

A cosmologia

Martín G Richarte♣

†PPGCosmo, UFES, ES, Brazil

Outline

- 1 Ideias Gerais
- 2 Unidades
- 3 Tipos de Universos
- 4 Universo em expansão
- 5 Matéria escura
- 6 Composição do Universo-Energia escura
- 7 O que é o princípio cosmológico?
- 8 Geometria do Universo
- 9 História do Universo

- Cosmologia como ciência
- Alguns conceitos astronômicos básicos
- Um pouco de história
- Um panorama geral da astrofísica e da cosmologia



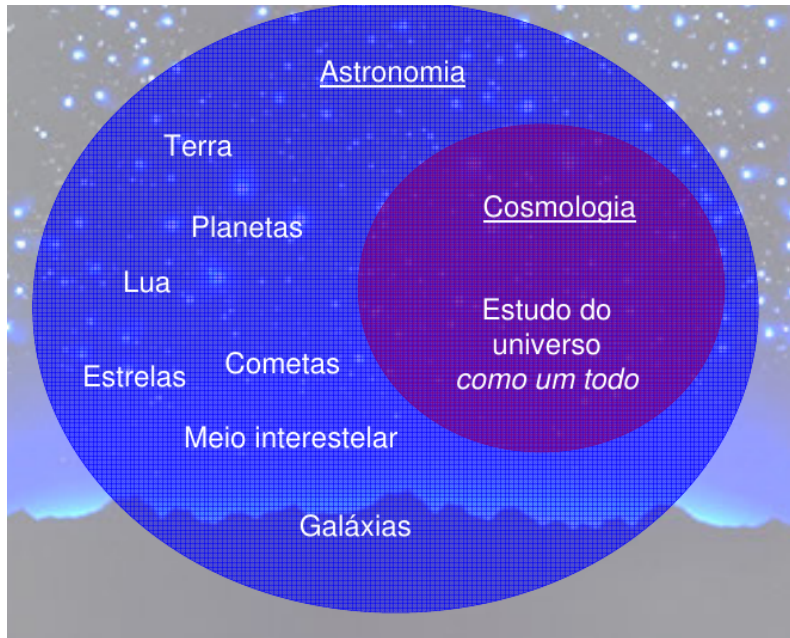
Que é a cosmologia?

Cosmologia* como uma Ciência

- Estudo do Universo como um todo, sua geometria global, dinâmica, história, e seus constituintes – galáxias e estruturas em grande escala, sua formação e evolução
- Consideração básica: As leis físicas são as mesmas em todas as épocas e em todos os lugares
- Contudo, uma “nova física” deve ser evocada para explicar, e.g., matéria escura, energia escura
- Só conhecemos um Universo (único objeto de estudo), e tudo que nós podemos fazer é olhar a superfície do cone de luz passado
- Observações cosmológicas são difíceis e sujeitas a efeitos de seleção e “vícios” (biases)

Cosmologia é hoje um ramo da física

* Do Grego *kosmos* = ordem, disciplina



Como são feitas as descobertas astronômicas?

Como são feitas as descobertas astronômicas ?

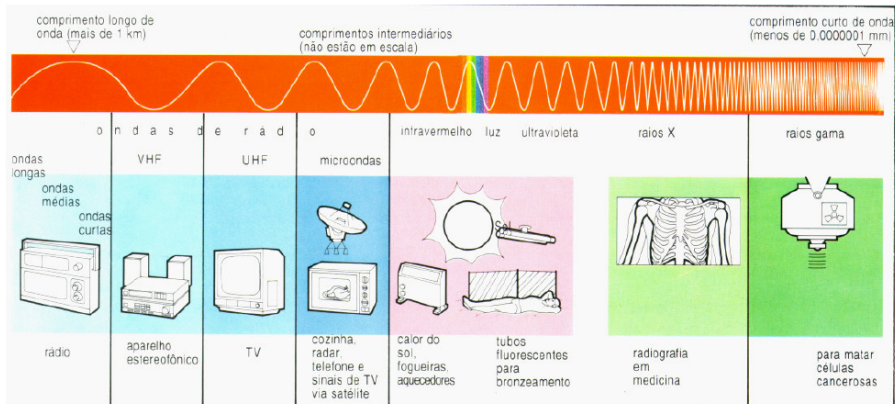
- Descobertas Conceituais: e.g, relatividade geral, mecânica quântica, branas, inflação, **além de que a teoria pode ser inspirada pelas observações**
- Descobertas Fenomenológicas: e.g, matéria escura, QSO's, GRBs, CMBR, Planetas Extrasolares
- O desenvolvimento em cosmologia é impelido pelo progresso tecnológico



Informação no cosmo

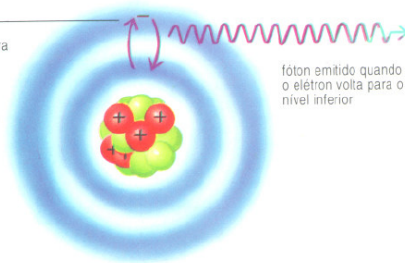
“Como Flui a Informação” no Universo

- A radiação eletromagnética, em todos os seus comprimentos de onda, é o principal meio para obtermos informações sobre o Universo. Por exemplo:
- Fotometria nos fornece principalmente informações sobre a morfologia das galáxias
- Espectroscopia fornece informações sobre a dinâmica das galáxias e aglomerados de galáxias
- Espectros térmico, síncrotron nos dão informações sobre a distribuição de gás nos aglomerados de galáxias, sobre campos magnéticos cósmicos etc.
- Por outro lado, a termalização da radiação por poeira apaga a informação sobre o fluxo de energia original
- Contudo, novos canais de informação estão sendo abertos: ondas gravitacionais, neutrinos





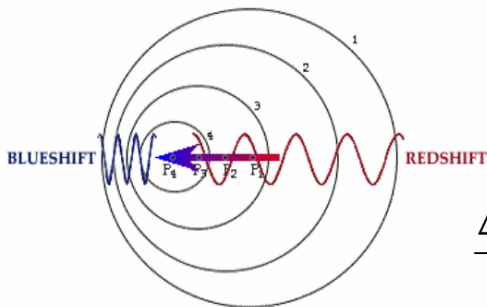
se o elétron ganha energia, ele pula para um nível superior



fóton emitido quando o elétron volta para o nível inferior

- Cada elemento químico possui linhas características
- Esse é o instrumento central da Astronomia que permite determinar, e.g., velocidades e composição química

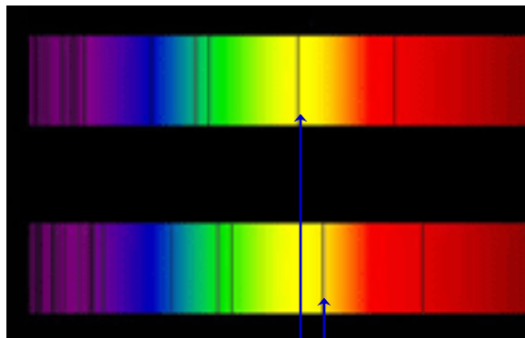
Efeito Doppler – Fonte Emissora em Movimento



- Fonte emissora se aproxima do observador → deslocamento para o azul (blueshift)
- Fonte emissora se afasta do observador → deslocamento para o vermelho (redshift)

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{v}{c}$$

Para velocidades
não relativísticas



- Espectro de referência (laboratório)

- Espectro emitido por fonte afastando-se do laboratório
→ redshift

Unidades

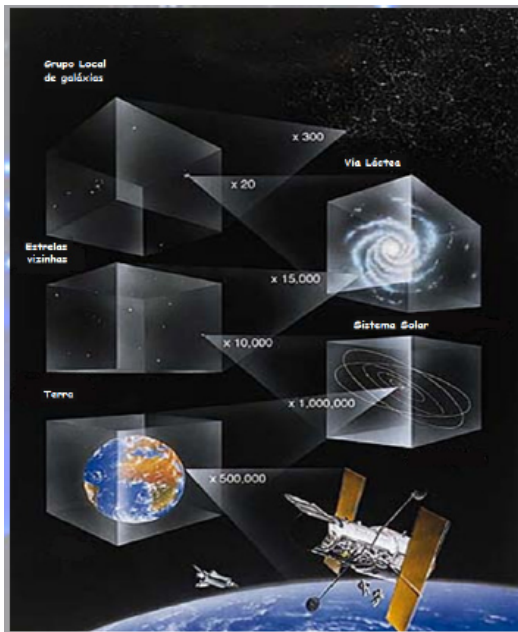
Antes de Continuar As Unidades Astronômicas

- Distância:

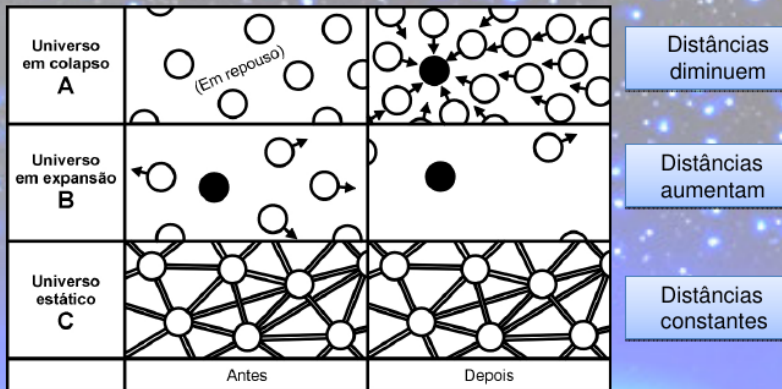
- Unidade astronômica: a distância da Terra ao Sol, $1 \text{ ua} = 1,496 \times 10^{13} \text{ cm}$
- Anos luz: $c \times 1 \text{ ano}$, $1 \text{ al} = 9,463 \times 10^{17} \text{ cm}$
- Parsec: a distância que um objeto deve estar para subtender um ângulo de 1 segundo de arco no céu, $1 \text{ pc} = 3,086 \times 10^{18} \text{ cm} = 3,26 \text{ al} = 206.264,8 \text{ ua}$

- Massa e Luminosidade:

- Massa Solar: $1 M_{\odot} = 1,989 \times 10^{33} \text{ g}$
- Luminosidade Solar: $1 L_{\odot} = 3,826 \times 10^{33} \text{ erg/s} = 3,826 \times 10^{26} \text{ J/s} = 3,826 \times 10^{26} \text{ W}$

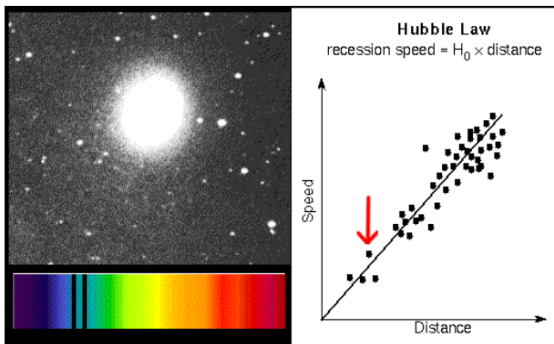


Três tipos de universo



Lei de Hubble

- Observações realizadas por Hubble em 1929 confirmam que o Universo está em expansão → os espectros das galáxias estão deslocados para o vermelho (redshift)
- O redshift cosmológico é um pouco diferente do Doppler. O cosmológico é devido à expansão do espaço
- A expansão passa a ser chamada de efeito De Sitter



$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = z \approx \frac{v}{c}$$

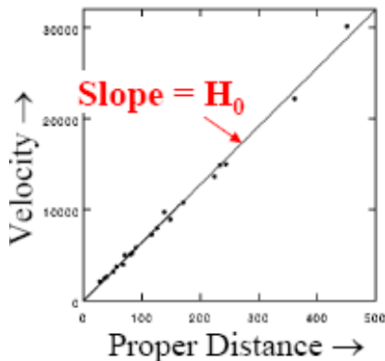
$$z = \frac{H_0}{c} r$$

$$\frac{1}{H_0} = \text{idade do Universo}$$

- H_0 é a constante de Hubble

• Esse é um parâmetros chave da cosmologia moderna

- Seu "valor atual": $H_0 = 73,2^{+3,1}_{-3,2} (km\ s^{-1})Mpc^{-1}$

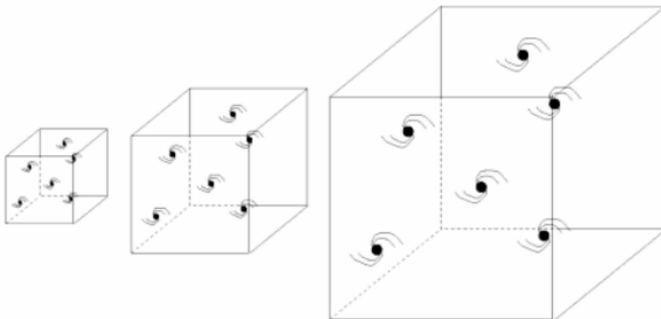


- Uma galáxia a 1Mpc desloca-se com velocidade = 73,2 km/s ($z \sim 2,4 \times 10^{-4}$)
- Uma galáxia a 10Mpc desloca-se com velocidade = 732 km/s ($z \sim 2,4 \times 10^{-3}$)
- Uma galáxia a 100Mpc desloca-se com velocidade = 7320 km/s ($z \sim 2,4 \times 10^{-2}$)

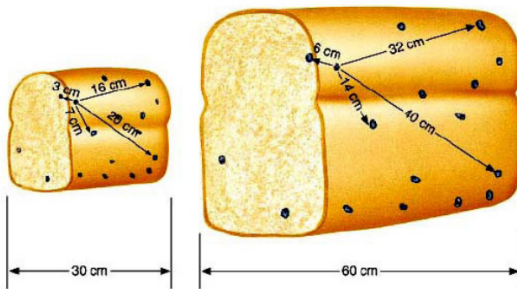
Universo em expansão

A Expansão do Universo

- O espaço expande e “carrega” as galáxias
- Num Universo homogêneo e isotrópico não existe “centro preferencial”



- Fator de Escala = $R(t)$
- Distância Própria = $R(t) \times \text{distância co-móvel (será definida mais adiante)}$



- $R(t)$ aumentou por um fator 2

Matéria escura

Descoberta da Matéria Escura



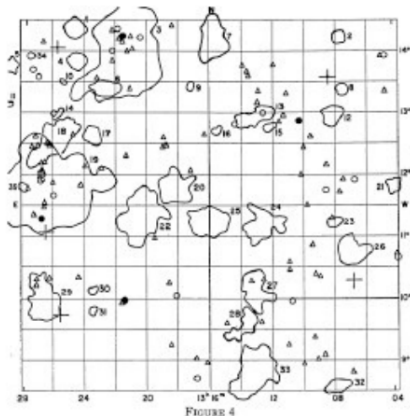
- Fritz Zwicky (1933): Aplica o chamado teorema virial para o aglomerado de Coma, deduzindo que ele contém 400 vezes mais matéria que a observada em estrelas
- Sinclair Smith em 1936 obtém resultado semelhante para o aglomerado de Virgo
- Esse resultado foi deixado de lado até 1970 quando observações das curvas de rotação de galáxias mostraram a existência da matéria escura (DM) de forma não ambígua

- DM toma o papel principal nos modelos cosmológicos que estudam a formação das estruturas do Universo
- A natureza da DM é agora uma das questões consideradas fundamentais da física (e cosmologia) atual

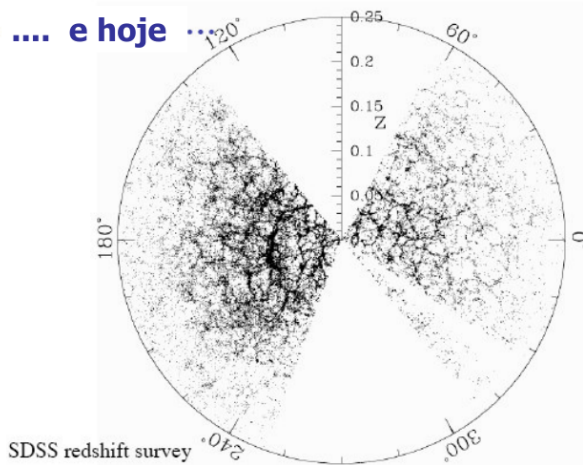
Matéria escura

Descoberta da Estrutura em Grande Escala

- O Universo era considerado homogêneo em escalas galácticas até...
- 1930's: H. Shapley, F. Zwicky, e colaboradores
- 1950's: Donald Shane, Carl Wirtanen, e outros
- 1950's – 1970's: Gerard de Vaucouleurs com os primeiros "redshifts surveys"
- 1970's – 1980's: CfA, Arecibo, e outros "redshifts surveys"

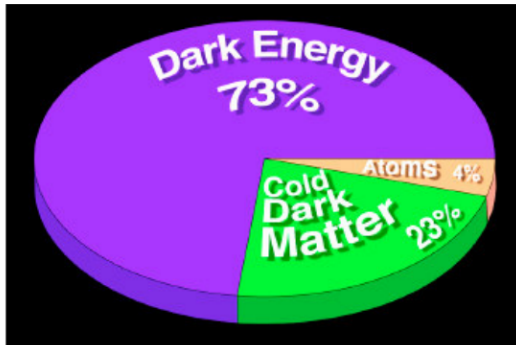


.... e hoje ...



Composição do Universo-Energia escura

E Qual é a “Melhor Composição” para o Universo?



- Essa composição é consistente com diversas observações (incluindo SNIa e CMBR)
- A natureza da matéria escura e da energia escura estão entre as principais questões em aberto da cosmologia atual



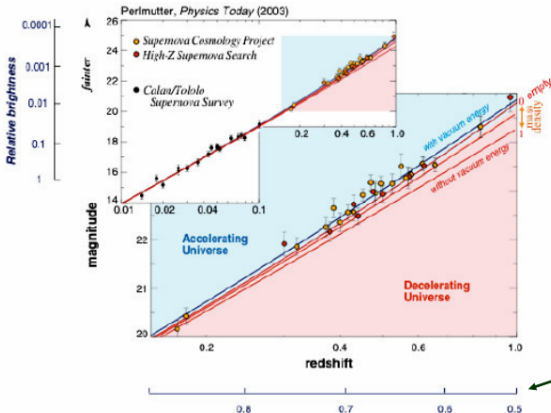
É possível saber o brilho absoluto de uma SN Ia, e assim determinar a distância até ela.

SN Ia



Supernovas indicam que o Universo está se acelerando-Energia escura

Supernovas Ia – “Reforçando a Necessidade” da Energia Escura



Fator de escala do Universo em relação ao presente

Princípio cosmológico

O Princípio Cosmológico

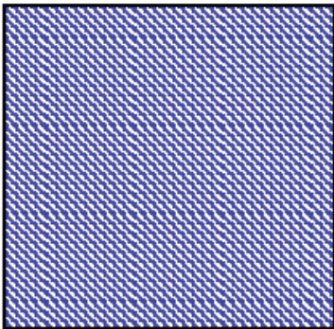
- Cosmologia relativística usa algumas considerações de simetria ou princípios para tornar o problema de “compreender o Universo” viável
- O **Princípio Cosmológico** diz que:

Em qualquer época, o Universo é o mesmo em todas as localizações e em todas as direções, exceto para pequenas irregularidades locais

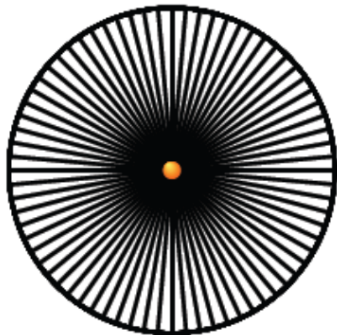
- Dessa forma, globalmente o Universo é considerado ser **homogêneo (uniforme)** e **isotrópico (o mesmo em todas as direções)** em todas as épocas; e sua dinâmica deveria ser a mesma em todos os lugares
- **Observação:** O **Princípio Cosmológico Perfeito** considera que o Universo aparenta ser o mesmo em todos os tempos – isto é, **homogêneo no tempo** – esta é a base da **Teoria do Estado Estacionário**

Homogeneidade e Isotropia

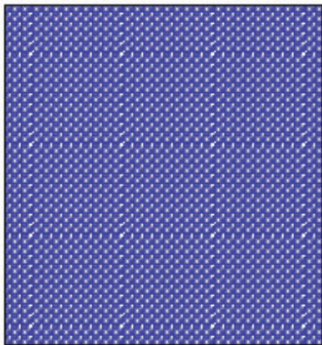
Homogêneo mas não Isotrópico



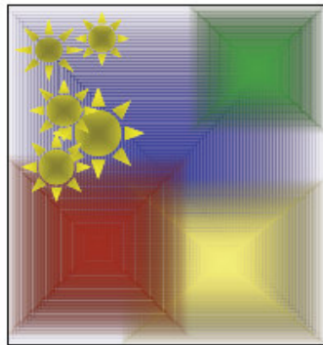
Isotrópico em  mas não Homogêneo



Homogêneo e Isotrópico



Não Homogêneo e não Isotrópico



Geometria do Universo

Qual é a Geometria Global do Universo?

- Isso vai depender da quantidade total de matéria e energia no Universo

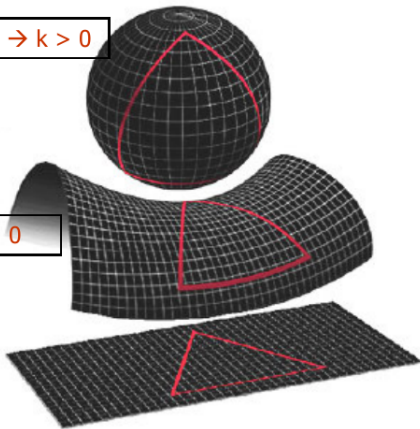
- Matéria e energia irão determinar a dinâmica global e a evolução do Universo

- Parâmetro importante:
parâmetro de densidade Ω_0 (onde o subíndice "0" refere-se ao valor atual desse parâmetro)

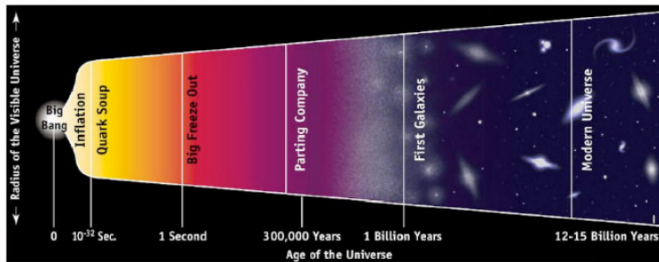
$$\Omega_0 > 1 \rightarrow k > 0$$

$$\Omega_0 < 1 \rightarrow k < 0$$

$$\Omega_0 = 1 \rightarrow k = 0$$



A Linha de Tempo Cósmica



Física razoavelmente compreendida

A fronteira observacional atual

Física razoavelmente bem compreendida

Física altamente especulativa

