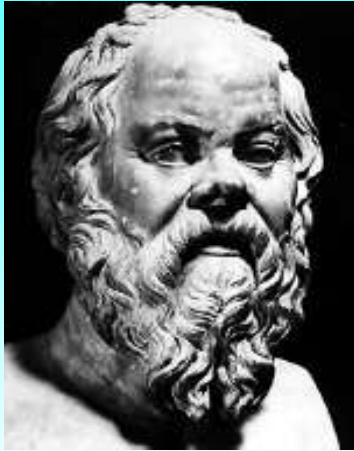


O DESENVOLVIMENTO DA COSMOLOGIA : DOS GREGOS AO SÉCULO XXI

J. A. S. LIMA (**IAG-USP**)

SUMÁRIO

- ✓ **COSMOLOGIA ANTIGA**
- ✓ **RENASCENTISTA**
- ✓ **MODERNA**
- ✓ **MATÉRIA ESCURA E QUINTESSÊNCIA**
- ✓ **COMPOSIÇÃO DO UNIVERSO**
- ✓ **CONCLUSÃO**



FILOSOFIA E COSMOLOGIA GREGA

Sócrates (469-399 A.C.)

Pré-Socráticos (Physikoi): Tales, Heráclito, Pitágoras, Parmênides, Zenão, Empédocles, Filolau, Anaxágoras, Diogênes...

Tales (624-546 A.C.): Água é o elemento básico!

Empedócles : Água, ar, terra e fogo (4)

Filolau e Outros : 4 + Quintessência ou Éter

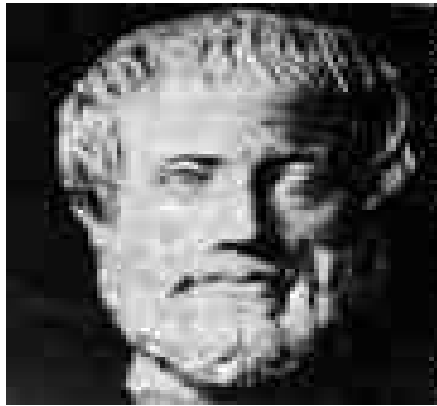
3 COSMÓLOGOS DA ANTIGUIDADE

COSMOS = SISTEMA SOLAR + ESTRELAS

Eudóxio (408-355 a. C.): Modelo com 33 esferas girando em torno da Terra estacionária.

Aristóteles (384-322 a. C.): Modelo com 55 esferas
Imutabilidade do Céu, Quintêssencia..etc

Ptolomeu (140 d. C.): Sistema Geocêntrico
Aperfeiçoou o modelo dos Epículos, Equantes, Deferentes..etc.



Aristóteles (384 – 322 a. C.)

Maior Figura da Ciência Grega

Política, Ética, História, Biologia, Lógica !

Proposições Cosmológicas:

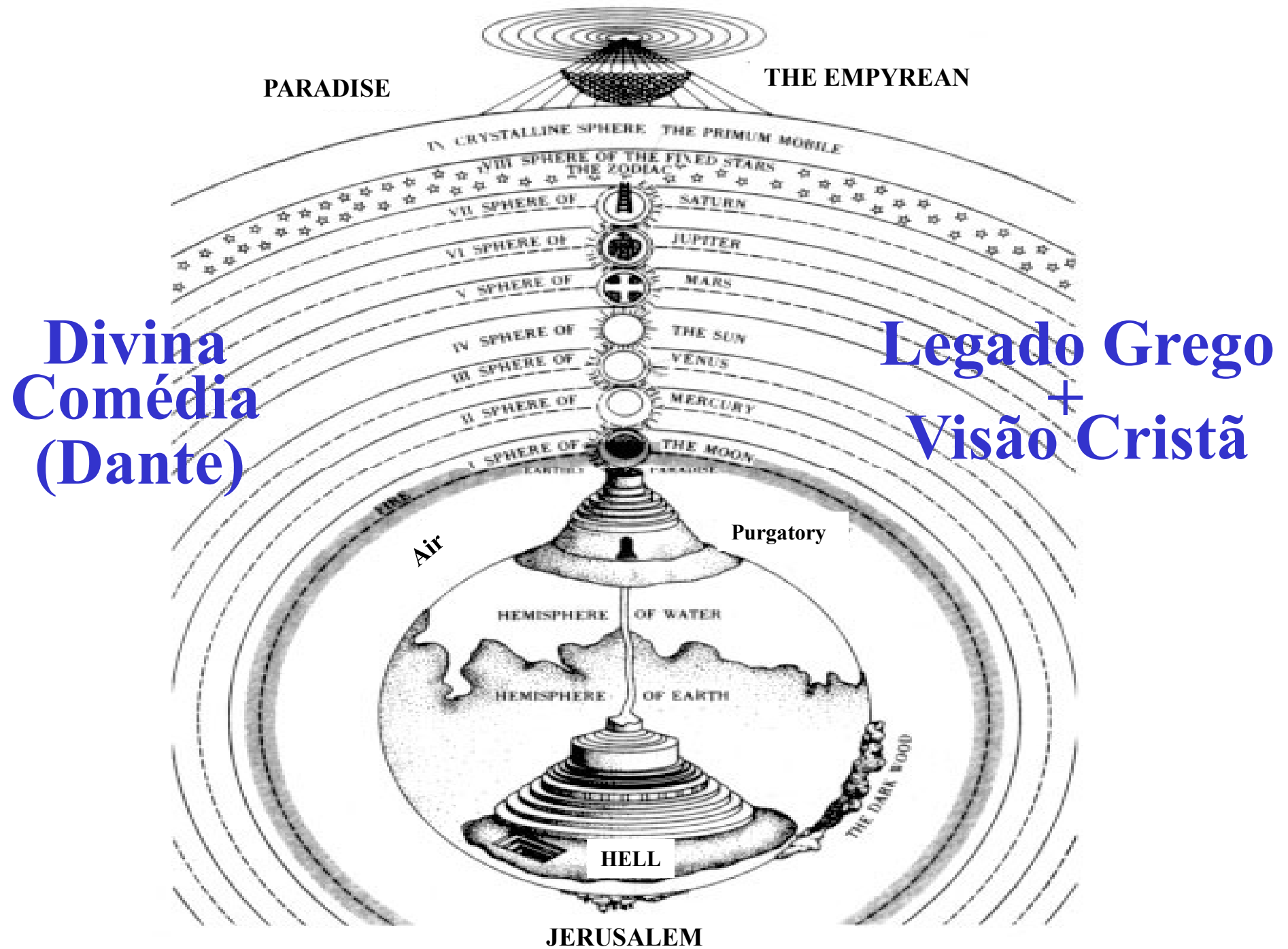
- ★ **O Universo é Finito, Esférico e Limitado pela Esfera das Estrelas**
- ★ **O Centro do Universo é a Terra esférica e Imóvel**
- ★ **Cada Planeta e também a Lua tem a sua própria esfera**

Não existe vácuo, nem tempo fora do Céu !

5 elementos: Água, Ar, Terra, Fogo e Éter (**Quintessência**)

Quintessência é a matéria dos corpos celestes.

Geocentrismo: Modelo Cosmológico
Padrão para os próximos 1500 Anos !



A esfera das estrelas é finita e movida por um motor divino e por atrito o movimento se transmite para as outras esferas (Contigüidade das esferas)



**PORQUE A EXISTÊNCIA DO 5o.
ELEMENTO OU QUINTESSÊNCIA
FOI PROPOSTA PELOS GREGOS?**

**R. Porque a Lua parecia pesada e não
se movia para o centro da terra!
(tudo que é pesado cai!)**

**Podemos dizer que a Quintessência foi
introduzida para resolver um problema
de aceleração!**

COSMOLOGIA RENASCENTISTA

Copérnico (1473-1543): Sistema Heliocêntrico

Tycho Brahe (1546-1601): Precisão nas observações astronômicas

COSMOS ?

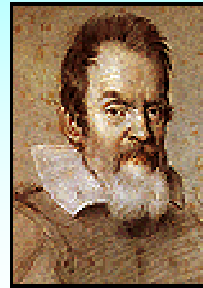
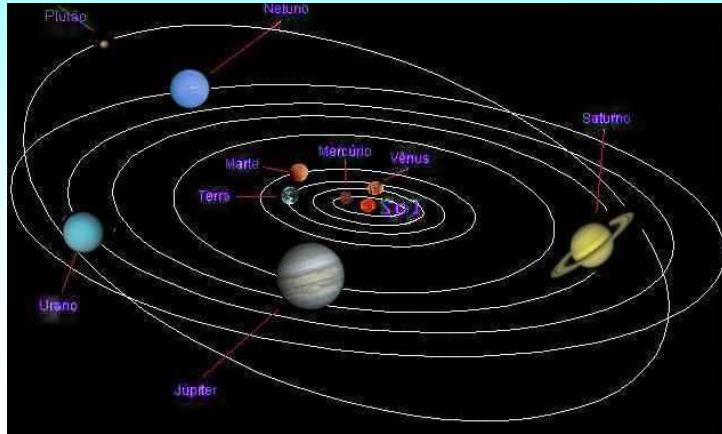
Giordano Bruno(1548-1600): Defendia a Infinitude do Universo. A Terra não era o centro.

“Outros Universos”



KEPLER (1571-1630)

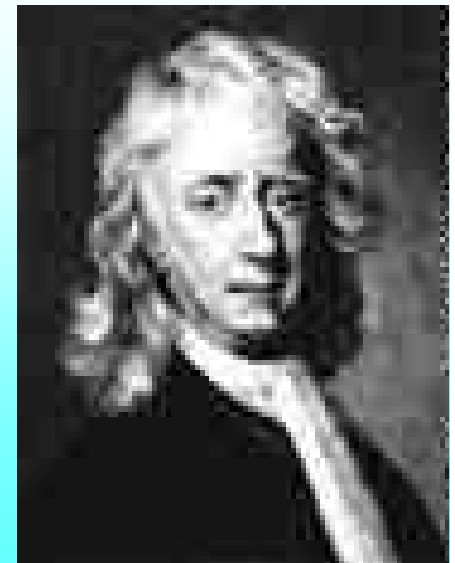
Leis empíricas do movimento planetário



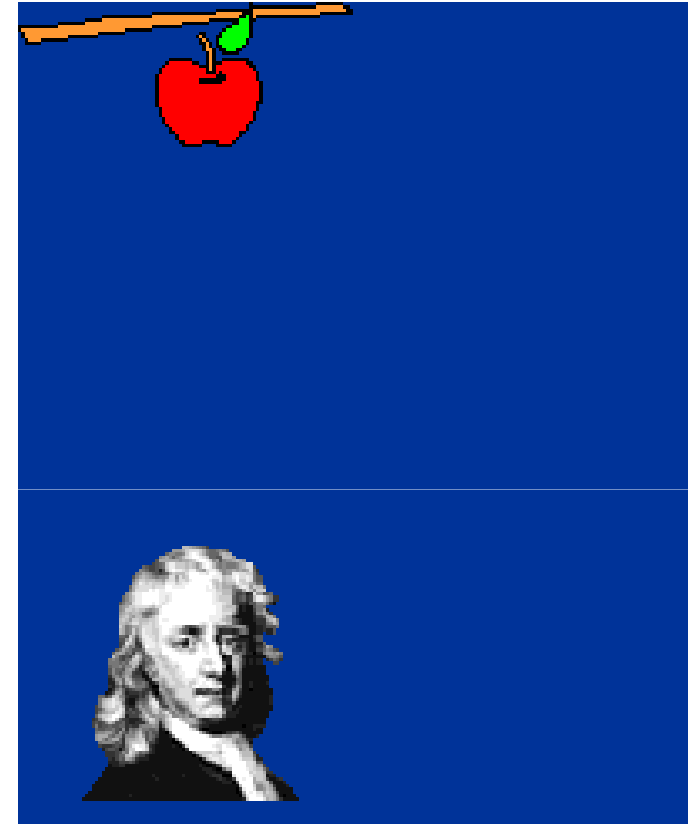
GALILEU(1564-1642)
Defesa da Cosmologia
Copernicana (LUNETTA)

NEWTON (1642-1727): Gravitação Universal

Cosmologia Newtoniana (1692): “O Universo deve consistir de uma imensa quantidade de massas separadas por grandes distâncias, isto é, o Universo é infinito (Euclidiano) com a matéria concentrada em partes devido a atração gravitacional”



- **Três Leis do Movimento mais a Lei da Gravitação explicam os fenômenos mais diversos**
- **Movimento dos planetas em torno do Sol**
 - **Órbita dos cometas**
 - **Queda dos corpos, Marés, etc.**
- **Resolve a maior parte dos problemas em astronomia e física “terrestre”.**



As leis de Newton unificam e generalizam os trabalhos de Copérnico, Tycho Brahe, Kepler e Galileu.

COSMOLOGIA NO SÉC. XX



**DESCOBERTA DA
EXTENSÃO DO
UNIVERSO E SUA
COMPLEXIDADE!**

COSMOLOGIA MODERNA

EINSTEIN

1917 Universo Estático

FRIEDMANN

1922 Modelo do Big-Bang

HUBBLE

1929 Expansão do Universo

PENZIAS-WILSON

1965 Radiação de 3 K

SUPERNOVAS

1998 Universo Acelerado

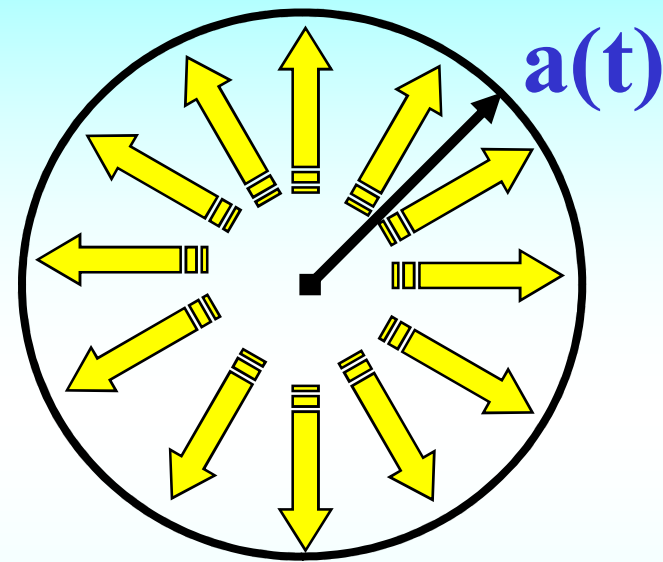
QUINTESSÊNCIA?

⋮ } Contemporâneo

A Expansão do Universo

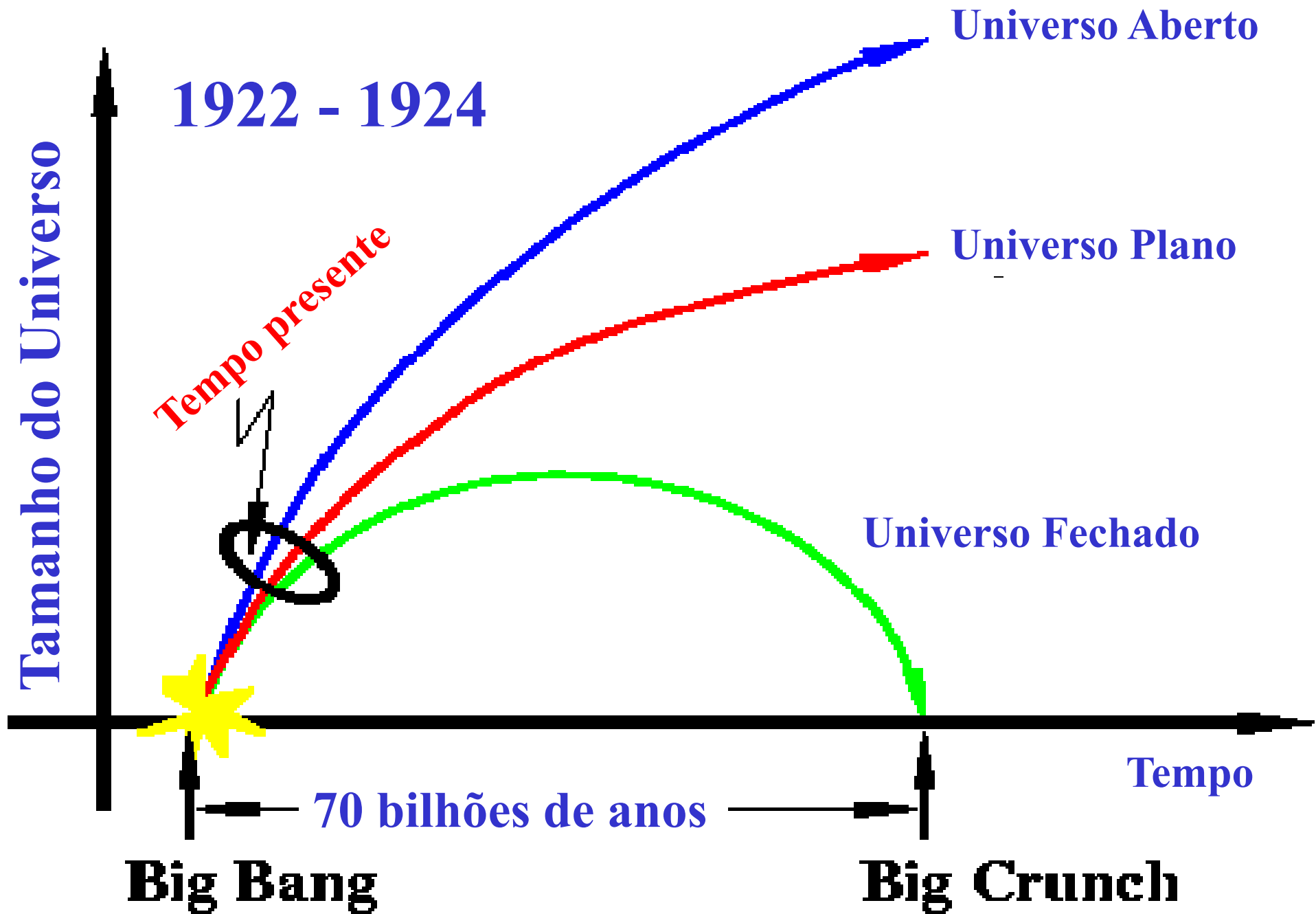
A. Friedmann

(1922-1924)

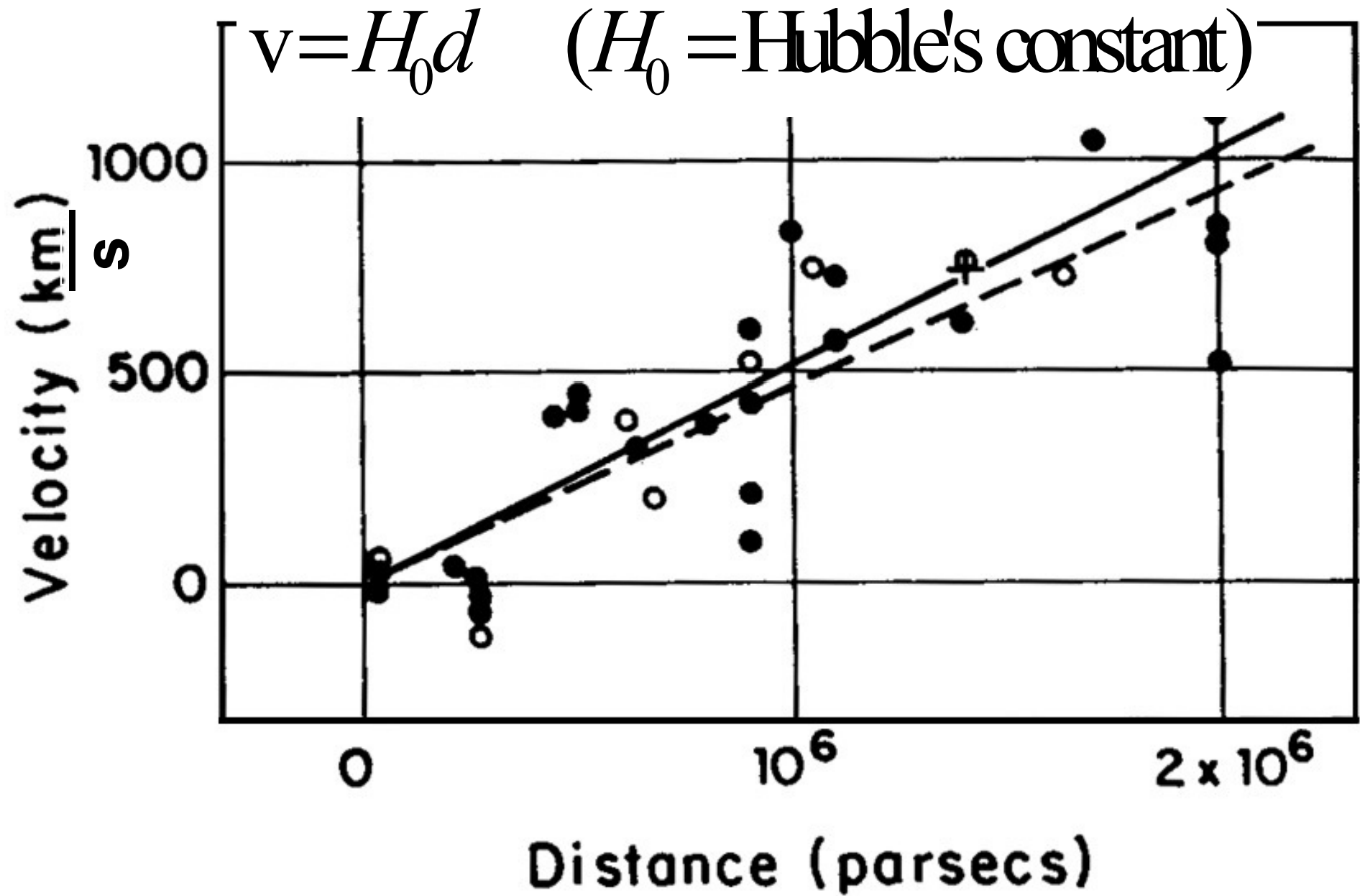


Volume: $V(t) \propto a^3$

Temperatura: $T(t) \propto a^{-1}$



HUBBLE - 1929



O UNIVERSO OBSERVADO

- **Parâmetros Cosmológicos Básicos:**

H_0 $\longrightarrow$ **Parâmetro de Hubble**

q_0 $\longrightarrow$ **Parâmetro de desaceleração**

Ω_i $\longrightarrow$ **Parâmetro de Densidade**

(Ω_{ME} , Ω_B , Ω_γ , Ω_ν , Ω_Q , Ω_{total} , ...)

Matéria Escura ?

PROBLEMAS NA COSMOLOGIA

Universo de 3 componentes (até os anos 70)

1) Matéria Normal (elétrons e Prótons

2) Radiação (RCF)

3) Neutrinos

+ 2 componentes estranhas!

✓ **MATÉRIA ESCURA (1933 -)**

✓ **QUINTESSÊNCIA (1998 -**

MATÉRIA ESCURA: As medidas das massas das galáxias (através das curvas de rotação) indicam a existência de uma enorme quantidade de matéria não-luminosa !

$$\rho_{\text{ME}} \cong 100\rho_{\text{LUM}}$$

Como sabemos disso? Medindo a massa das galáxias.
A massa medida não coincide com a massa luminosa!

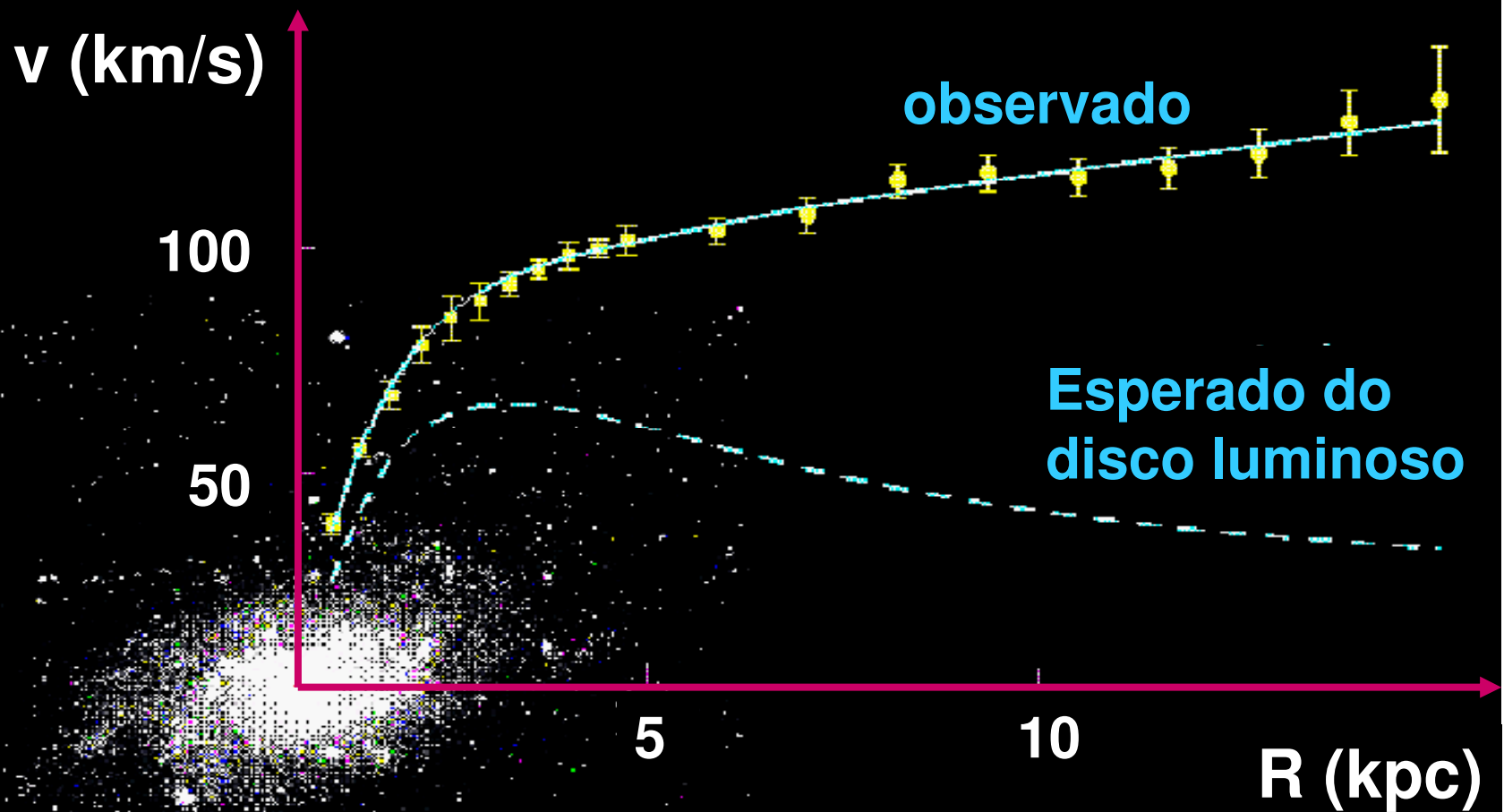
$$\frac{GM(r)m}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$

M = constante



Lei Kepleriana

MATÉRIA ESCURA ?



Curva de rotação da M33

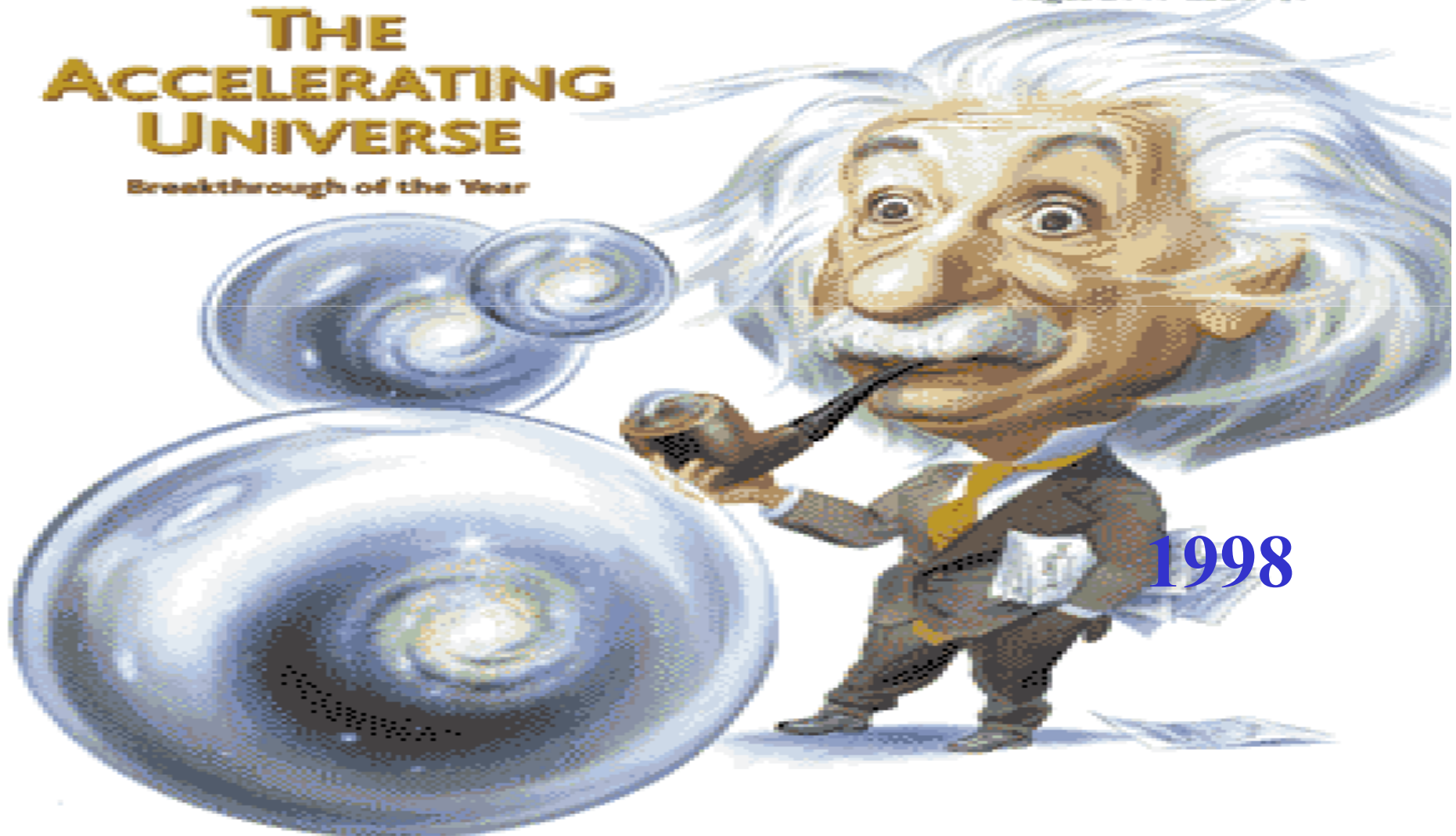
18 December 1998

Science

Vol. 282 No. 5397
Pages 2141-2336 \$7

THE ACCELERATING UNIVERSE

Breakthrough of the Year



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

DISTÂNCIA COM SUPERNOVAS

A deep-field astronomical image showing a galaxy with a bright, glowing core. A distinct, smaller bright spot is visible in the lower-left quadrant of the galaxy's field of view. The background is dark with some faint, scattered light.

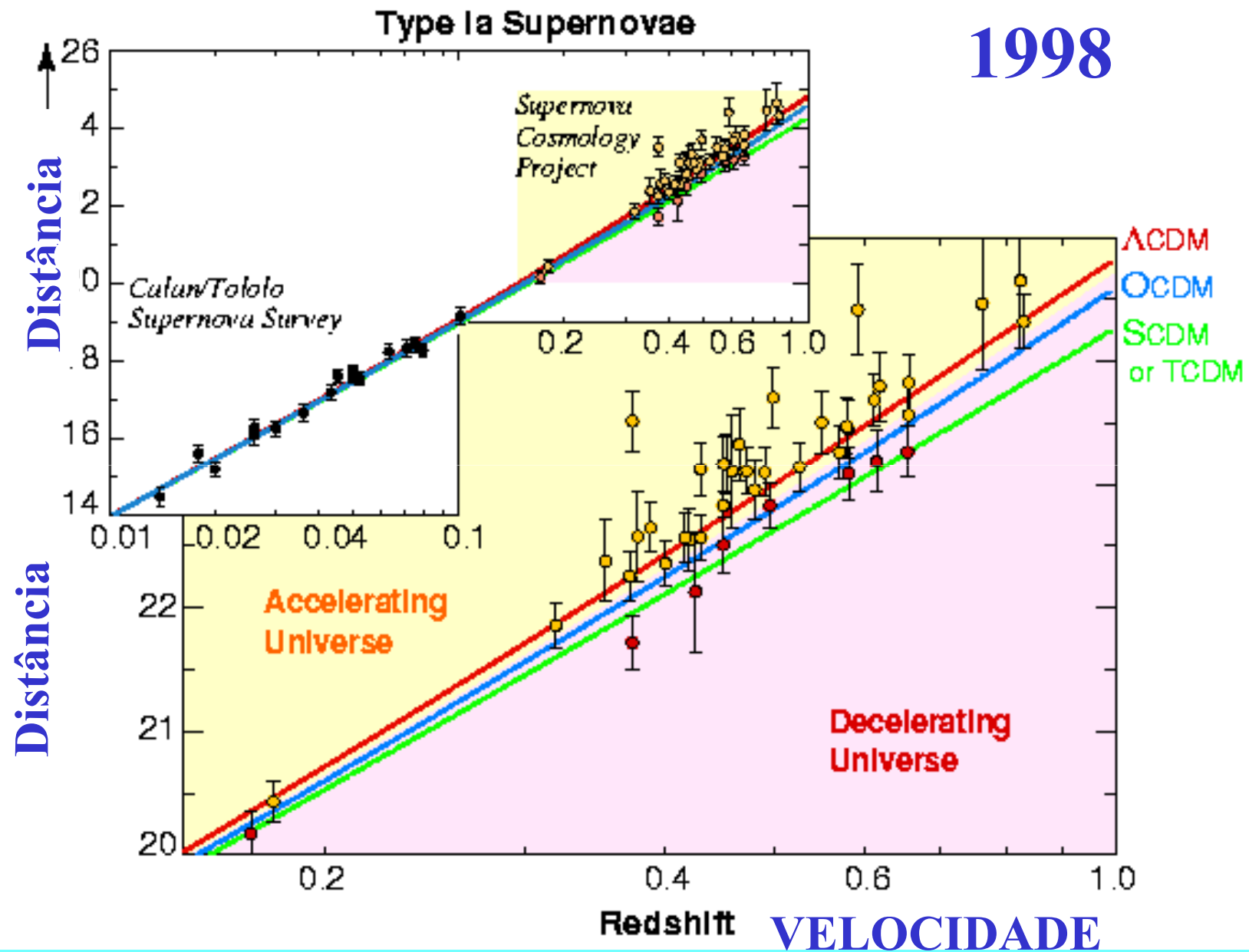
SN 1994D (HST)

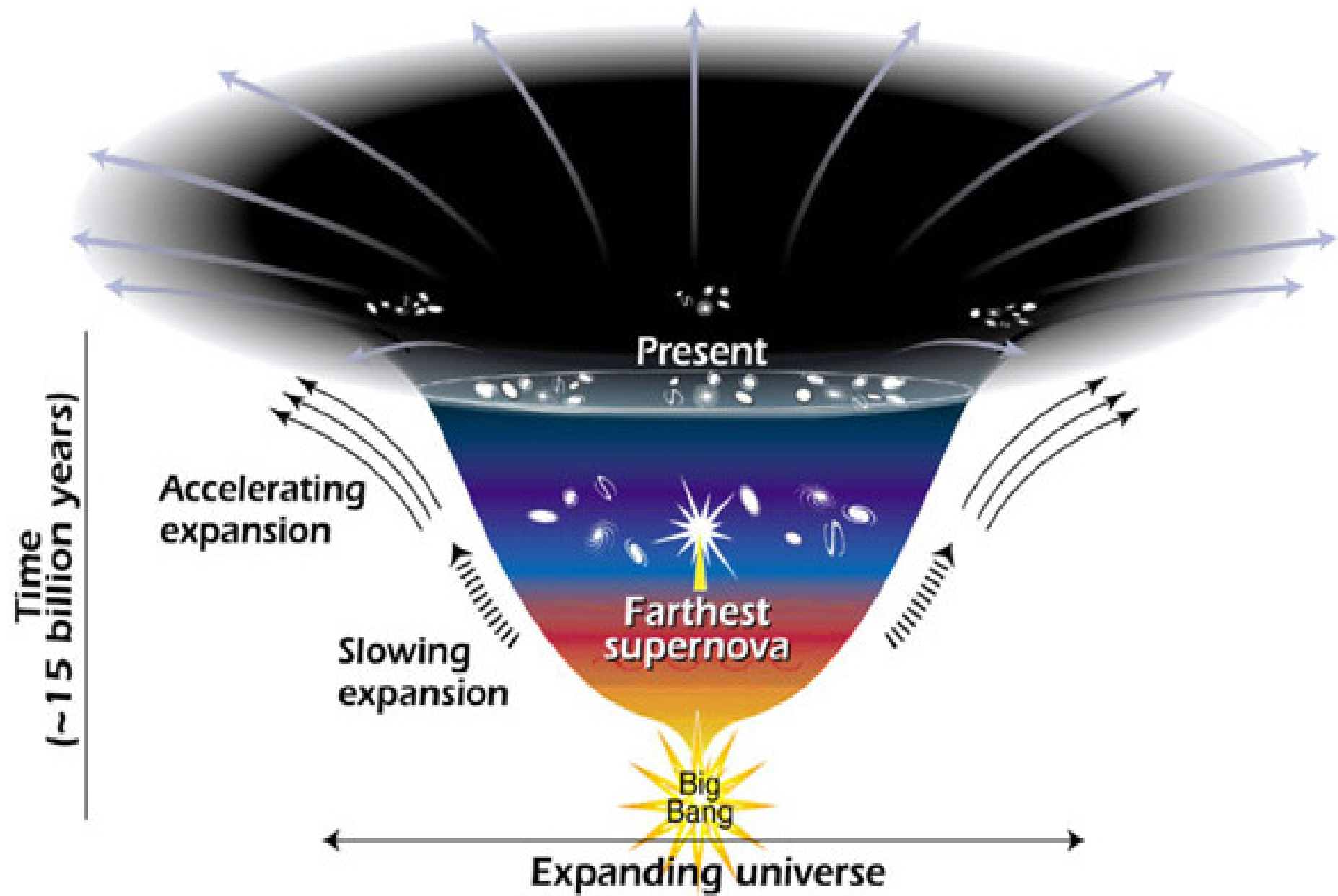
DISTÂNCIA COM SUPERNOVAS

VANTAGENS:

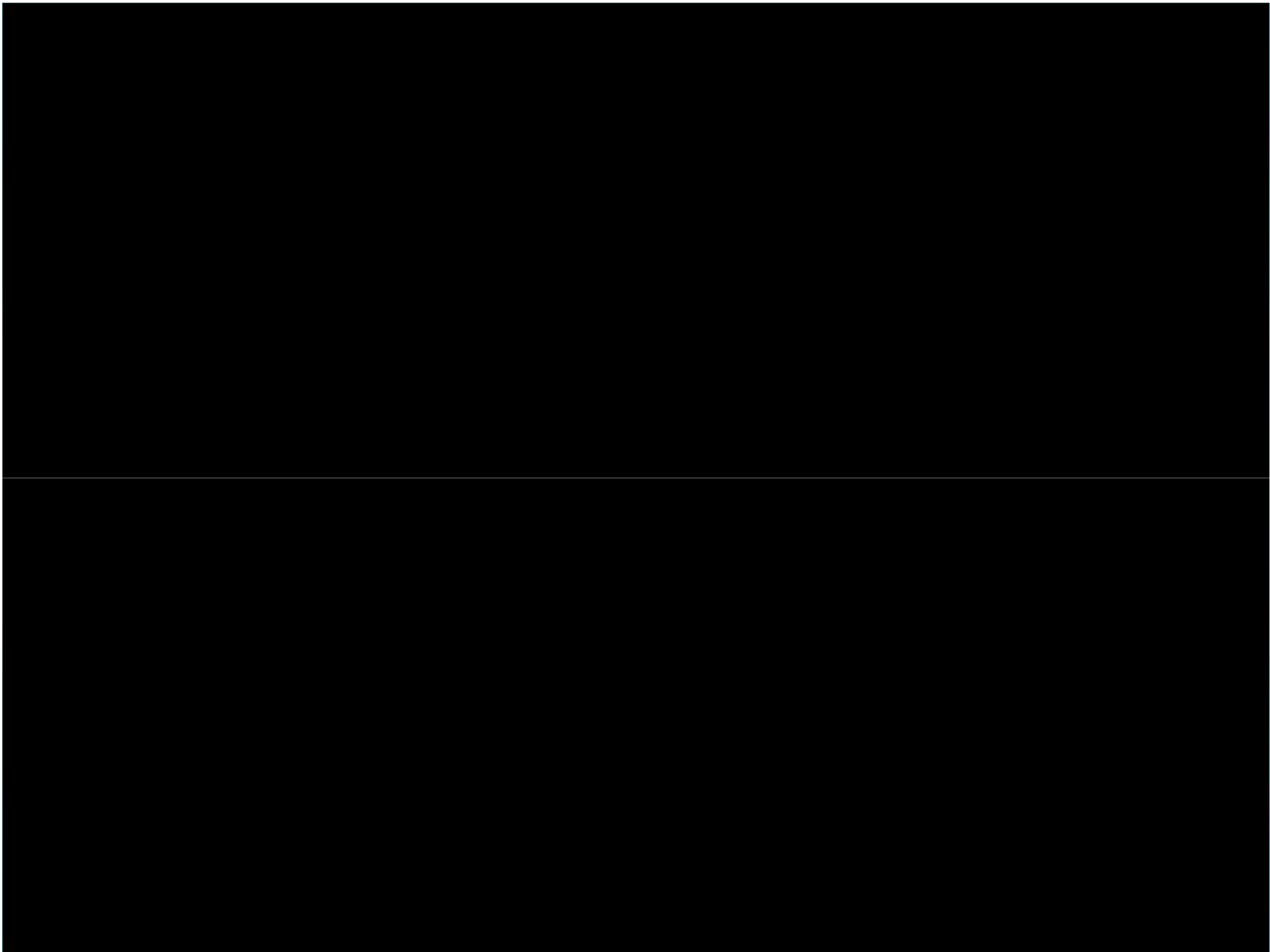
- SNe são **“Bolas de Luz”** ! $L_{\text{SNe}} \cong 10^{10} L_{\text{Sol}}$
- Baixa Dispersão ($\lesssim 0.3 M_{\text{ag}}$)
- Curva de Luz determina **L** com precisão
- Evolução é Desprezível
- Excelentes **“Velas Padrões”**
- Ideais para estimar parâmetros cósmicos!

1998



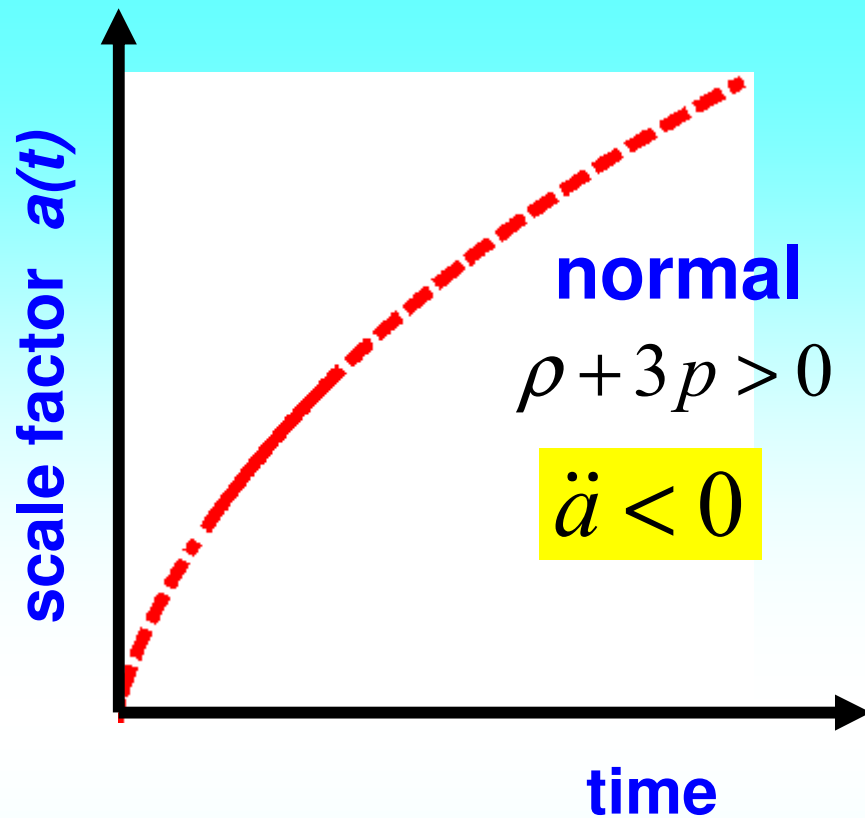


Visão Presente



O QUE ACELERA O UNIVERSO ?

- **Matéria Normal** implica desaceleração.
Gravidade é atrativa!
- Pressão Negativa acelera o Universo.
(EFEITO RELATIVÍSTICO!)
- **Quintessência:**
A densidade de energia é positiva,
mas a pressão é negativa.

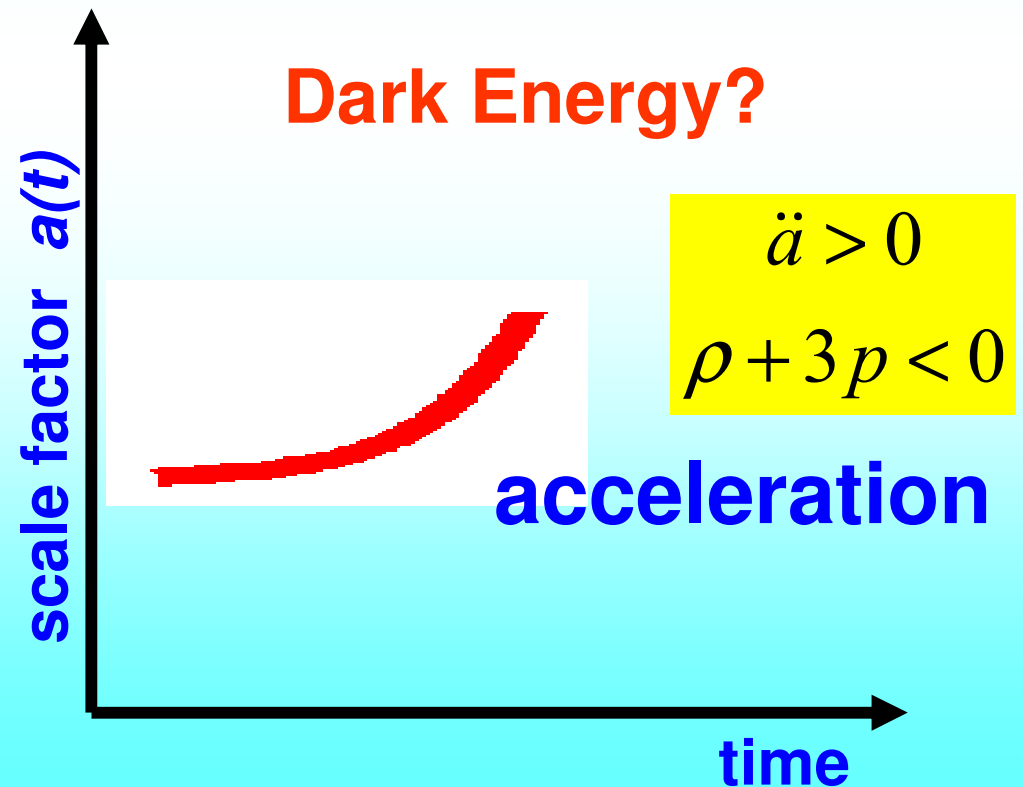


**Pressão
Negativa!**

Newton

$$\ddot{a} \propto -G (\rho + 3p) a$$

Einstein



CANDIDATES

1. COSMOLOGICAL CONSTANT (Λ)

2. SCALAR FIELD: $(\phi, V(\phi))$

3. DECAYING VACUUM : $(\Lambda(t))$

4. X-MATTER : $P_x = w\rho_x$ ($w < 0$)

5. CHAPLYGIN GAS :

$$P_c = -\frac{A}{\rho^\alpha}$$

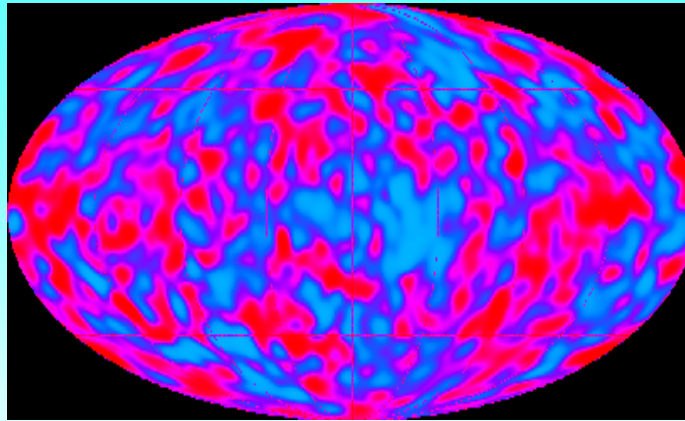
$(A, \alpha > 0)$



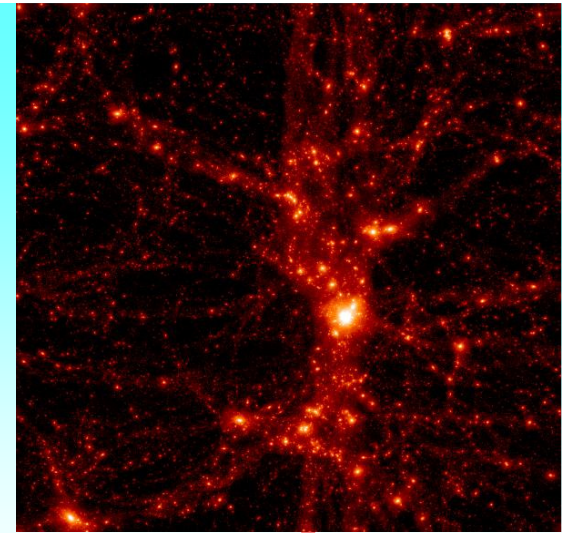
NATURE?



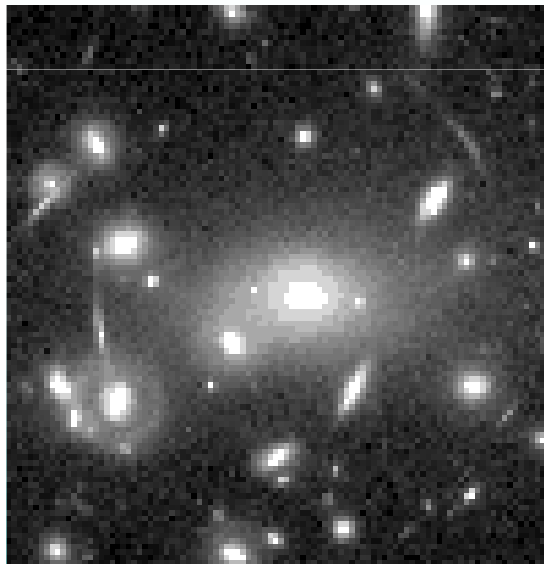
Sne Ia



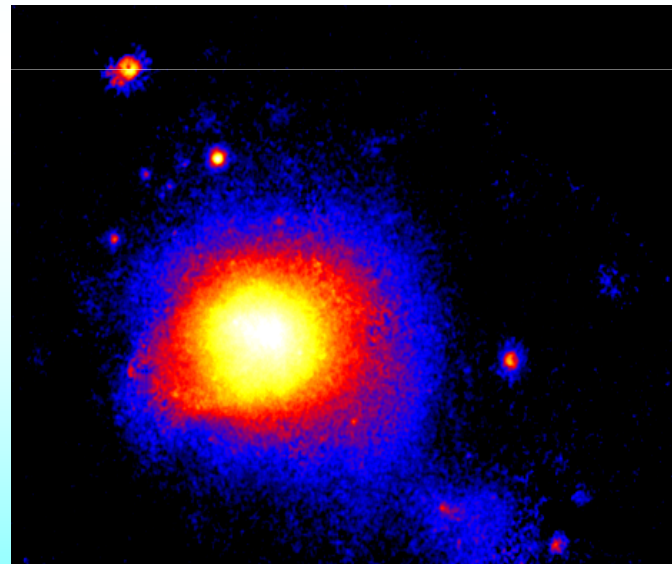
RCF



MATÉRIA



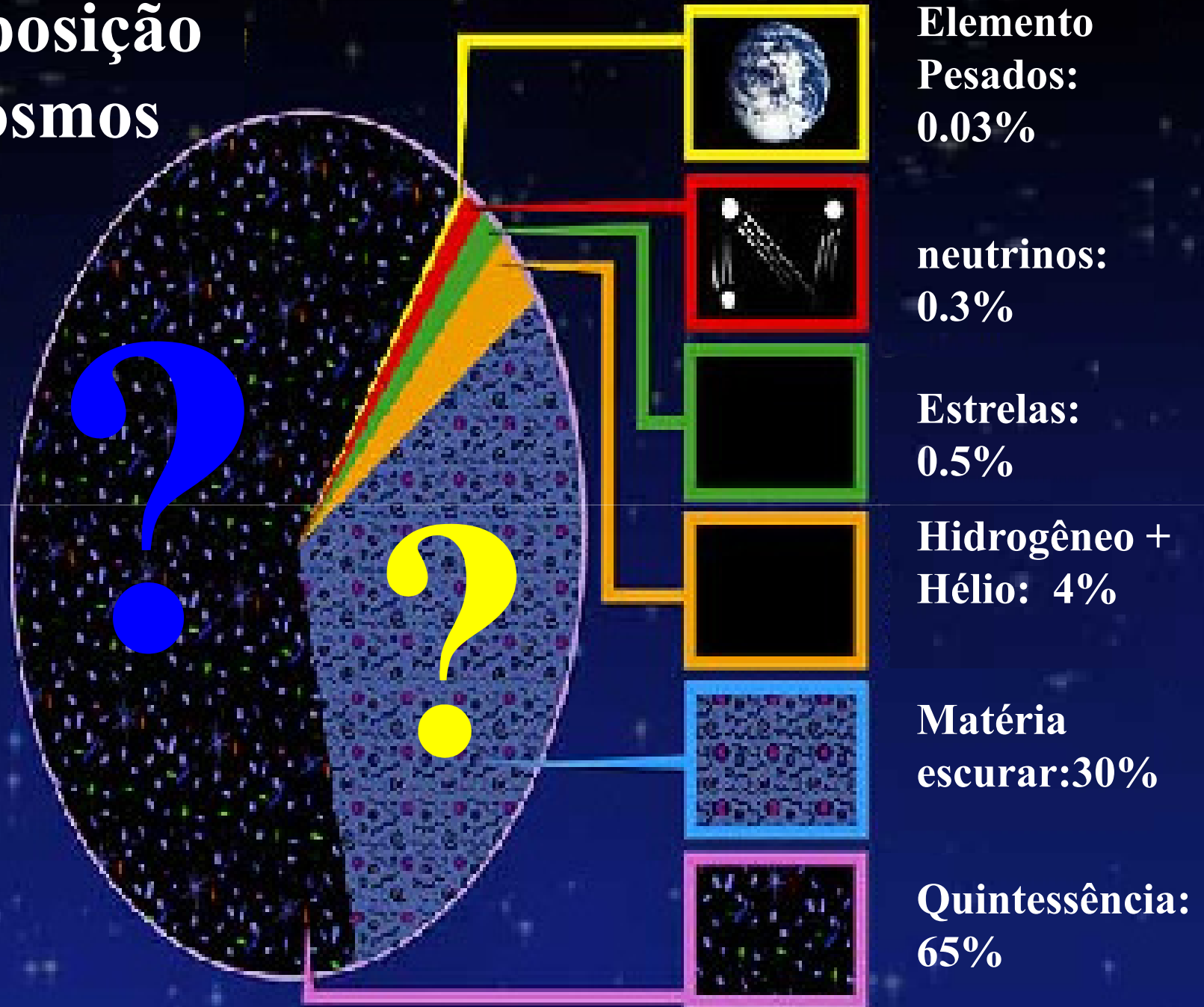
Lentes



Raios-X

→ { $Q \cong 65\%$
 $ME \cong 30\%$

Composição do Cosmos



CONCLUSÕES

Nossa visão do Universo mudou com a Física!

O universo está em expansão acelerada (1998)

- Supernovas é a melhor prova (outras evidências!)

Existem duas componentes desconhecidas:

Matéria Escura e Quintessência (Energia Escura)

Os gregos estavam parcialmente certos!

São 5 constituintes básicos:

**Fótons, Bárions, Neutrinos,
Matéria Escura e Quintessência!**

Supernova / Acceleration Probe

Studying the Dark Energy of the Universe

