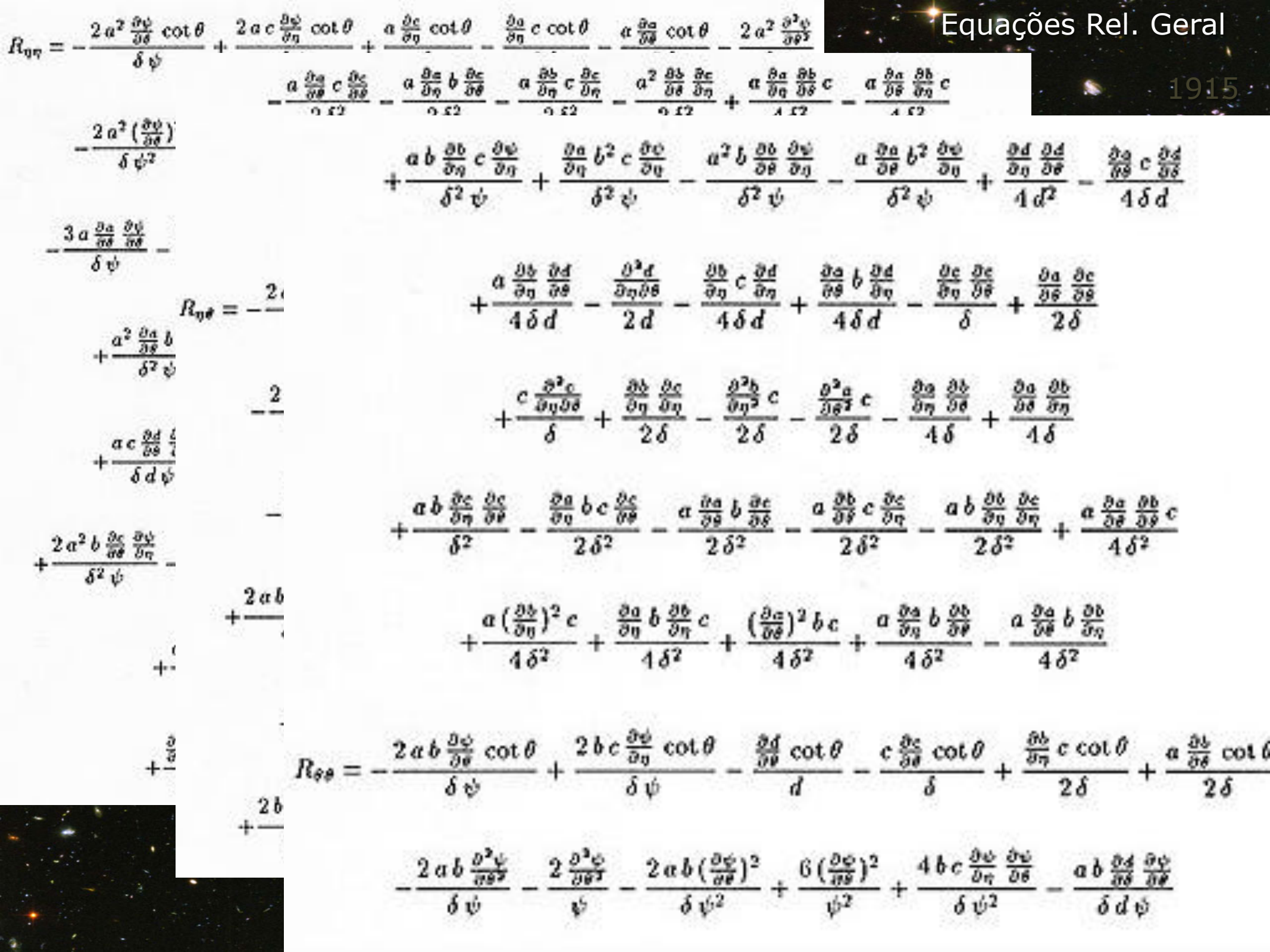


Einstein 1917:

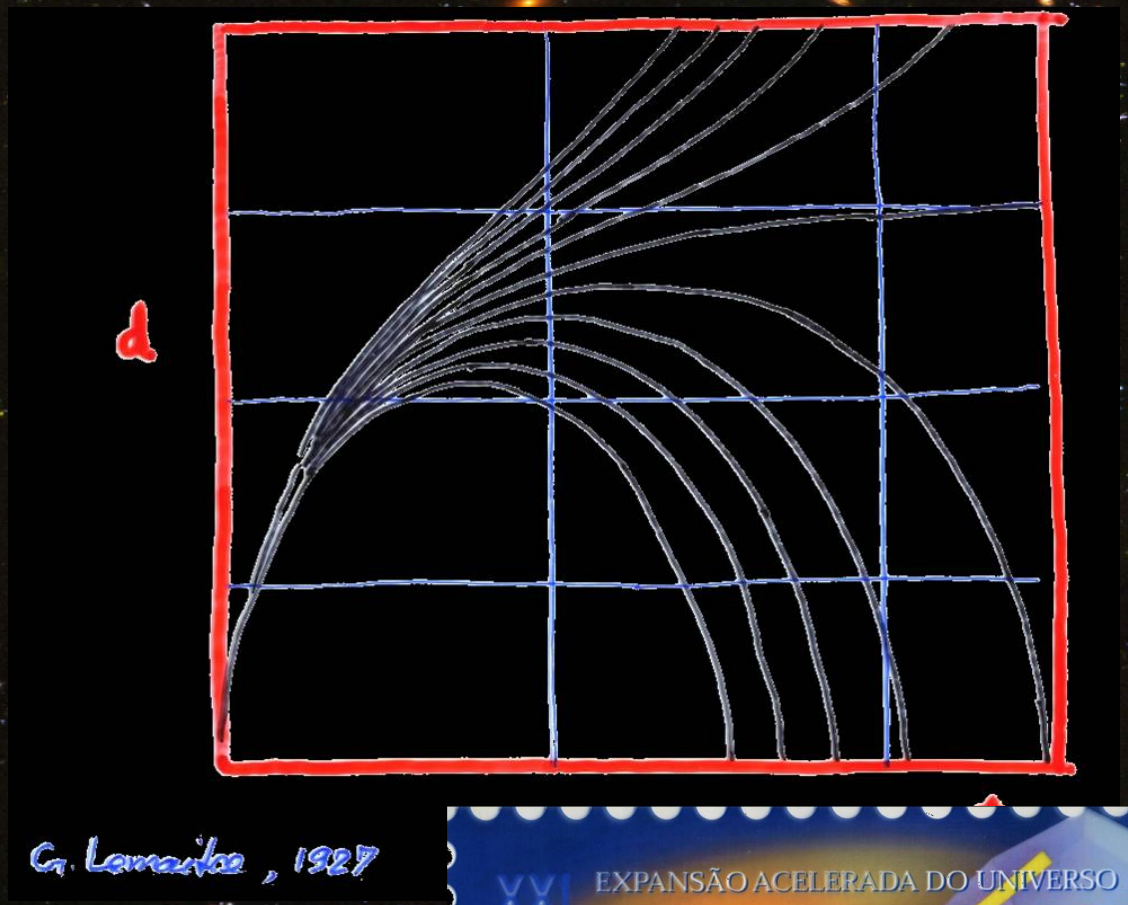
$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu}$$

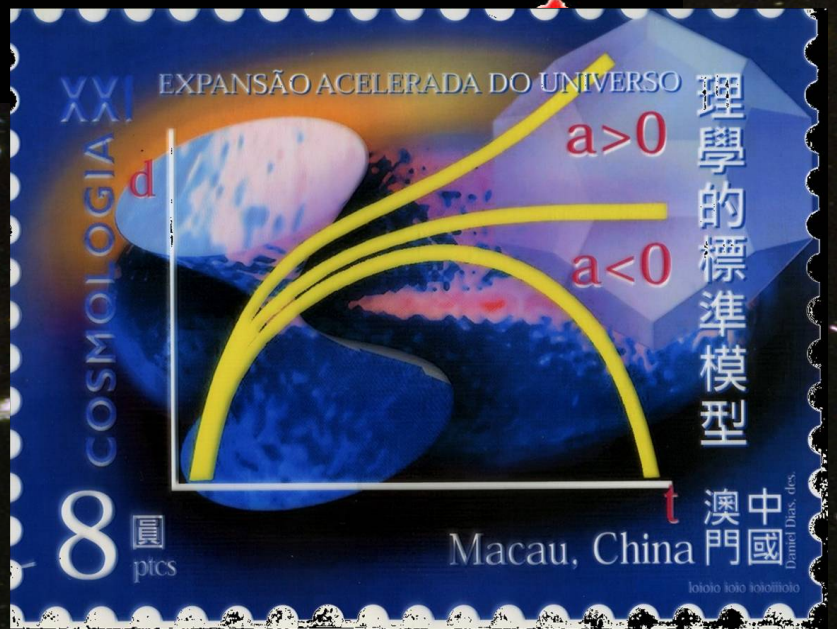
↓

(Constante Cosmológica)


Equações Rel. Geral
1915

EXPANSÃO DO UNIVERSO!

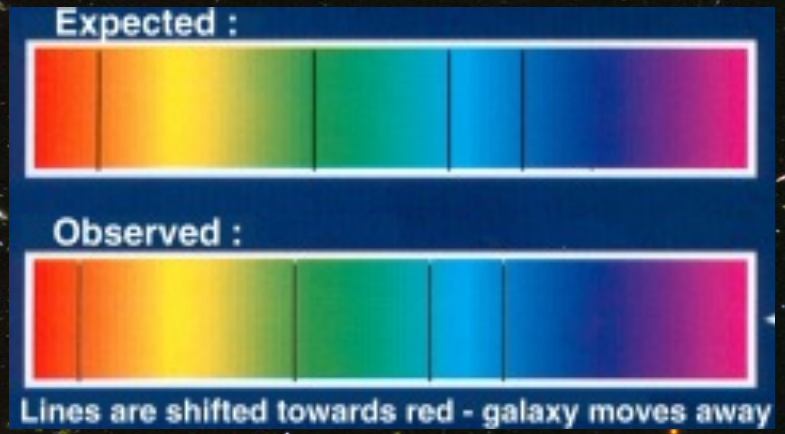




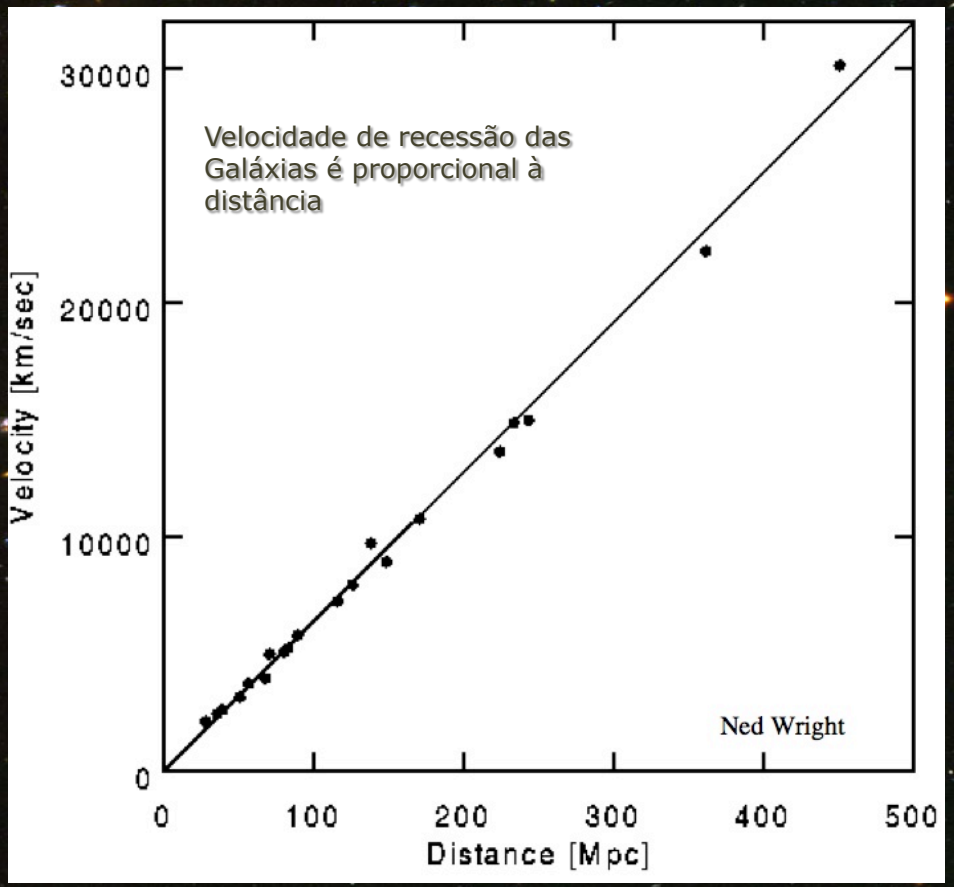
George Lemaitre (1927)

Todo o Universo Expande!
Um ‘átomo primordial quente’ ?

EXPANSÃO DO UNIVERSO!



Edwin Hubble (1929)
Mt. Palomar telescope

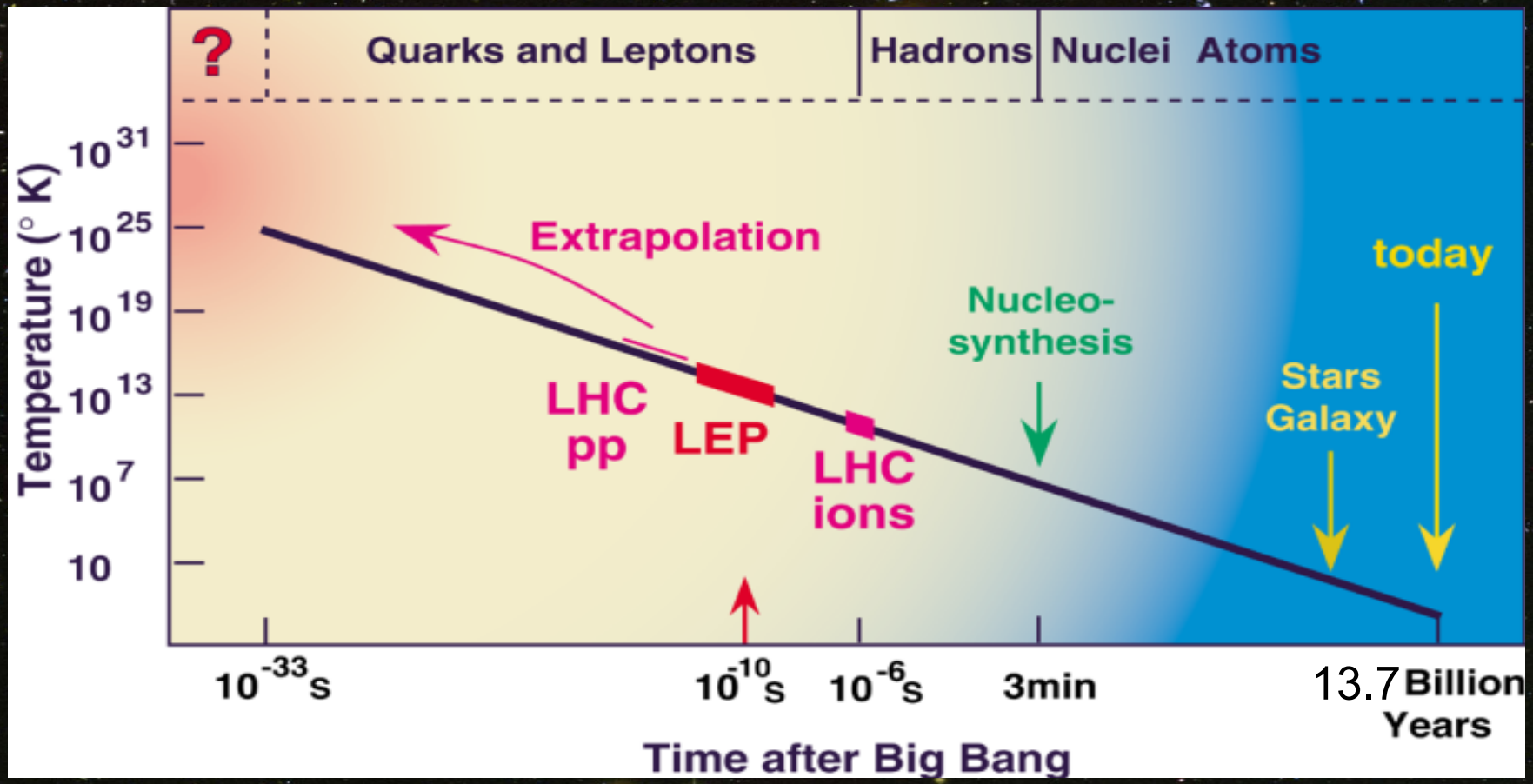


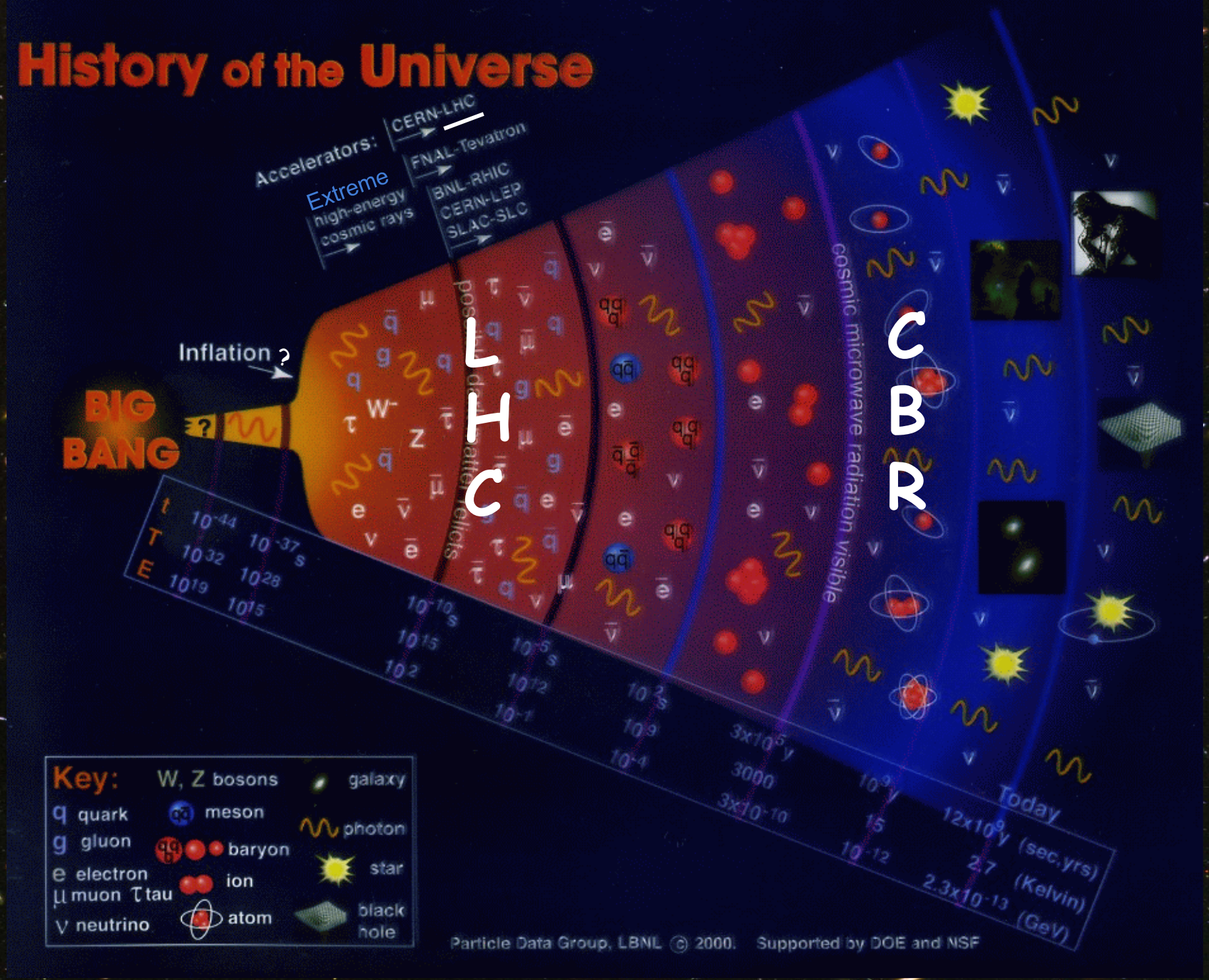
Einstein afirma:

a constante cosmológica = 'o meu maior erro'

O Cosmos no LHC

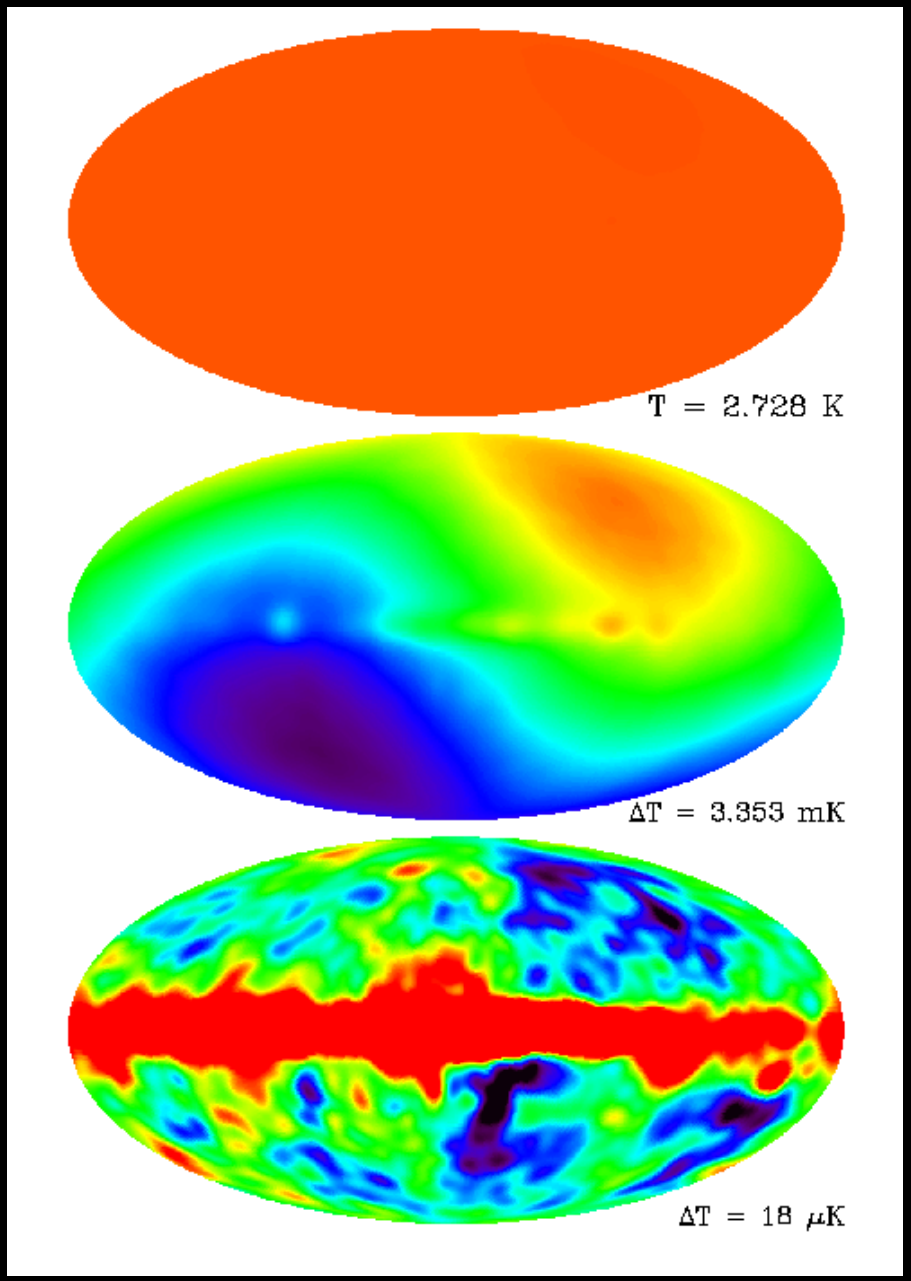
- As condições do Universo logo após o Big-Bang são recreadas no LHC.




History of the Universe
Accelerators:
CERN-LHC
FNAL-Tevatron
BNL-RHIC
CERN-LEP
SLAC-SLC
Extreme high-energy cosmic rays
Inflation ?
BIG BANG
?
LHC
CBR
cosmic microwave radiation visible
Today
Key:
W, Z bosons
galaxy
q quark
meson
photon
g gluon
baryon
star
e electron
ion
μ muon τ tau
atom
black hole
ν neutrino
Particle Data Group, LBNL © 2000. Supported by DOE and NSF

HOJE

Estudo da Radiação Cósmica de Fundo (COBE)
(Prémio Nobel 2006)



T= 2.7 K

Penzias & Wilson, Prémio Nobel 1965

ΔT= 3.3 mK

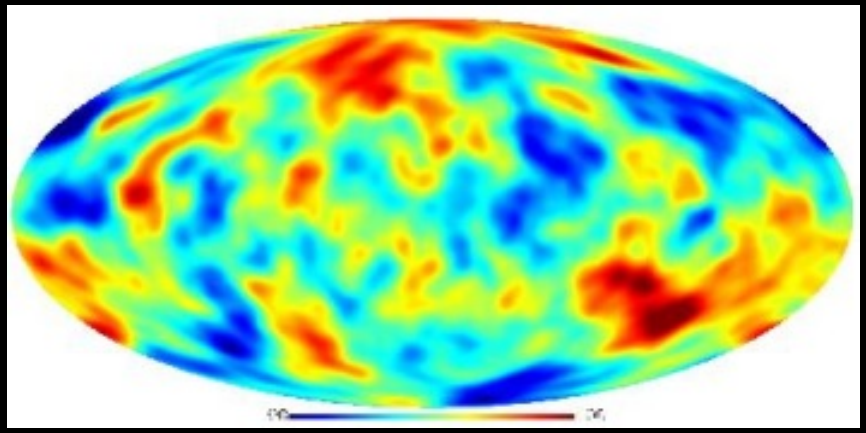
(depois da subtracção do fundo comum)

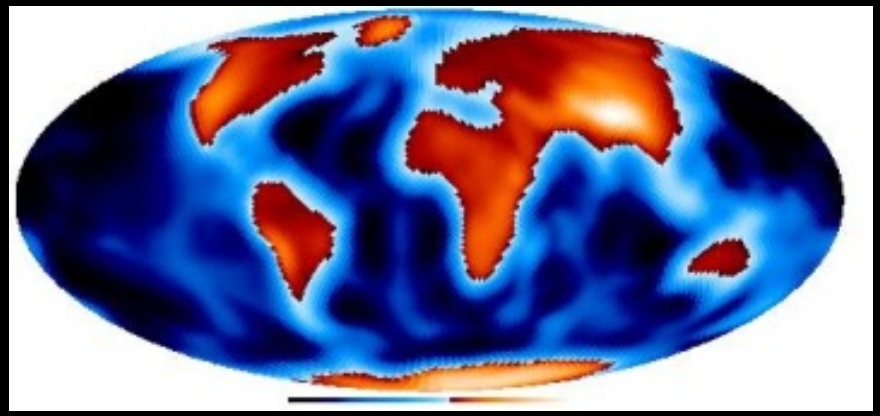
ΔT= 18 μK

(depois de corrigido para o mov. Terra)

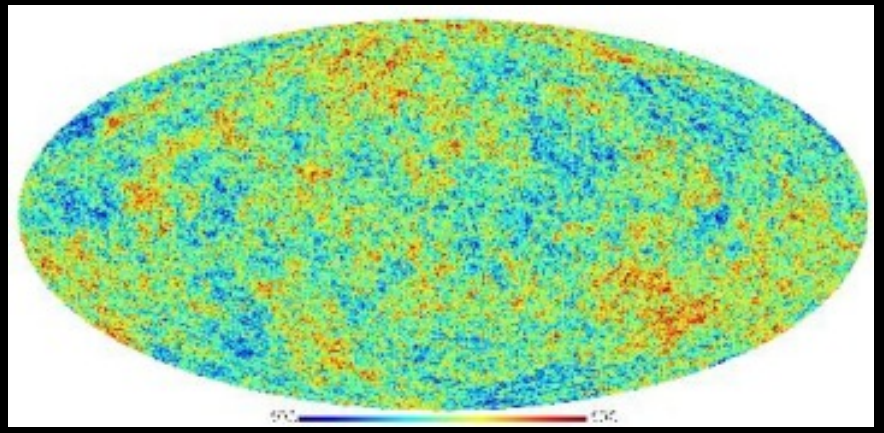
WMAP (2003): uma observação mais precisa

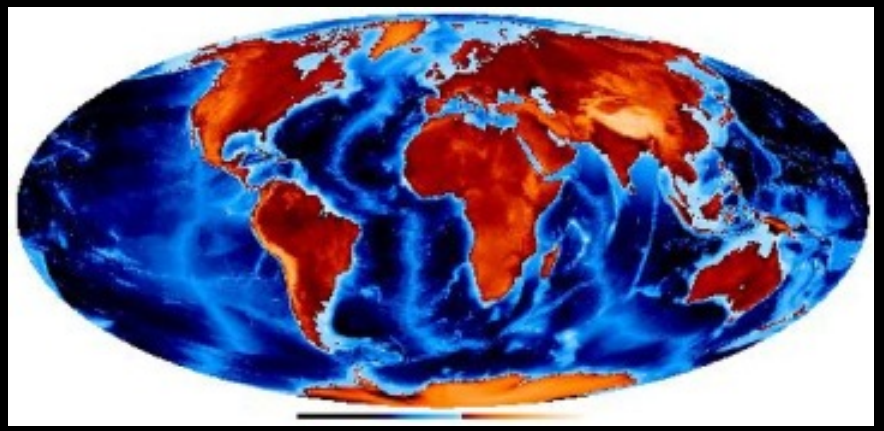
COBE
(7 degree resolution)



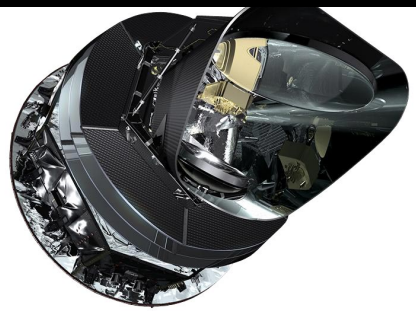


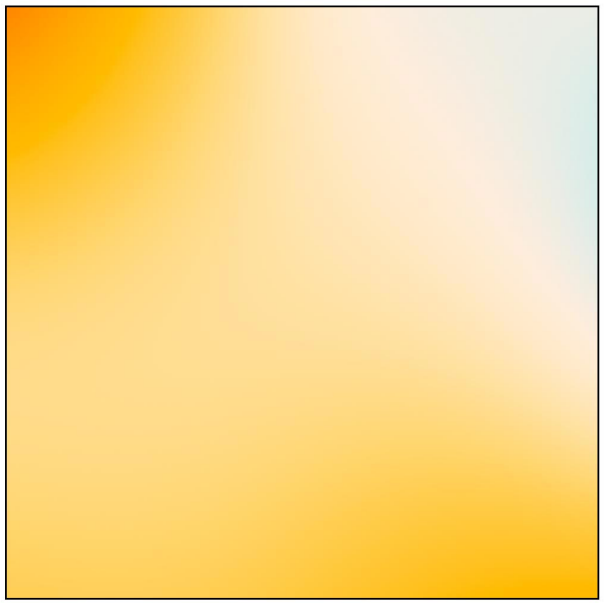
WMAP
(0.25 degree resolution)

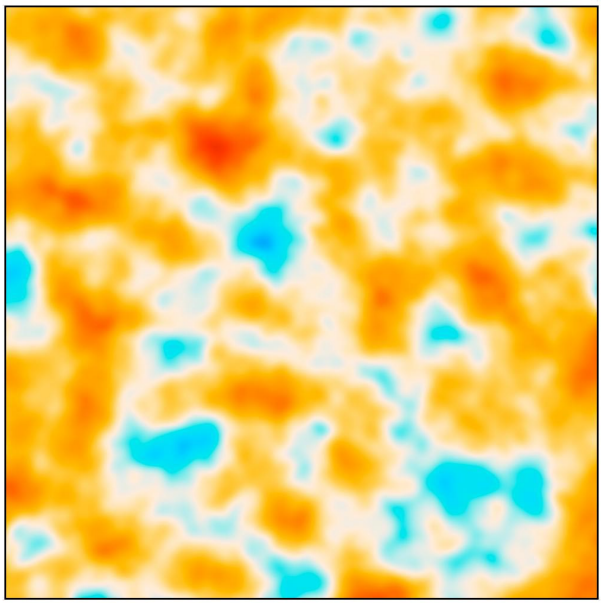


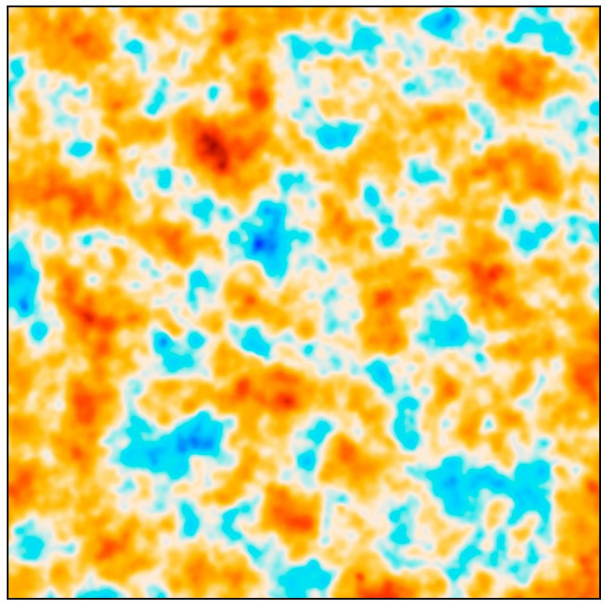


PLANCK (2013): uma observação AINDA mais precisa







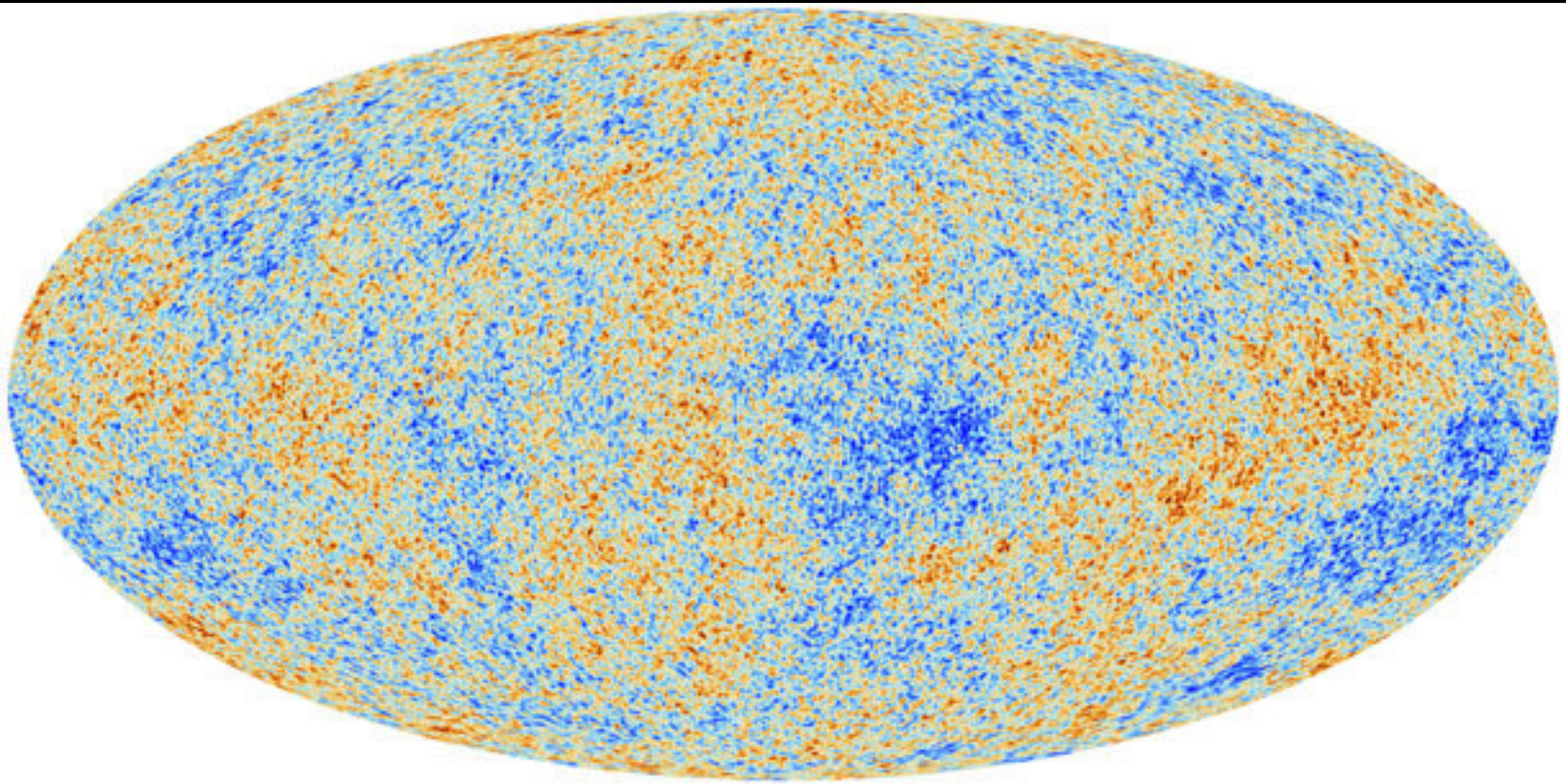


COBE
1990

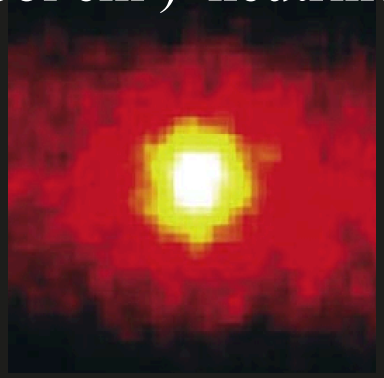
WMAP
2003

Planck
2013

PLANCK (2013): uma observação AINDA mais precisa

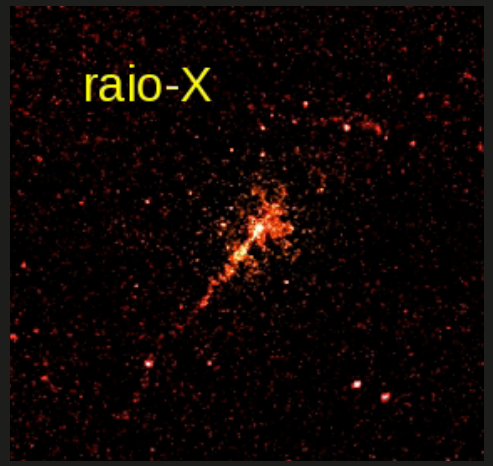


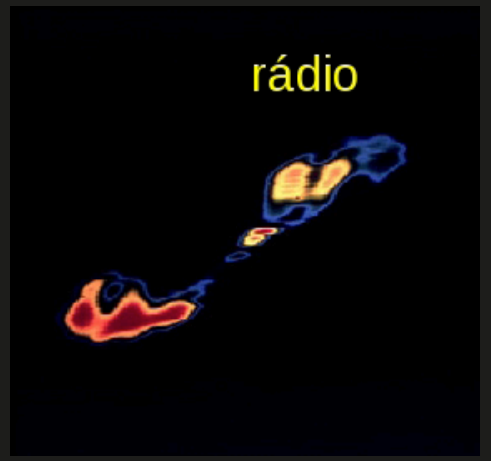
(Sol em) neutrinos



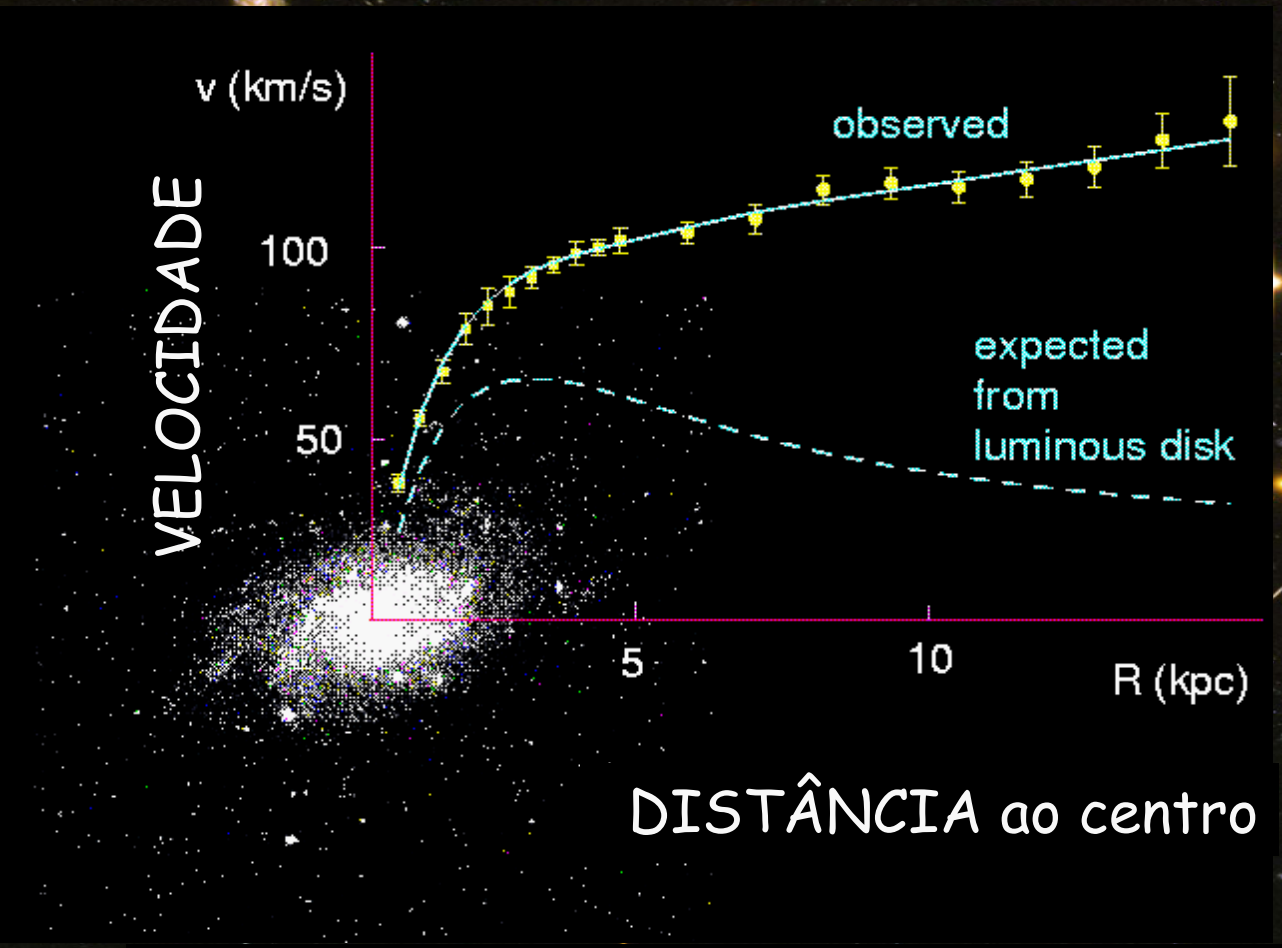
Raios Cósmicos de Energia Extrema

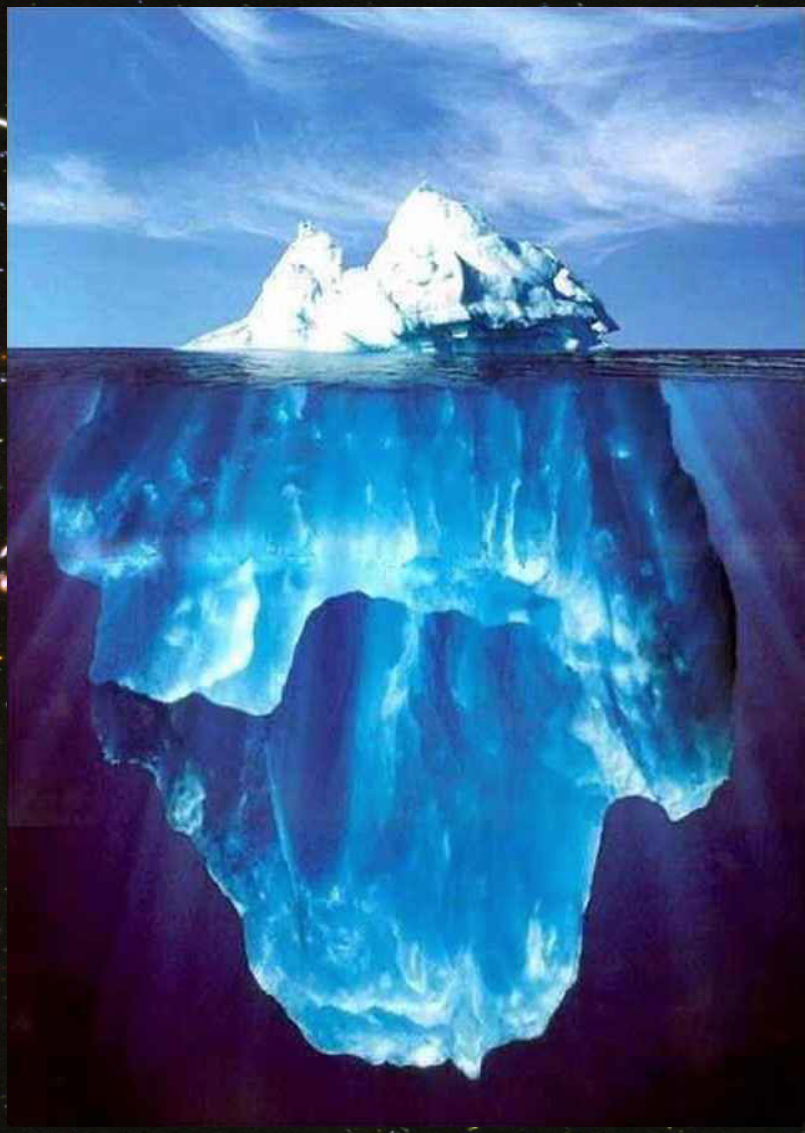
O UNIVERSO INVISÍVEL





A Matéria Escura!

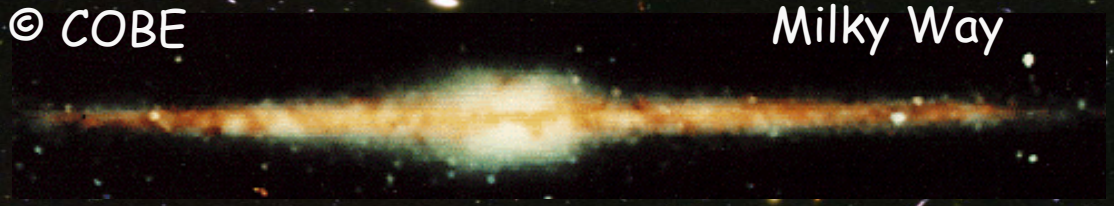


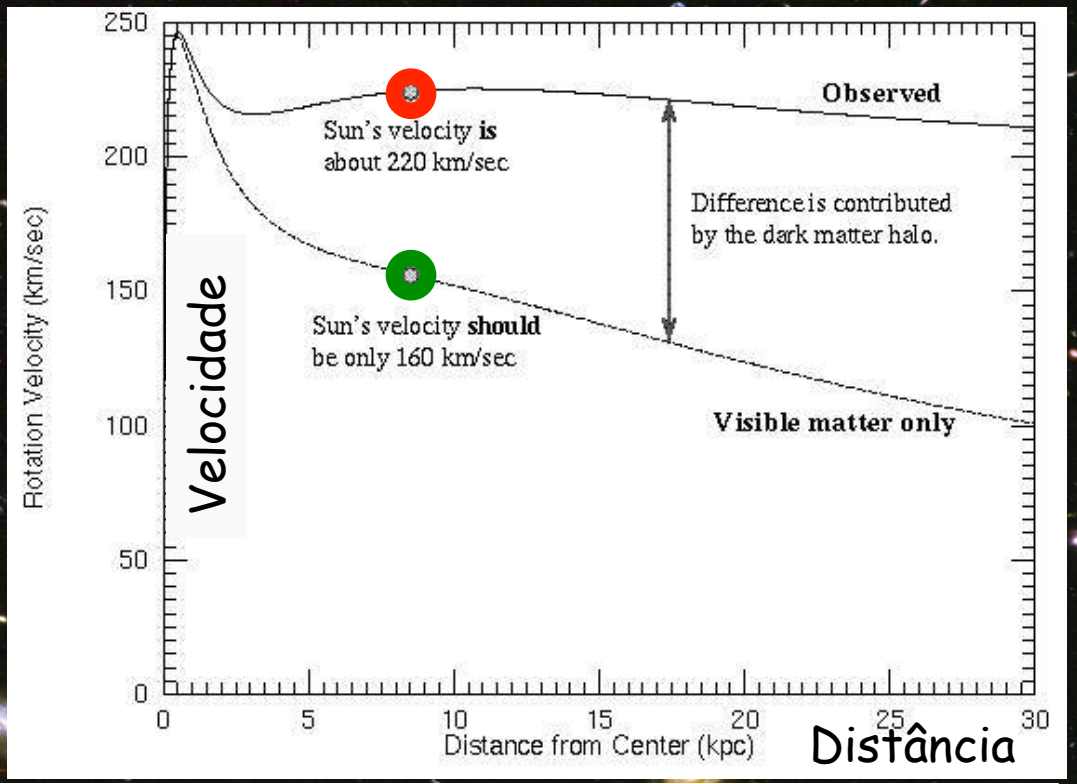


©A.De Angelis

Maior fracção de massa não brilha! O que será?!

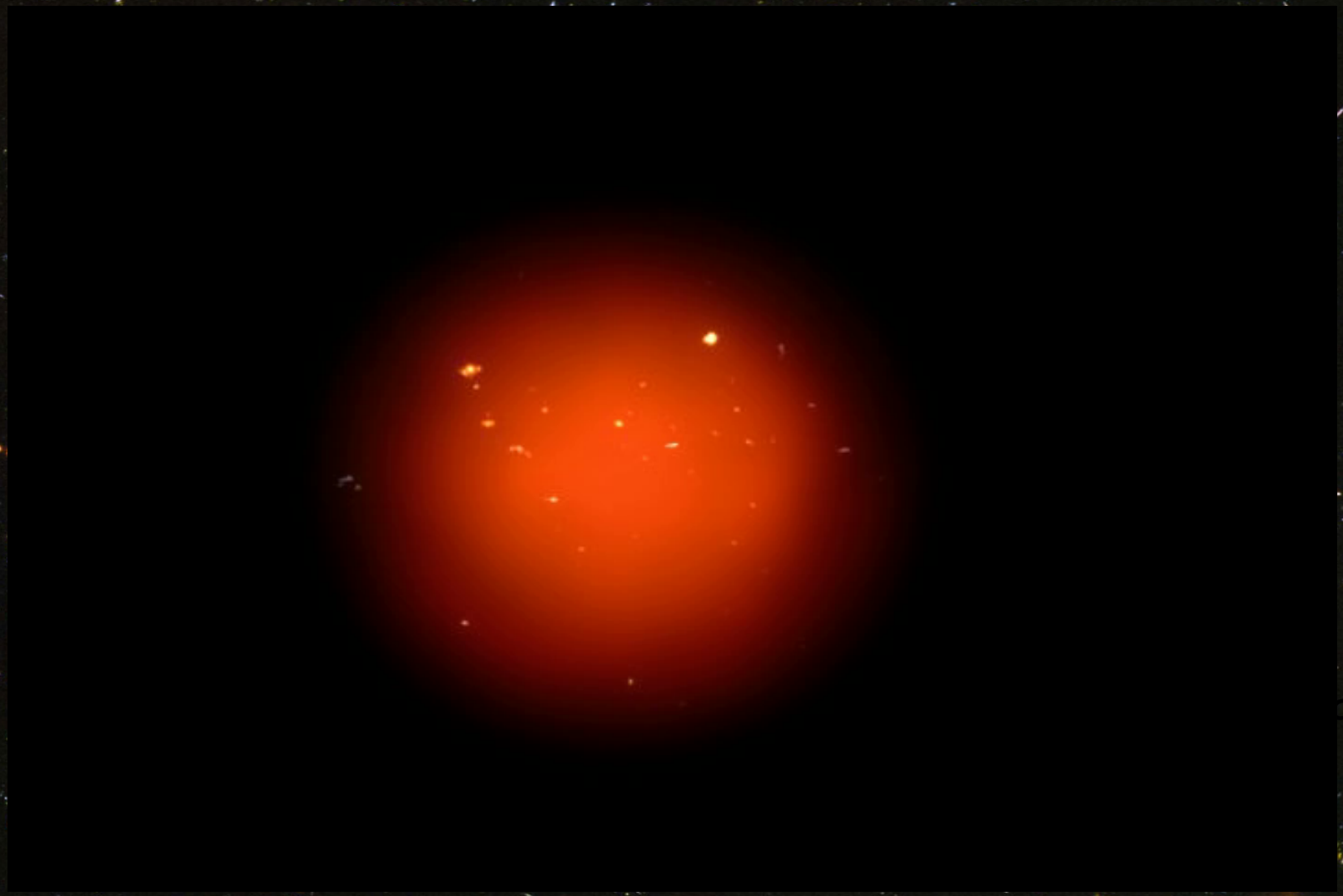
Matéria escura na Via Láctea!





- Distribuída na Galáxia, não agrupada!
- Nenhuma forma de matéria conhecida!

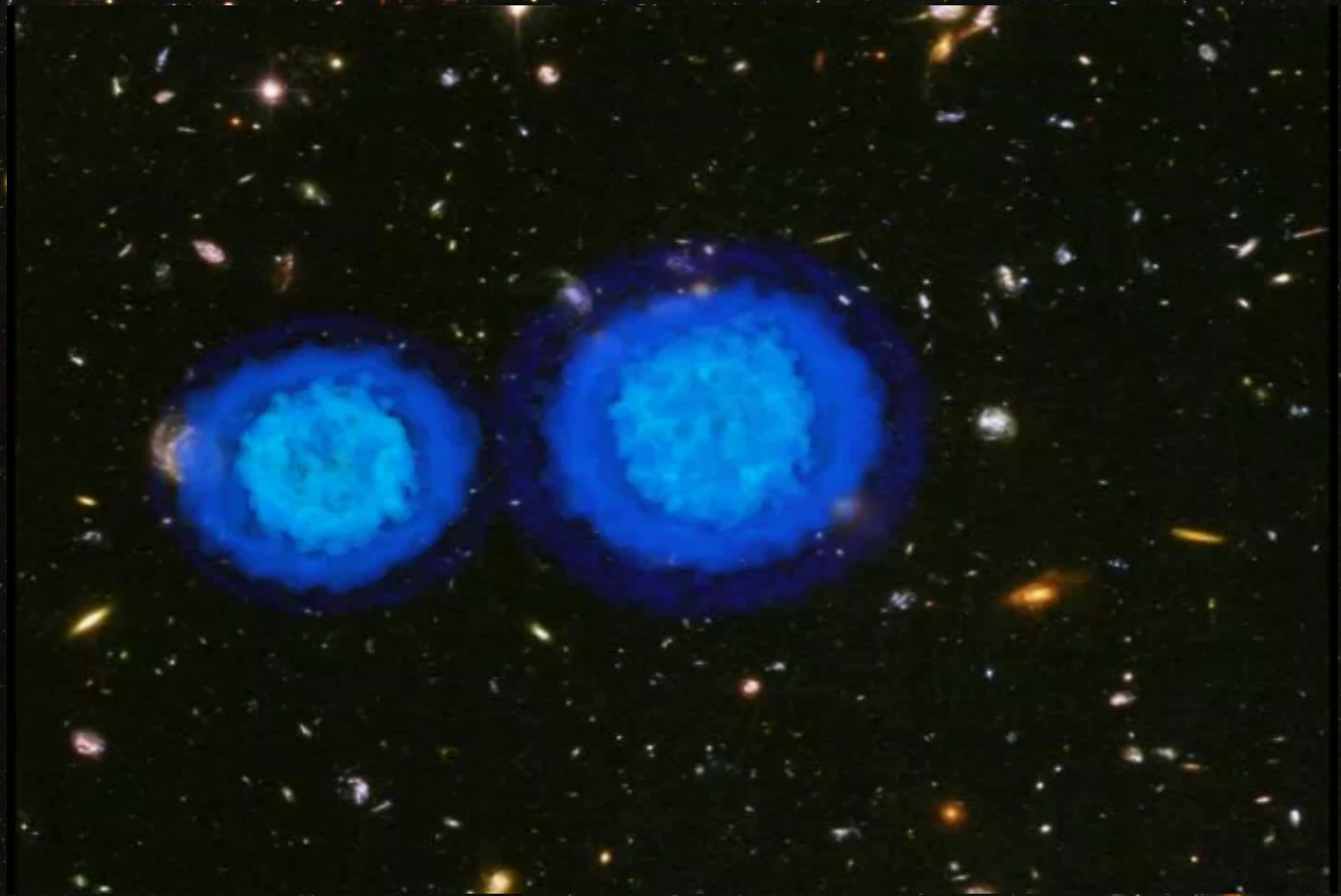
Matéria Escura
na colisão de Aglomerados de Galáxias



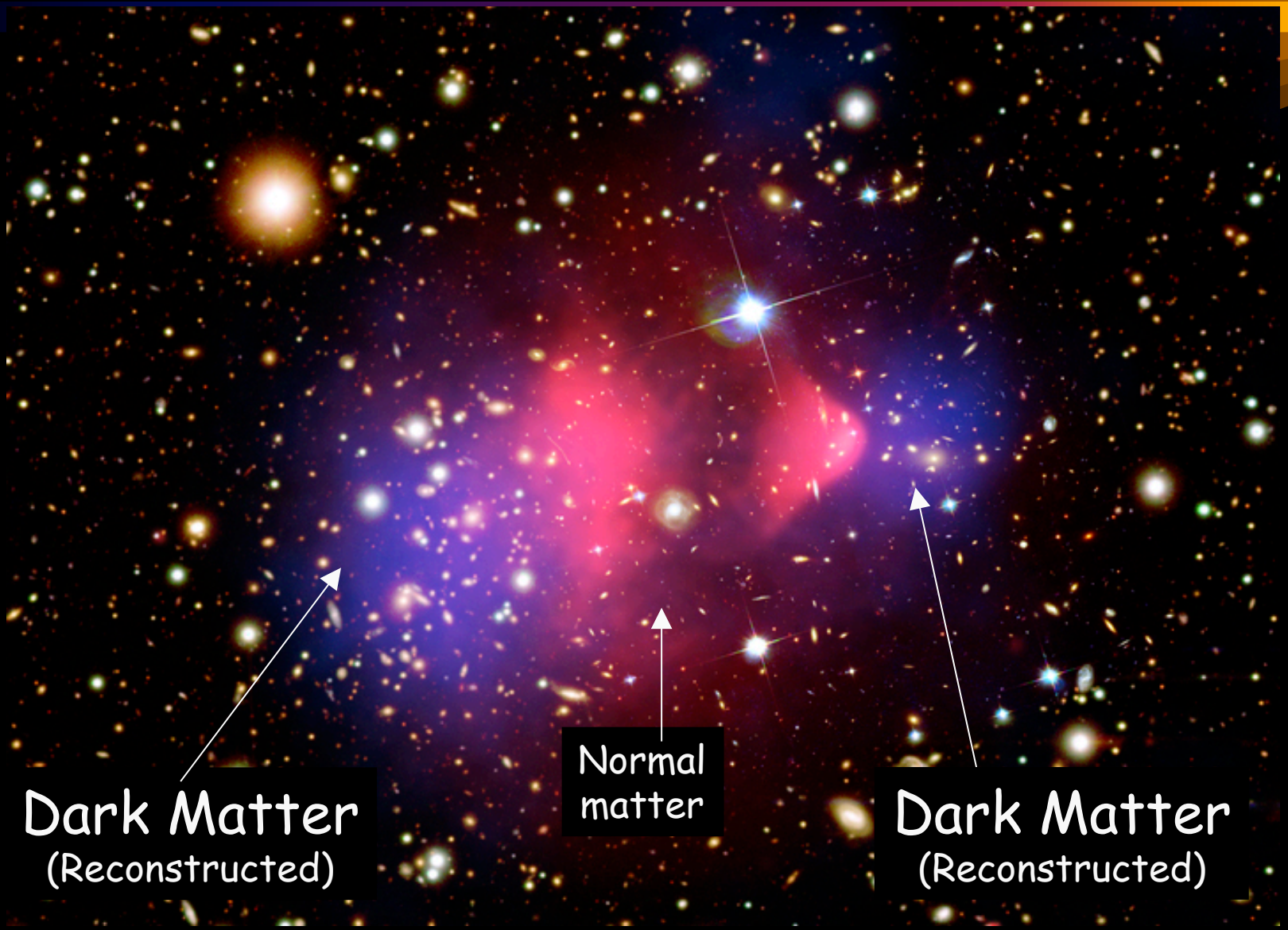
Matéria Escura na Colisão de Aglomerados de Galáxias

© CHANDRA X-RAY OBSERVATORY

A formação do Bullet Cluster



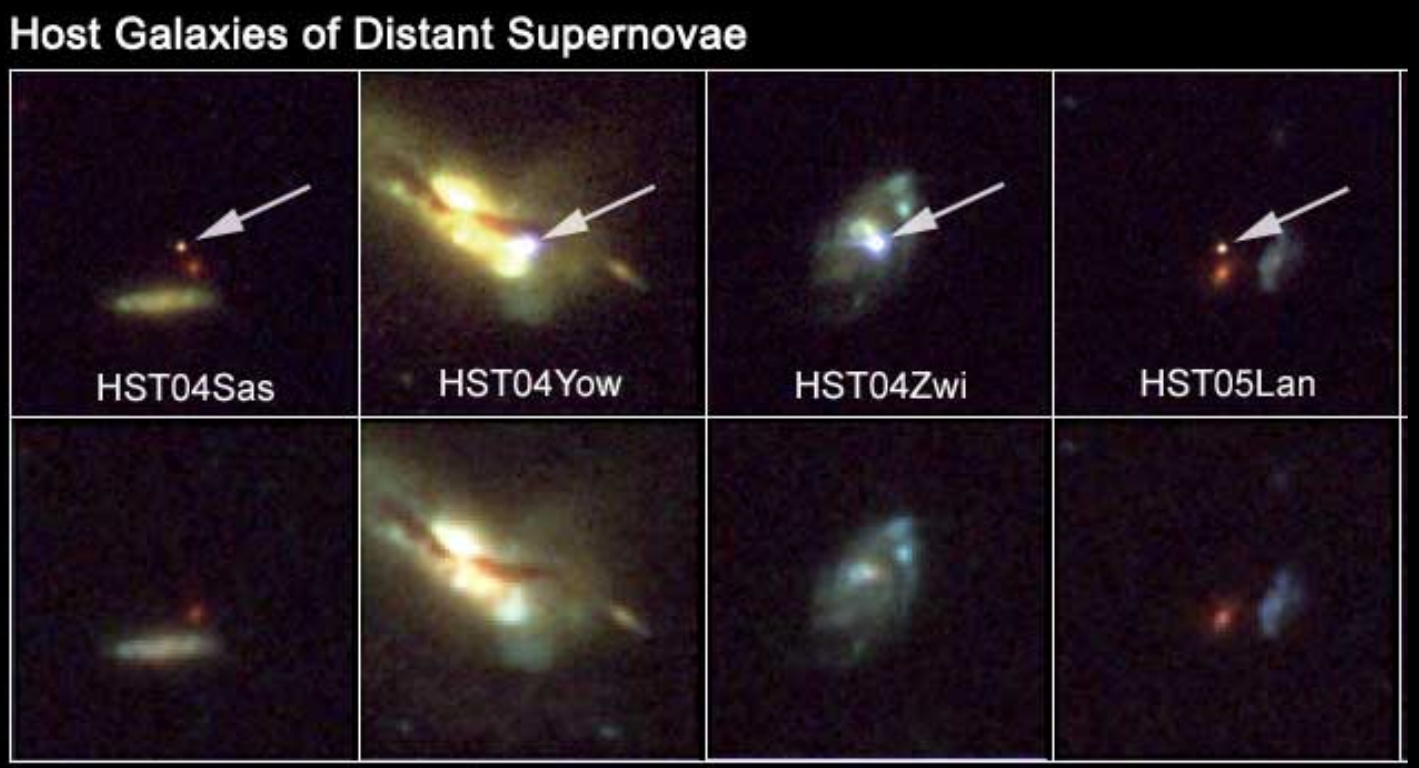
Matéria Escura na Colisão de Aglomerados de Galáxias

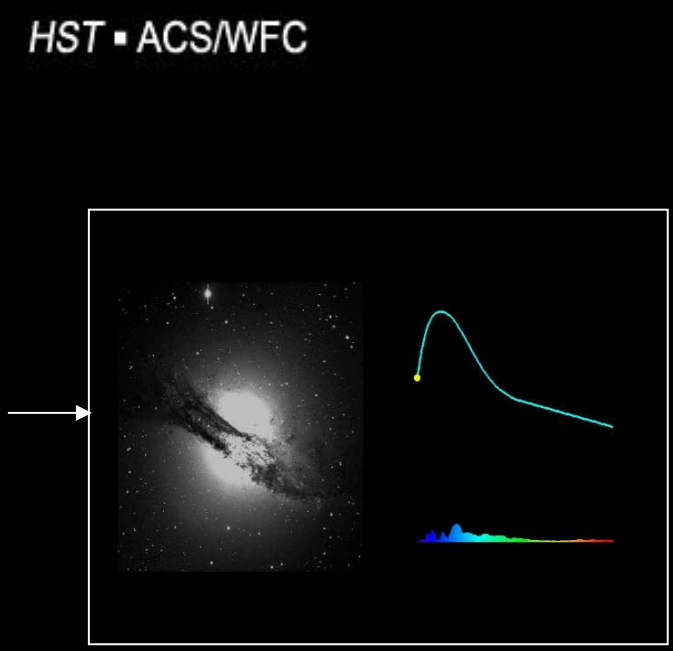


O Problema da 'Energia Escura'

Cientistas estudam supernovae distantes para medir a evolução da expansão do Universo.

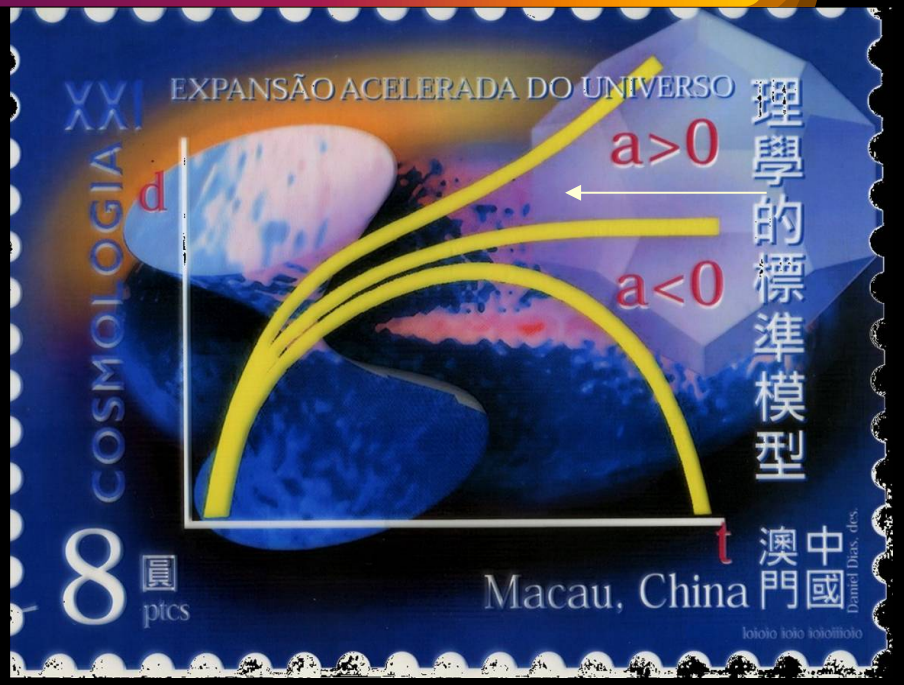
Esperavem que a taxa de expansão diminuísse desde o Big-Bang.





Oops…não está a diminuir!

- A Expansão do Universo está acelerando!!!

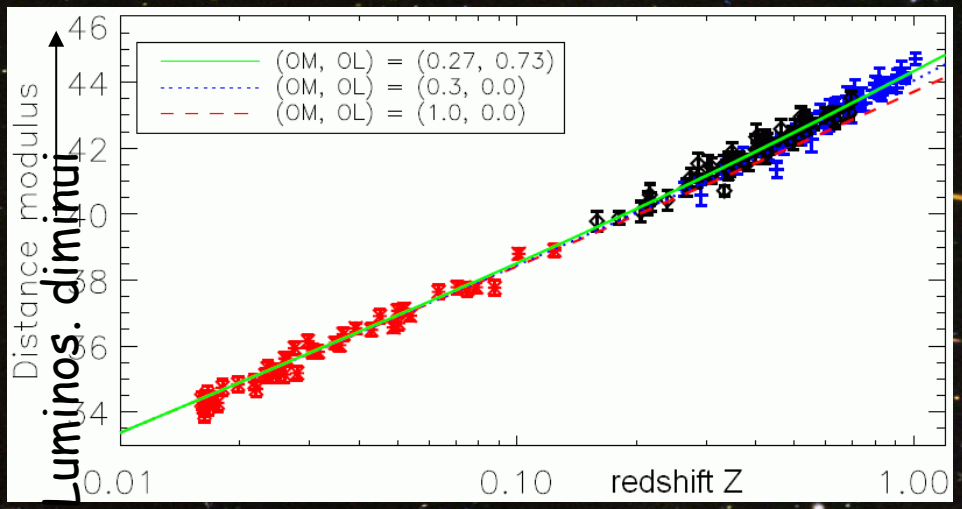


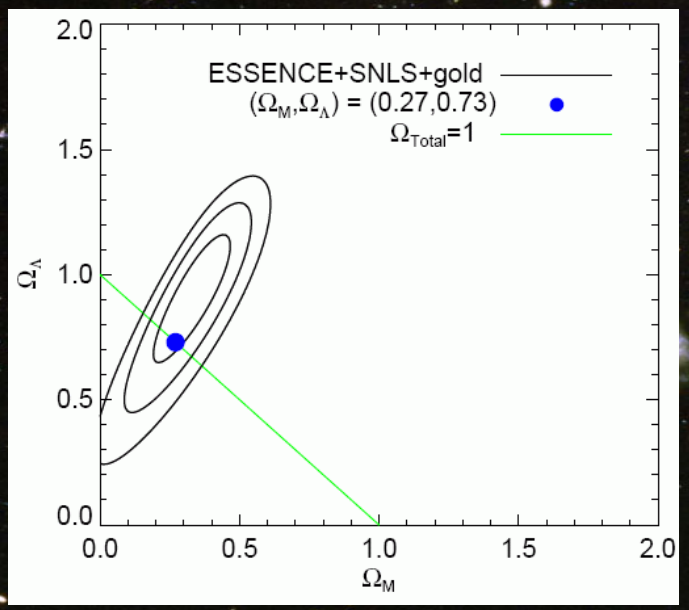
- Algo se está a sobrepôr à gravidade

- Cientistas chamam-lhe 'Energia Escura'

...socorro!!!

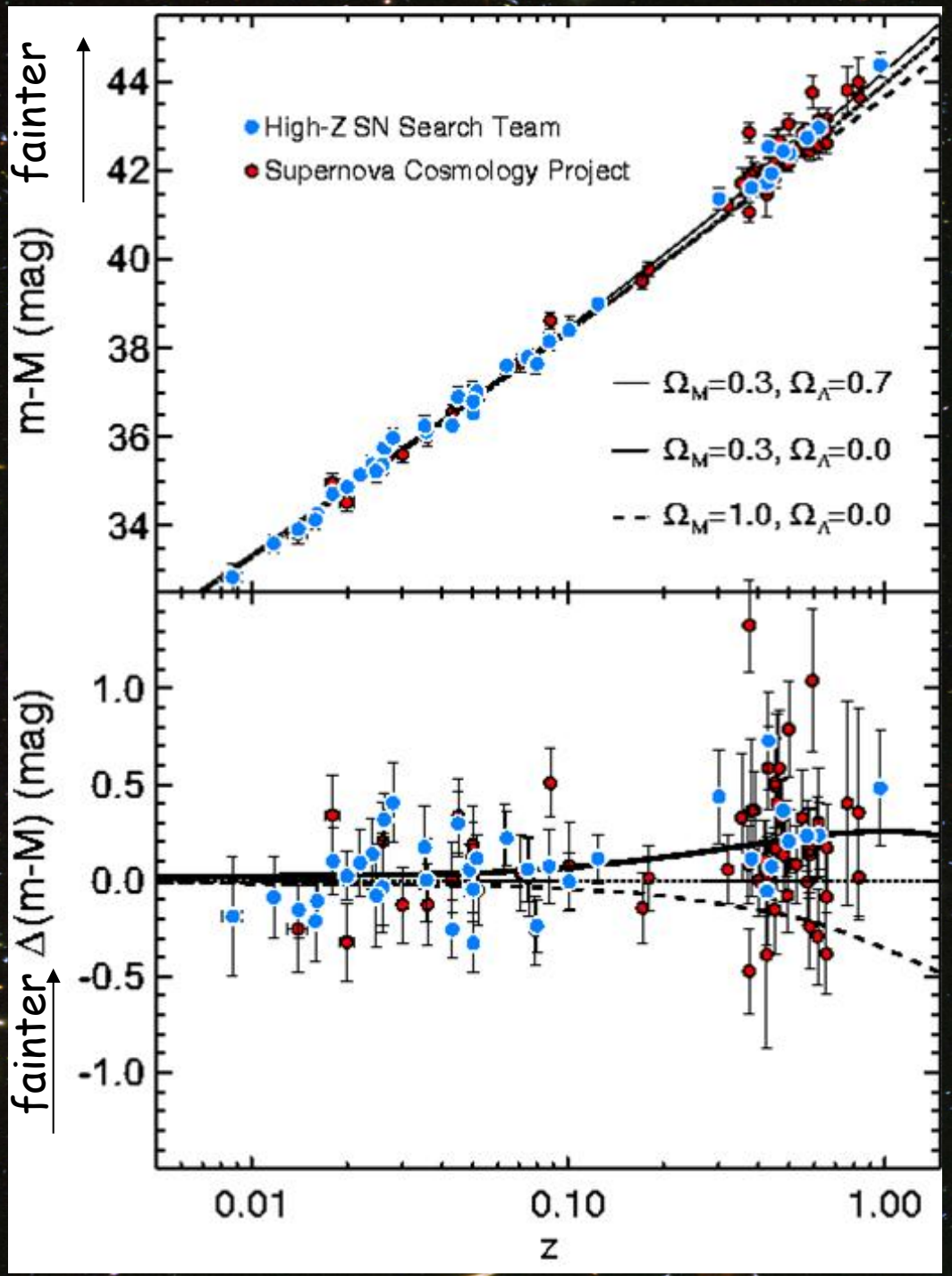
E mais recentemente:



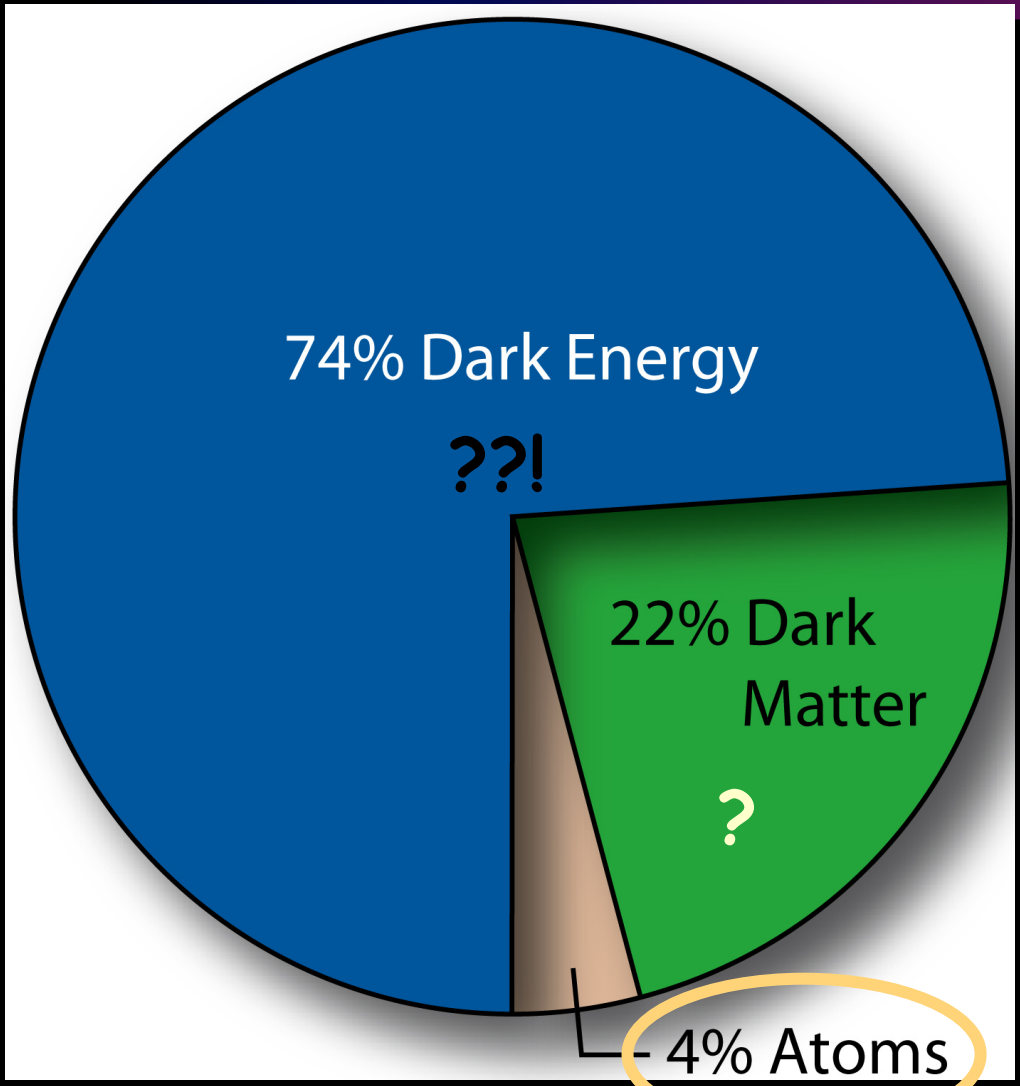


Densidade Não-Matéria .vs. Densidade Matéria

s/ efeito



De que é que feito o Universo?!



Como poderá LHC ajudar?

- Encontrar **Supersimmetria**, se existir: o melhor candidato para a Matéria Escura será a partícula supersimétrica mais leve, estável e produzida em grandes quantidades no Big Bang

- Encontrando **W**eakly **I**nteractive **M**assive **P**articles, que se existirem em grandes quantidades = Matéria Escura

- Encontrando dimensões extra (>=5D), etc!

Conclusões

Partículas Elementares

A Origem da massa

- Espectro de massas, famílias
- Massa dos neutrinos
- Massa e simetria de gauge
- Mecanismo de Higgs

A Unificação das Interacções

- Grande unificação
- Decaimento do protão
- Supersimetria
- Gravitação e supercordas

Violação de CP

Cosmologia

A Expansão do Universo

- Big-Bang
- Nucleosíntese primordial
- Radiação Cósmica de Fundo

Inflação ? Teorias VSL ?

- Homogeneidade
- $\Omega \sim 1$

Matéria Escura/Energia escura

Buracos Negros

Assimetria matéria-antimatéria

Obrigado pela vossa atenção!

EXPANSÃO DO UNIVERSO!

Friedmann escreveu a evolução do Universo em função da escala a(t)

$$r_{AB}(t) = a(t)x_{AB}$$

As suas equações relacionam a densidade média "ρ" e a curvatura *K* com a taxa de expansão da escala:

$$(\frac{1}{a}\frac{da}{dt})^2 = \frac{8\pi G}{3}\bar{\rho} - \frac{K}{a^2}$$