

# FUNDAMENTOS PARA O ENSINO DE ASTRONOMIA

Semana 12  
(Aulas 37 e 38)

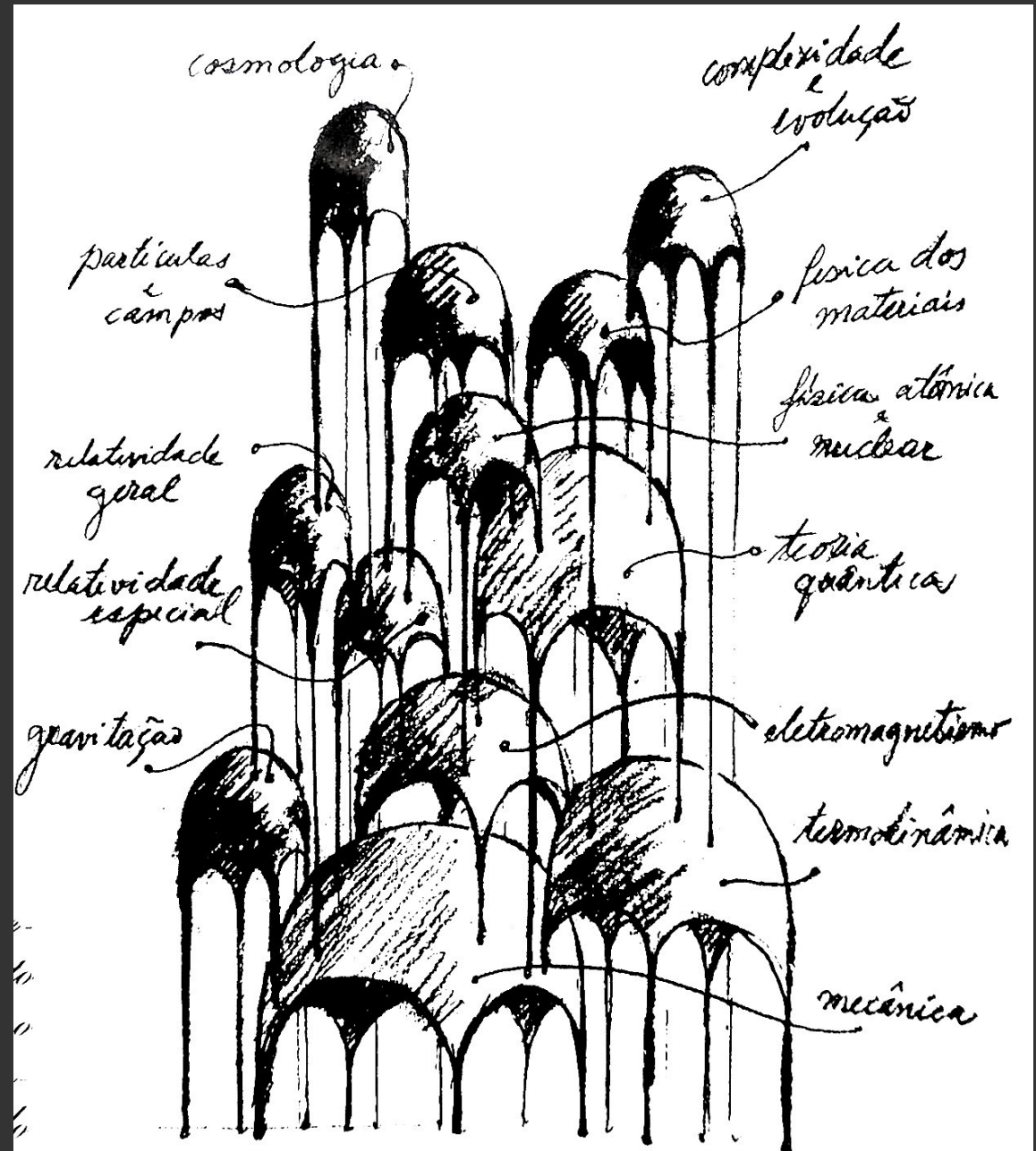
Cosmologia

Prof. Renato Pugliese  
[renatopugliese.wordpress.com](http://renatopugliese.wordpress.com)

IFSP/Pirituba  
2017

# I. A evolução do conceito de Universo

Fig. 1: Uma arquitetura da física  
(Luis Carlos de Menezes. Matéria:  
Uma aventura do espírito, 2005).



# I. A evolução do conceito de Universo

De onde viemos?

Como surgiu o mundo?

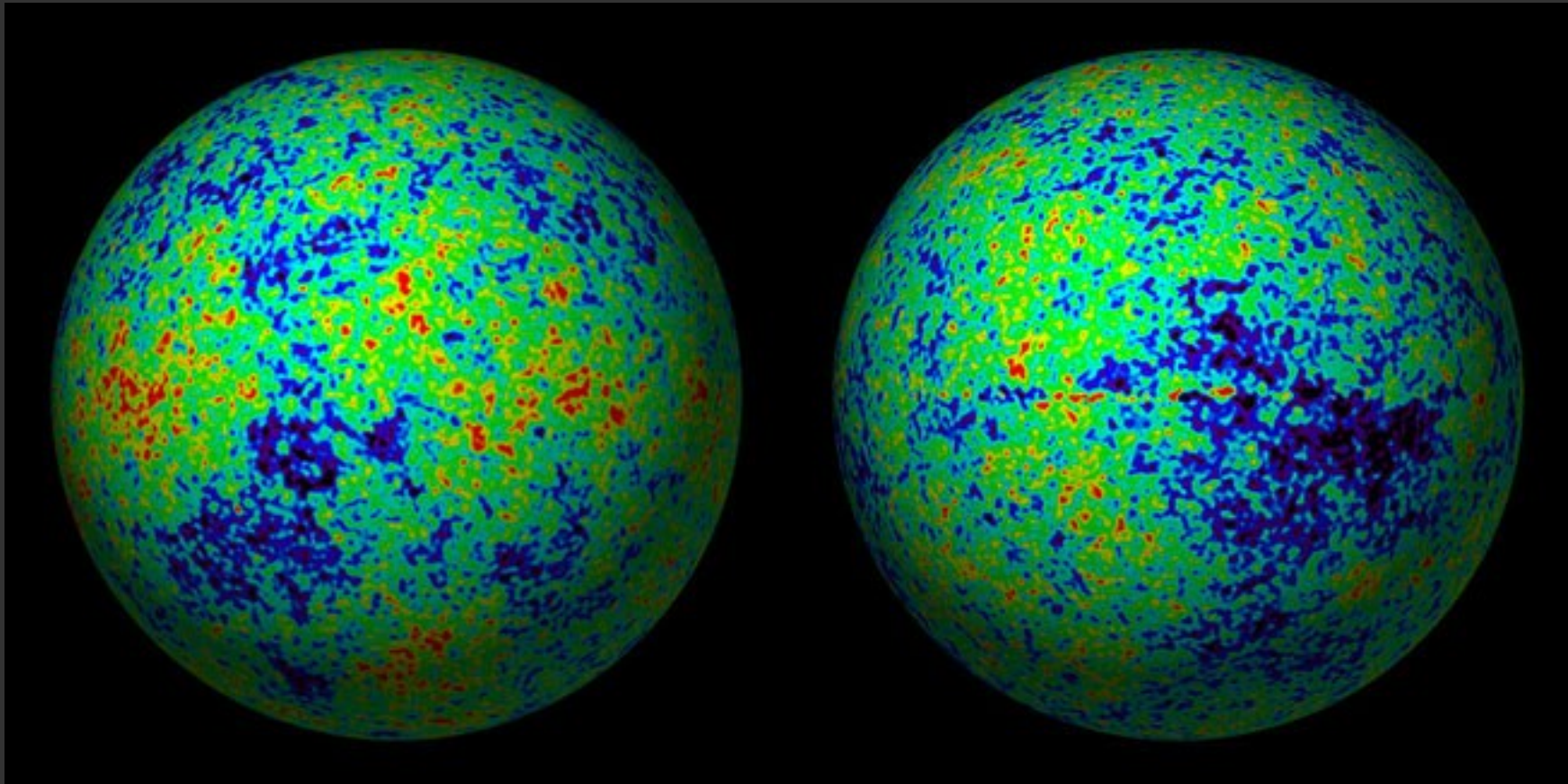
Das tribos caçadoras coletoras nômades a agricultura: 10 mil anos de história!

Mitos cosmogônicos: origem da cosmologia.

Cosmologia: estudo da estrutura, evolução e formação do Universo.

# I. A evolução do conceito de Universo

Fig. 2: 2003: um ano de resolução da Cosmologia

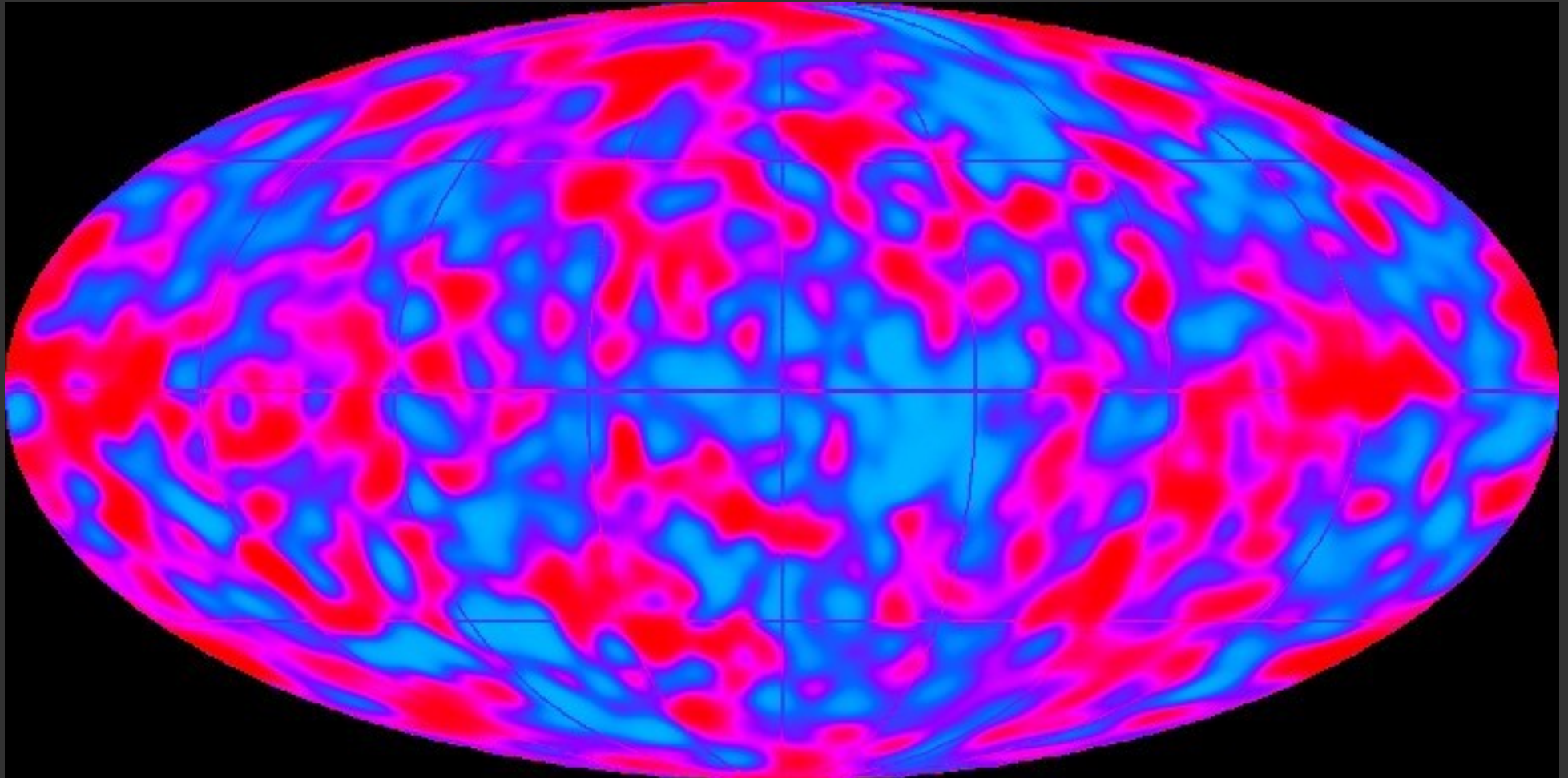


2003 December 31  
A Year of Resolving Cosmology  
Credit: WMAP Science Team, NASA

Explanation: This year, humanity learned that the universe is **13.7 billion years old**. Before this year, the **universe's age** was thought to be about 13 billion years, but really only constrained to be between about 12 billion and 15 billion years old. The difference was made, primarily, by a small satellite named the **Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)** that had been collecting data in an **unusual Earth orbit**. Pictured **above** is a sky map of the enabling data -- the complete **cosmic microwave background** divided into two hemispheres, in detail never before resolved, as recorded by the WMAP's first data release. Besides **universe age**, new **data** and analyses of the **spots** on the **cosmic microwave background** bolstered existing indications that the universe is composed predominantly of a **strange** and mysterious type of **dark energy** (73 percent). The remaining matter is only about 4 percent in familiar **atoms**, with the remaining 23 percent in a somewhat mysterious type of **dark matter**. During the year, much cosmological research shifted from trying to find the **parameters** that define our **universe** to trying to use these parameters as a tool for understanding details of how our universe evolved.

# I. A evolução do conceito de Universo

Fig. 3: Mapa do céu inteiro (allsky) pelo COBE



2006 October 7  
COBE All-Sky Map  
Credit: COBE Project, DMR, NASA

Explanation: This historic all-sky map is based on the first two years of data from NASA's COsmic Background Explorer (COBE) satellite, launched in November of 1989. The map shows minute temperature variations (red is hotter) imprinted on the Cosm<sup>i</sup>c Microwave Background (CMB) radiation by structures in the early Universe. These detailed measurements of the CMB and other COBE results ushered in an age of precision cosmology, and exactly confirmed the predictions of the Big Bang theory. Playing leading roles in the COBE project, for their resulting discoveries John C. Mather (NASA, Goddard Space Flight Center), and George F. Smoot (UC Berkeley) were selected to receive the 2006 Nobel Prize in Physics.

# I. A evolução do conceito de Universo

Principais modelos estruturais:

Pitágoras (VI a.C.) e Platão (IV a.C.): modelo antropocêntrico composto por duas esferas: terrestre (Terra) e celeste (estrelas).

Eudoxo (IV a.C.), Aristóteles (IV a.C.) e Ptolomeu (II d.C.): modelo antropocêntrico/geocêntrico composto por várias esferas celestes (compostas por éter) e uma terrestre (terra, água, ar e fogo).

Copérnico (~1540): modelo heliocêntrico composto por várias esferas celestes onde estariam presos os planetas, tendo o Sol como centro.

Kepler (~1610): modelo heliocêntrico com órbitas elípticas para planetas.

Galileu (~1620): Via Láctea feita de estrelas (confirmando Demócrito, IV a.C.), crateras na Lua, luas de Júpiter, manchas solares.

Newton (~1690): mecânica e gravitação universal.

# I. A evolução do conceito de Universo

Principais modelos cosmogônicos:

Kant (~1780) e Laplace (~1780): Sistema Solar formado inicialmente por nuvem discoidal de matéria em rotação. Para as espirais visíveis, Kant sugeria a ideia de Universos-ilha (Andrômeda sendo outra “Via Láctea”) e Laplace a ideia de sistemas solares em formação.

Modelo galáctico atual:

Messier (~1780): Modelo galactocêntrico: observação de galáxias como objetos do nosso sistema estelar

Hubble (~1920): galáxias como formações e aglomerados estelares para além da Via Láctea (extragalácticas) e não centradas na própria.

# II. Expansão do Universo

Fig. 4:  
Supernova  
no Caracol



July 7, 2005  
SN2005cs

June 7, 2011  
SN2011dh

2011 June 11

Supernovae in the Whirlpool

Image Credit & Copyright: R Jay Gabany

Explanation: Where do spiral galaxies keep their supernovae? Near their massive star forming regions, **of course**, and those regions tend to lie along sweeping blue spiral arms. Because **massive stars** are **very short-lived**, they don't have a chance to wander far from their birth place. Remarkably, in the last 6 years two **Type II supernovae**, representing the death explosions of massive stars, have been detected in **nearby spiral M51**. Along with a third supernova seen in 1994, that amounts to a **supernova bonanza** for a single galaxy. **As demonstrated in these** comparison images, SN2005cs, the supernova discovered in 2005, and more **recently SN2011dh**, the exceptionally bright supernova first recorded just last month, both lie along M51's grand spiral arms. **Perhaps the original** spiral nebula, M51 is also known as **the Whirlpool Galaxy**.



## II. Expansão do Universo

Fig. 5: Uma outra supernova próxima na galaxia do Caracol



2011 June 5

Another Nearby Supernova in the Whirlpool Galaxy

Credit & Copyright: Stephane Lamotte Bailey, [Marc Deldem](#), & Jean-Luc Dauvergne

Explanation: One of the brightest supernovas in recent years has just been recorded in the nearby Whirlpool galaxy (M51). Surprisingly, a seemingly [similar supernova](#) was recorded in M51 during 2005, following yet another one that occurred in 1994. Three supernovas in 17 years is a lot for single galaxy, and reasons for the [supernova surge](#) in M51 are being debated. [Pictured above](#) are two images of M51 taken with a small telescope: one taken on May 30 that does not show the supernova, and one taken on June 2 which does. The June 2 image is one of the first images reported to contain the supernova. The images are blinked to show the location of the [exploded star](#). Although most supernovas follow [classic brightness patterns](#), the precise brightening and dimming pattern of this or any [supernova](#) is hard to predict in advance and can tell astronomers much about what is happening. Currently, the [M51 supernova](#), designated [SN 2011dh](#), is still bright enough to [follow](#) with a small telescope. Therefore, sky enthusiasts are encouraged to image the [Whirlpool galaxy](#) as often as possible to fill in time gaps left by intermittent observations made by the world's [most powerful telescopes](#). Views of the developing supernova are being [uploaded here](#)

# II. Expansão do Universo

Fig. 6: Nobel para o Universo Estranho



2011 October 9  
Nobels for a Strange Universe  
Image Credit: High-Z Supernova Search Team, HST, NASA

Explanation: Thirteen years ago **results** were **first presented** indicating that most of the energy in our universe is not in stars or galaxies but is tied to space itself. In the language of cosmologists, a large **cosmological constant** is directly implied by new distant **supernova** observations. Suggestions of a **cosmological constant** ( $\lambda$ ) were **not new** -- they have existed since the advent of **modern relativistic cosmology**. Such claims were not usually popular with astronomers, though, because  $\lambda$  is so unlike known **universe components**, because  $\lambda$ 's value appeared limited by other observations, and because **less-strange cosmologies** without  $\lambda$  had previously done well in explaining the data. What is noteworthy here is the seemingly direct and reliable method of the observations and the good reputations of the **scientists conducting the investigations**. Over the **past thirteen years**, independent teams of astronomers have continued to accumulate data that appears to **confirm** the existence of **dark energy** and the unsettling result of a presently **accelerating universe**. This year, the team leaders were **awarded the Nobel Prize in Physics** for their work. The **above picture** of a supernova that occurred in **1994** on the outskirts of a **spiral galaxy** was taken by one of these collaborations.

# II. Expansão do Universo

Pressuposto cosmológico: em escalas suficientemente grandes, todos os lugares devem ser iguais.

Homogeneidade e Isotropia do espaço – translações e rotações (conservação do momento).

Irreversibilidade do tempo – processos reversíveis e irreversíveis (conservação da energia).

Afastamento galáctico (Efeito Doppler ou dilatação do espaço).

# III. Modelos de Universo

Modelo de Universo: representação matemática que pode ser testada via parâmetros físicos.

Parâmetro de densidade: medida da expansão e da contração.

Constante de Hubble: medida da idade.

Parâmetro de desaceleração: medida da velocidade de expansão.

Desvio espectral: medida da expansão.

Considerações gerais:

Universo em expansão e Teoria da Relatividade Geral.

# III. Modelos de Universo

O Universo de Einstein (1917)

Constante cosmológica x Força gravitacional.

Universo finito, fechado e esférico.

O Universo de De Sitter (1917)

Geometria euclidiana.

Modelo vazio, independente da matéria, relativístico e em expansão.

# III. Modelos de Universo

Os Universos de Friedmann (1922 e 1924)

Modelos-padrão. Em expansão ou contração espaço-temporal.

Análise dependente dos parâmetros físicos (cada vez mais bem medidos):

- Expansão infinita e Universo aberto;
- Expansão finita, Universo fechado e sem contração;
- Expansão finita, Universo fechado e contração subsequente.

Os Universos de Friedmann-Lemaître (1927)

Alta densidade inicial;  
Átomo primordial.

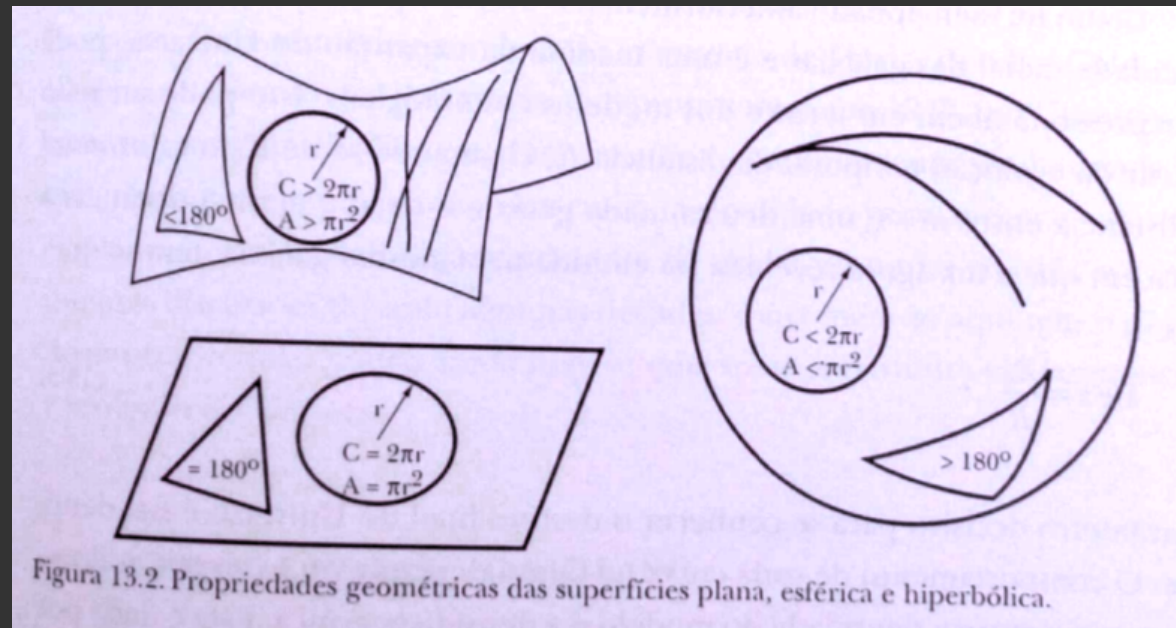
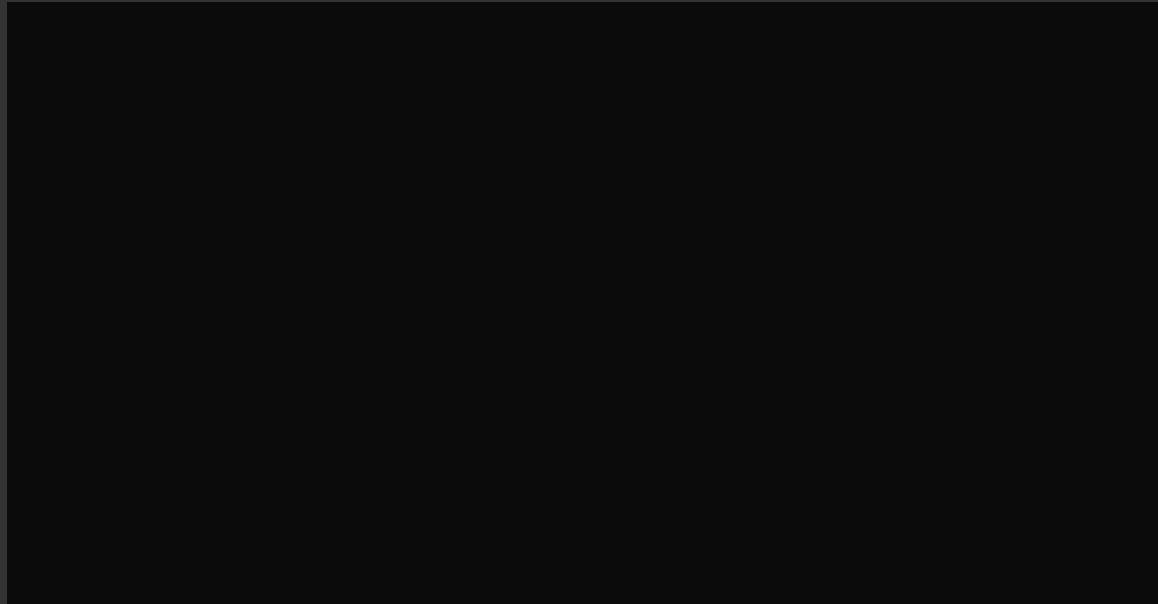


Fig. 7: Propriedades geométricas de superfícies planas (fig. 13.2, p. 235).

# III. Modelos de Universo

## Vid. 1: Simulação ilustrada do Universo



2014 May 12  
ustris Simulation of the Universe  
Video Credit: [Illustris Collaboration](#), [NASA](#), [PRACE](#), [XSEDE](#), [MIT](#), [Harvard CfA](#);

Music: The Poisoned Princess ([Media Right Productions](#))

Explanation: How did we get here? [Click play](#), sit back, and watch. A [new computer simulation](#) of the evolution of the universe -- the largest and most sophisticated yet produced -- provides new insight into how [galaxies formed](#) and new perspectives into [humanity's place in the universe](#). The [Illustris project](#) -- the largest of its type yet -- [exhausted](#) 20 million CPU hours following 12 billion resolution elements spanning a cube 35 million [light years](#) on a side as it evolved over 13 billion years. [The simulation](#) is the first to track matter into the [formation](#) of a wide variety of galaxy types. As the [virtual universe](#) evolves, some of the matter expanding with the [universe](#) soon gravitationally condenses to form filaments, [galaxies](#), and [clusters of galaxies](#). The [above video](#) takes the perspective of a virtual camera circling part of this changing universe, first showing the evolution of [dark matter](#), then [hydrogen](#) gas coded by temperature (0:45), then heavy elements such as [helium](#) and [carbon](#) (1:30), and then back to [dark matter](#) (2:07). On the lower left the time since the [Big Bang](#) is listed, while on the lower right the type of matter being shown is listed. Explosions (0:50) [depict](#) galaxy-center supermassive black holes expelling bubbles of hot gas. Interesting discrepancies between [Illustris](#) and the [real universe](#) do exist and are being studied, including why [the simulation](#) produces an overabundance of old stars.

# IV. A origem do Universo - O Big-Bang

Big-Bang: início e expansão do espaço!

Não confundir com explosão pontual num espaço já existente.

Considerar diferenças entre espaço, vazio, vácuo e nada.

Gamow (1948)

Reações nucleares em átomo primordial;

Previsão da Radiação de fundo;

Modelo relativístico considerando sobra de energia no espaço após conversões iniciais de matéria em energia;

Pressuposto do Big-Bang.

Penzias e Wilson (1965)

Detecção da radiação de fundo (Nobel de 1978).

Evidências do Big-Bang: radiação de fundo e recessão galáctica (expansão).



# IV. A origem do Universo - O Big-Bang

## Modelo-padrão de Big-Bang

Início: entre  $t = 0$  e  $t = 10^{-43}$  s, ocupando  $10^{-33}$  cm, nada se pode conjecturar (relatividade e quântica não competentes) – Era de Planck;

Há cerca de 15 bilhões de anos: densidade tão alta que só havia fótons de alta energia.

Em cerca de  $10^{-6}$  s após a “explosão”, devido a queda de densidade, formam-se as partículas pesadas instáveis (híperons e mésons) que decaem em estáveis (prótons, nêutrons), além dos neutrinos – Era das partículas pesadas;

Após  $10^{-4}$  s até 1 s, devido ao resfriamento, formam-se as partículas estáveis leves (léptons), como elétrons e pósitrons – Era das partículas leves.

Em 1000 s, formam-se os elementos químicos leves (Hidrogênio, Deutério, Hélio, Lítio, Berílio) – Era da nucleossíntese primordial.

Em 1 min, espaço expande devido a alta quantidade de radiação – Era da Radiação.

Após 2000 anos, a quantidade de matéria supera a quantidade de energia – Era da Matéria.

# IV. A origem do Universo - O Big-Bang

Questões atuais no modelo-padrão:

- Matéria e antimatéria: quantidades diferentes e previsão de equivalência;
- Observação de espaço “plano”, implicando conflito de densidade;
- Idade de galáxias contrastando com idade do Universo;

Modelagens atuais:

- Modelo Inflacionário (anos 80);
- Big Crunch;
- Big Rip;

# V. Atividade

## **Durante a aula:**

- Acertar visita ao Observatório;
- Verificar pendências do trabalho final.