

Da Relatividade Geral à Cosmologia Contemporânea

Curso de Iniciação à Astronomia e Observações Astronómicas

Laurindo Sobrinho
Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira
astro@uma.pt

Resumo

Neste módulo são exploradas algumas teorias, ideias e descobertas que levaram ao estabelecimento do modelo do Big Bang como descrito no módulo anterior. Procura-se dar uma ideia do que é hoje a nossa compreensão do Universo visto como um todo.

1 - A Teoria da Relatividade Geral

Num artigo publicado em 1905, Einstein (Fig. 1) mostra, a partir de uma análise cuidadosa da simultaneidade de acontecimentos distantes entre si, que o conceito de tempo universal ou absoluto, no qual se baseia a Mecânica de Newton (também designada por Mecânica Clássica), tem de ser abandonado. Einstein apresenta uma nova cinemática baseada em dois postulados: o Princípio da Relatividade e o Princípio da Constância da velocidade da luz. A **Teoria da Relatividade Restrita** (como acabou por ser chamada) forneceu aos físicos uma orientação segura na procura de novas teorias dinâmicas de campos e de partículas.



Fig. 1 - Albert Einstein em 1905

Em 1915 Einstein apresentou um trabalho onde expandia a Teoria da Relatividade Restrita por forma a incluir o efeito da gravidade sobre o espaço-tempo. Esta nova teoria ficou conhecida como **Teoria da Relatividade Geral** (TRG). A TRG é uma teoria da Gravitação. A sua base assenta no Princípio da Equivalência que afirma que as Leis da Física devem possuir a mesma forma em todos os referenciais de coordenadas (Fig. 2).

Einstein procurou uma teoria na qual matéria e geometria do espaço-tempo estivessem interligadas. Na ausência da gravidade as equações da TRG teriam de se reduzir às equações da Relatividade Restrita e, para pequenos campos gravitacionais e velocidades baixas as equações deveriam reduzir-se às da Mecânica Newtoniana.

As Leis da Física na TRG são expressas por equações tensoriais. Um tensor é uma entidade geométrica que é independente do sistema de coordenadas (referencial) escolhido. Assim, uma equação tensorial válida num determinado sistema de coordenadas será também válida em qualquer outro sistema de coordenadas. Na TRG a informação acerca da geometria do espaço-tempo é condensada num tensor designado por tensor de Einstein. Por sua vez a informação relativa à distribuição de massa e energia do espaço-tempo é condensada no chamado tensor energia-momento. Einstein

considerou que existe uma relação direta entre os dois tensores, ou seja, que matéria e energia alteram a geometria do espaço-tempo. Considerou ainda que essa relação deverá ser do tipo mais simples, ou seja, os dois tensores devem ser proporcionais.

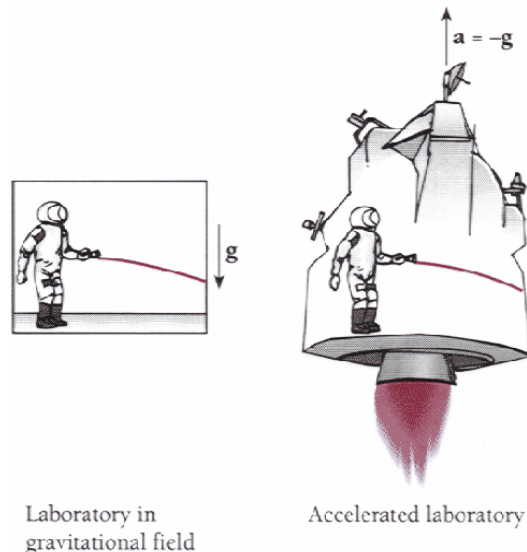


Figura 2 - Não é possível distinguir, num sistema fechado, os efeitos produzidos pelo campo gravítico daqueles produzidos pela aceleração do próprio sistema.

A métrica de Schwarzschild, obtida por Karl Schwarzschild em 1916, permite determinar distâncias entre eventos ocorridos num espaço-tempo com simetria esférica. Esta solução descreve o campo em torno de corpos como as estrelas, planetas e buracos negros. Prevê efeitos como o desvio da luz ou a deformação do espaço-tempo. Permite explicar o avanço do periélio do planeta Mercúrio (ver Fig. 3). Atualmente a TRG é aplicada em Astrofísica quando se estudam buracos negros, estrelas de neutrões, quasares, lentes gravitacionais, ondas gravitacionais ou modelos cosmológicos. O próprio sistema de posicionamento global (GPS) também não poderia funcionar com tamanha precisão se não tivesse em conta os efeitos previstos pela TRG.

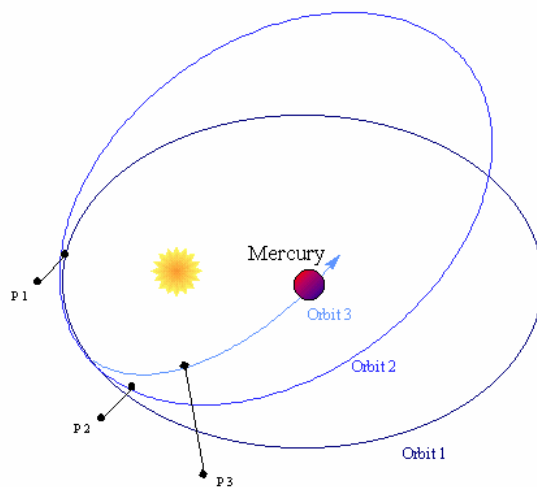


Figura 3 - Avanço do periélio do planeta Mercúrio. Este facto observacional não era bem explicado pela teoria clássica e por isso era um problema em aberto. Com a TRG foi possível dar uma explicação satisfatória.

2 - Cosmologia Relativista

De acordo com o que observamos vivemos num Universo plano, homogêneo (todos os pontos são equivalentes) e isotrópico (todas as direções são equivalentes). Claro que esta constatação só é válida quando consideramos o Universo em larga escala (escalas superiores a aprox. 100 milhões de anos luz) – ver Fig. 4. Localmente vemos, por exemplo, aspectos diferentes quando olhamos em direções diferentes.

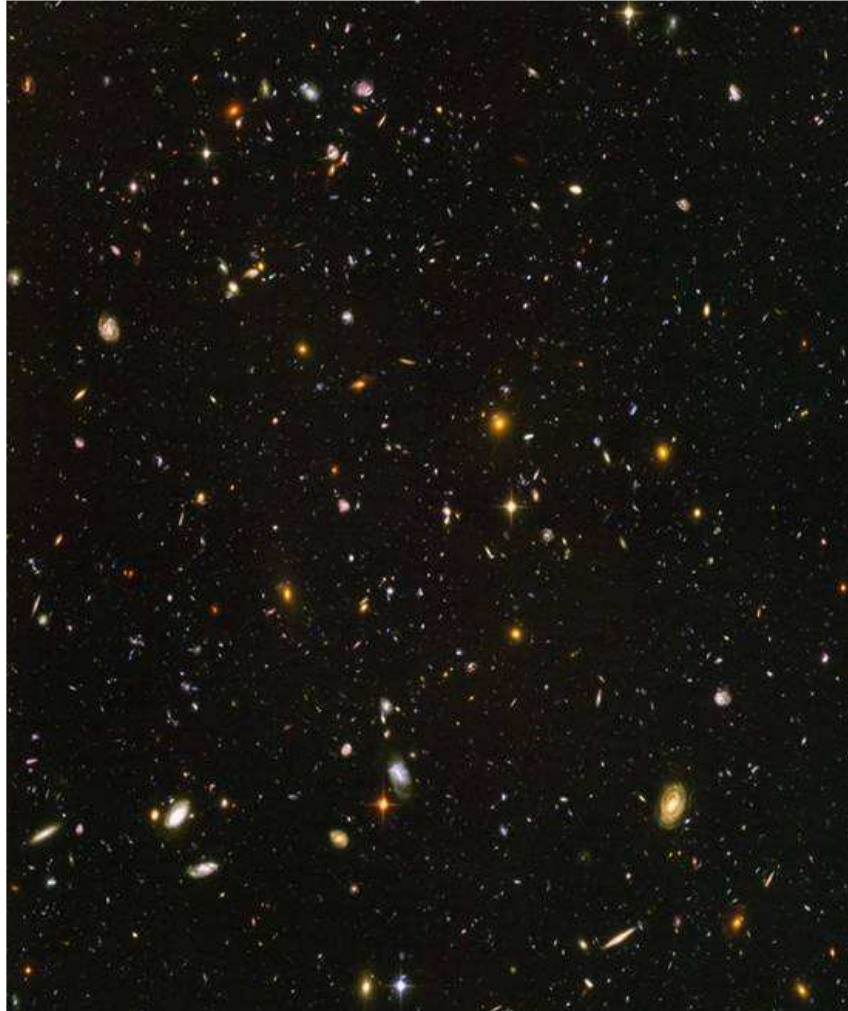


Figura 4 - Imagem de uma pequena secção do Universo profundo obtida com o HST. Nesta imagem praticamente todos os pontos são galáxias a diferentes distâncias.

A **Cosmologia**, ou seja, o estudo dinâmico do Universo como um todo é baseado no:

Princípio Cosmológico - em qualquer época o Universo apresenta o mesmo aspeto a partir de qualquer ponto (aparte pequenas irregularidades).

Estamos assim a assumir que existe um tempo cósmico válido para todos os pontos do espaço (o Universo evolui seguindo esse tempo cósmico). O Princípio Cosmológico implica que não existem nem pontos nem direções especiais. Quando olhamos para o

Universo em larga escala o movimento dos enxames e superenxames de galáxias é muito semelhante ao movimento de partículas num fluido. Esta ideia está expressa no:

Postulado de Weyl - as partículas do substrato (fluido) descrevem no espaço-tempo um conjunto de linhas (geodésicas) que apenas se intersectam num ponto do passado e/ou num ponto do futuro.

O postulado requer que essas linhas geodésicas (que descrevem o movimento dos enxames e superenxames de galáxias) não se intersectem em nenhum ponto a não ser no passado ou no futuro. Por outras palavras em cada ponto pode passar apenas uma e só uma geodésica. Embora isto não seja exatamente verdade os desvios são relativamente pequenos e aleatórios.

Isto significa que o Universo pode ser descrito como se fosse um fluido perfeito. Os fluidos perfeitos são caracterizados por apenas dois parâmetros: densidade de energia e pressão. Em geral a descrição de um fluido envolve outros parâmetros como viscosidade, condução de calor, resistividade..., o que conduz a equações muito mais complexas. No caso de um fluido perfeito a equação é bastante simples o que facilita bastante a elaboração de um modelo para o Universo. A expansão do Universo é governada por um fator de escala R o qual depende apenas do tempo.

Resumindo: A Cosmologia Relativista assenta sobre três pilares fundamentais:

- Teoria da Relatividade Geral
- Princípio Cosmológico
- Postulado de Weyl

3 - A descoberta do Universo em expansão

Fazendo a luz que nos chega, de uma determinada fonte, atravessar um prisma podemos decompor esta nas suas diversas cores (do violeta ao vermelho). Observando com detalhe o espectro obtido podemos notar que existem algumas riscas (escuras no caso de um espectro de absorção e coloridas no caso de um espectro de emissão). Mais, cada elemento tem um conjunto de riscas característico e único (é como se fosse a sua impressão digital) - ver Fig. 5. Comparando, por exemplo o conjunto de riscas obtido a partir da luz de uma estrela com o de diversos elementos obtidos em laboratório podemos ficar a conhecer a composição dessa estrela. Decompondo a luz que nos chega de galáxias distantes podemos ficar a conhecer a composição das mesmas.

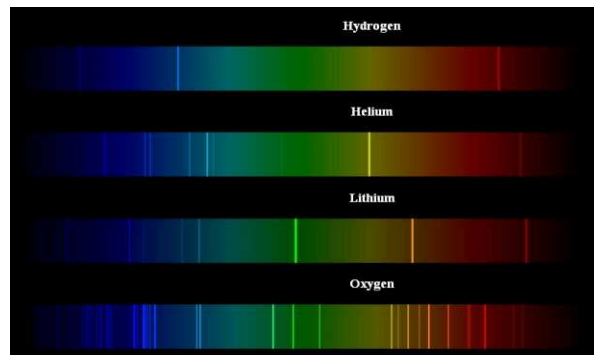


Figura 5 - Espectro do Hidrogénio, Hélio, Lítio e Oxigénio. Note-se que o conjunto de riscas é bem diferente em cada caso.

Ao examinar a luz emitida por galáxias distantes Edwin Hubble (Fig. 6) verificou, em 1929, que esta aparecia sempre desviada para o vermelho (Fig. 7). Este fenómeno é conhecido por efeito Doppler e acontece sempre que observamos um objeto que se afasta de nós. Isto significa que todas essas galáxias estão a afastar-se da Nossa Galáxia. Verificou ainda que quanto maior a distância maior é a velocidade de afastamento. Apenas para algumas galáxias do Grupo Local acontecia o inverso, ou seja, o desvio para o azul (galáxia em aproximação).



Fig. 6 - Edwin Hubble.

A conclusão lógica a tirar desta observação é a de que **o Universo está em expansão** (Fig. 8). Pouco anos antes tínhamos descoberto que a Nossa Galáxia não era única no Universo e agora descobríamos que quase todas as outras galáxias se afastavam da nossa.

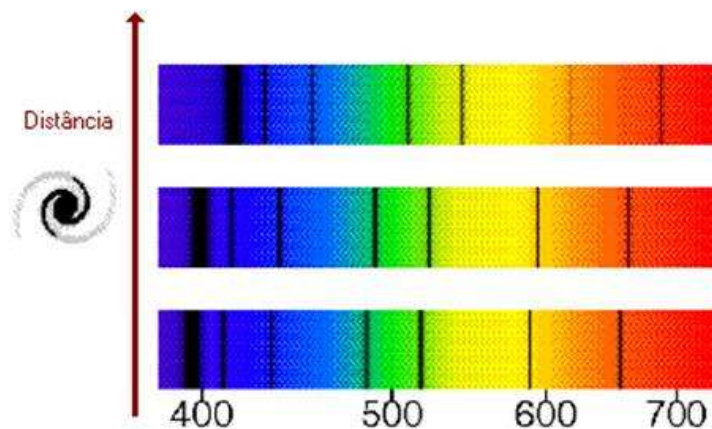


Figura 7 - Neste esquema temos o espectro de absorção de três galáxias a diferentes distâncias. O conjunto de riscas, em cada caso, é exatamente o mesmo (trata-se do mesmo elemento). No entanto a sua posição varia com a distância. Quanto mais distante a galáxia mais as riscas estão desviadas para a direita, ou seja, na direção do vermelho.

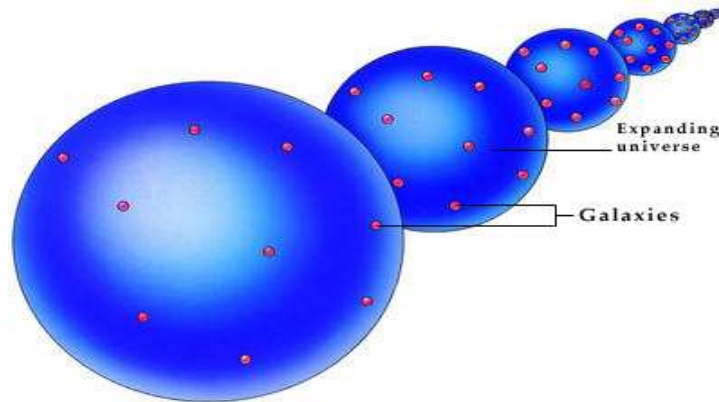


Figura 8 – Esquema representando o Universo em expansão. Como o Universo é homogêneo e isotrópico qualquer observador em qualquer ponto do Universo faz a mesma leitura relativamente à expansão: para ele todas as galáxias distantes estão a afastar-se da sua própria galáxia.

Como já foi referido antes a observação do Universo quando feita em escalas a partir dos 10^8 anos-luz mostra que este é **homogêneo** (todos os pontos são equivalentes) e **isotrópico** (todas as direções são equivalentes). Assim, **a expansão do universo é governada por um fator de escala R o qual depende apenas do tempo**. No contexto da Teoria da Relatividade Geral a evolução do fator de escala, ou seja, a **evolução do Universo** é descrita pela chamada *equação de Friedmann*:

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 - \frac{8}{3}\pi G\rho - \frac{1}{3}\Lambda c^2 = -\frac{kc^2}{R^2}$$

No âmbito deste curso apenas nos interessa referir as quantidades que aparecem em tão importante equação. São elas:

- R - fator de escala,**
- G - constante de gravitação universal (comum à Mecânica Newtoniana),**
- c - velocidade da luz,**
- ρ - densidade do Universo**
- Λ - constante cosmológica,**
- k - curvatura do espaço-tempo.**

A presença de uma constante cosmológica não nula é equivalente a assumir que a matéria não é a única responsável pela gravidade existindo outra fonte adicional que poderá ser atrativa ($\Lambda < 0$) ou repulsiva ($\Lambda > 0$). De acordo com a Teoria da Relatividade Geral um Universo sem constante cosmológica estaria em expansão ou em contração. Este fato incomodou Einstein, levando-o a introduzir um valor de Λ nas equações por forma a garantir um Universo estático. Pouco tempo depois ficamos a saber que o Universo está em expansão e Einstein teve então de ceder chegando mesmo a afirmar que este tinha sido o maior erro da sua vida. Voltaremos a falar da constante cosmológica mais adiante.

O valor de **k** indica qual a **geometria** do universo: **k=1** : universo elíptico (fechado); **k=0** : universo plano; **k=-1** : universo hiperbólico (aberto) – Fig. 9.

Jogando com os valores possíveis para k e Λ podemos construir diferentes modelos de universos (Fig. 10). Em alguns desses modelos a expansão continua eternamente ao passo que noutros a expansão dá lugar à contração. Até há bem pouco tempo não sabíamos qual o modelo mais adequado. Os resultados mais recentes, obtidos na sua grande maioria com o satélite WMAP, apontam para $k=0$ (universo plano) e $\Lambda>0$.

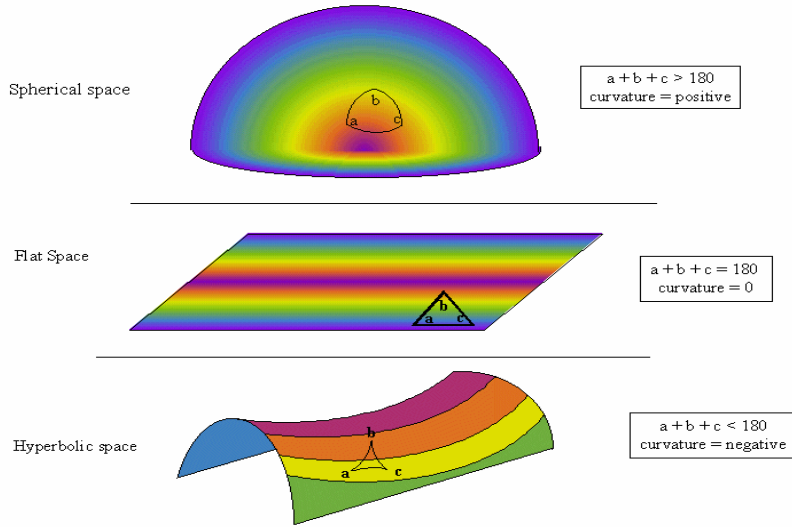


Figura 9 – Geometria elíptica, Euclidiana (plana) e hiperbólica.

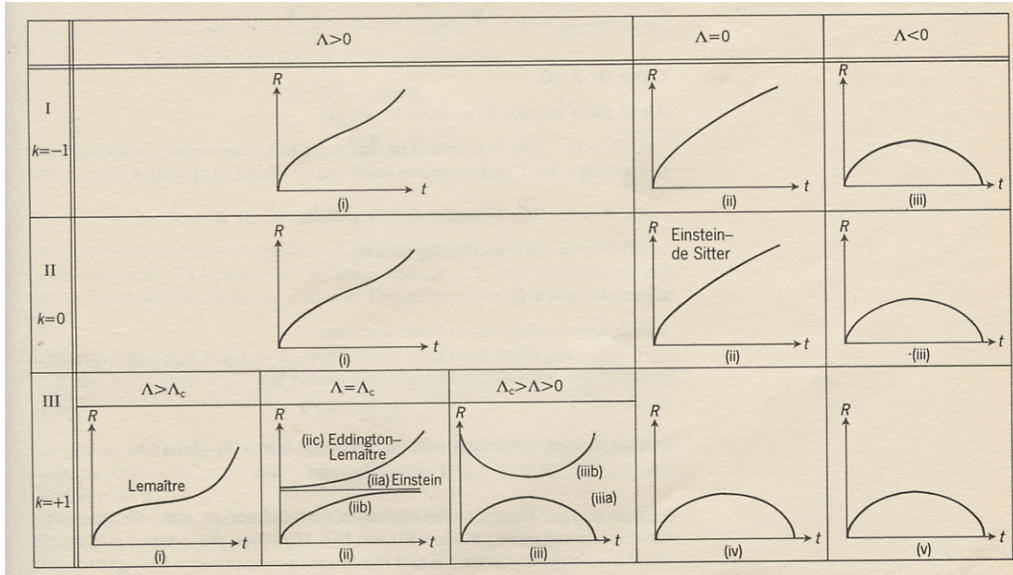


Figura 10 - Jogando com os valores possíveis para k e Λ podemos construir diferentes modelos de universos.

4 – O mecanismo de Inflação

Embora o modelo Standard do Big Bang tenha tido grande sucesso, por exemplo, na previsão da existência da radiação cósmica de fundo de micro-ondas e na explicação do processo de nucleosíntese primordial dos elementos, não é capaz de dar resposta a outros problemas, como por exemplo, o problema do horizonte e o problema relacionado com o facto de termos um universo plano.

A partir da observação sabemos que a distribuição da radiação cósmica de fundo é isotrópica (Fig. 11), isto é, é a mesma em qualquer direção em que se olhe. Isto significa que **em algum momento do passado todos os pontos do universo devem ter estado em contacto causal entre si** (deve ter sido possível ir de um extremo ao outro do Universo a uma velocidade não superior à da luz num intervalo de tempo inferior à idade do Universo).

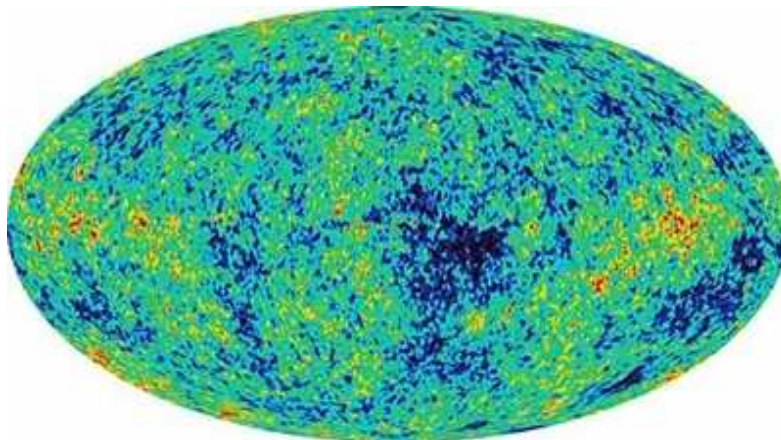


Figura 11- Radiação cósmica de fundo.

Sabemos a dimensão e a idade do Universo. Atendendo à velocidade de expansão podemos recuar no tempo até ao instante inicial e ver se em algum momento a dimensão do Universo permitiu o contacto causal entre todos os seus pontos. Verifica-se que isso nunca aconteceu (Fig. 12). Existe assim uma falha no modelo Standard do Big Bang. É o chamado **Problema do Horizonte**.

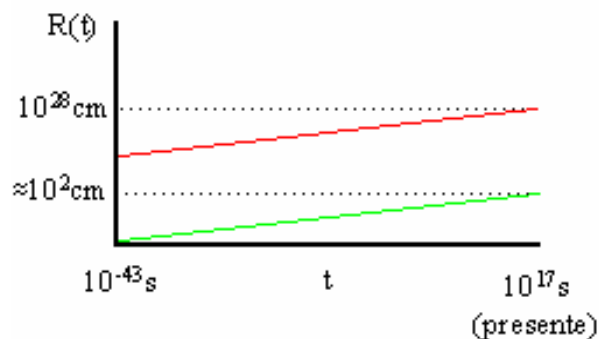


Figura 12 – Recuando para o passado (linha vermelha) verificamos que o Universo nos instantes iniciais era já bastante grande para que fosse possível um contacto entre todas as partes do Universo. Por outro lado, supondo que no início todos os pontos do Universo estiveram em contacto então a expansão teria conduzido a um Universo cuja dimensão no presente seria inferior a 1 metro (linha verde) o que sabemos ser falso.

As observações recentes mostram que **o Universo é plano**. Mas, se não fosse assim já nos instantes iniciais as consequências teriam sido catastróficas para o Universo impedindo a formação de estrelas e galáxias. A teoria do Big Bang não consegue explicar por si só a razão pela qual o Universo é plano.

Para resolver estes e outros problemas **Alan Guth** sugeriu em 1981 a ideia de um **Universo inflacionário**. O universo continua a ser descrito de acordo com a teoria do Big Bang mas com uma fase adicional introduzida no final da era da Grande Unificação. Durante breves instantes o Universo foi dominado por uma força que venceu a força de gravidade e **acelerou exponencialmente a expansão do Universo**. O campo responsável pela inflação designa-se normalmente por *inflação*.



GUTH

Fig. 13 – Alan Guth.

A inflação teve início quando a idade do Universo era de 10^{-35} s e terminou aproximadamente aos 10^{-33} s. Durante este período **a dimensão do Universo aumentou de um fator entre 10^{50} e 10^{70}** . Depois da inflação a expansão do Universo retomou a normalidade (Fig. 14). Durante a inflação o Universo arrefeceu exponencialmente. No entanto a energia libertada no final da inflação voltou a aquecer o Universo para uma temperatura semelhante à que se verificava antes. Antes da inflação todas as regiões do Universo estavam em contacto causal. Depois da inflação o *horizonte* de qualquer observador passa a ser muito menor do que o Universo. Para cada observador existe um *Universo Observável* cuja dimensão, que designaremos por horizonte, é muito inferior à dimensão do **Universo** na sua globalidade (Fig. 15).

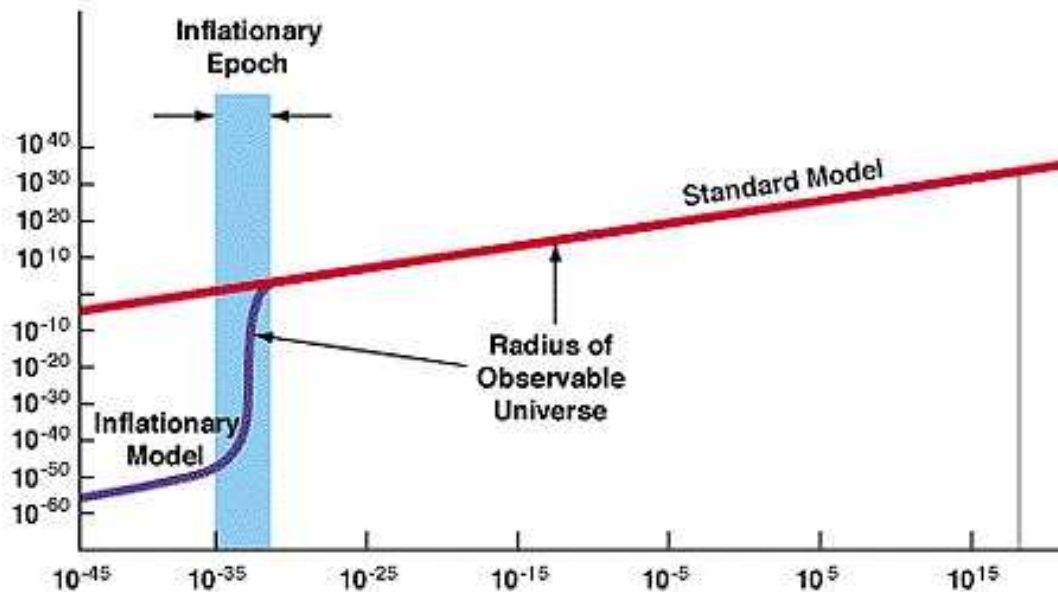


Figura 14 – O Universo começa por ser muito pequeno com todas as suas regiões em contacto (como na linha verde da Fig. 12), depois o seu tamanho é inflacionado durante breves instantes para depois continuar a sua expansão normal. Em comparação com a Fig. 12 durante a inflação saltamos da linha verde para a linha vermelha.

A **inflação explica**, assim, de uma forma muito simples a **isotropia da radiação cósmica de fundo** pois garante que no passado todos os pontos estiveram em contacto causal (Fig. 15). Explica também de uma forma muito simples a **geometria plana do Universo**, pois, o Universo observável é apenas uma pequena fração do todo (Fig. 16).

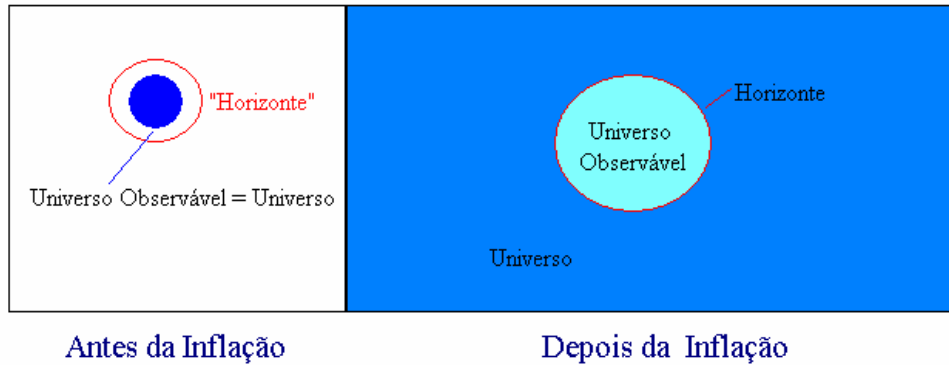


Figura 15 – O Universo antes e depois da inflação. Antes da inflação o Universo Observável coincidia com o Universo em si. Depois da inflação o Universo passou a ser muito maior do que o Universo Observável.

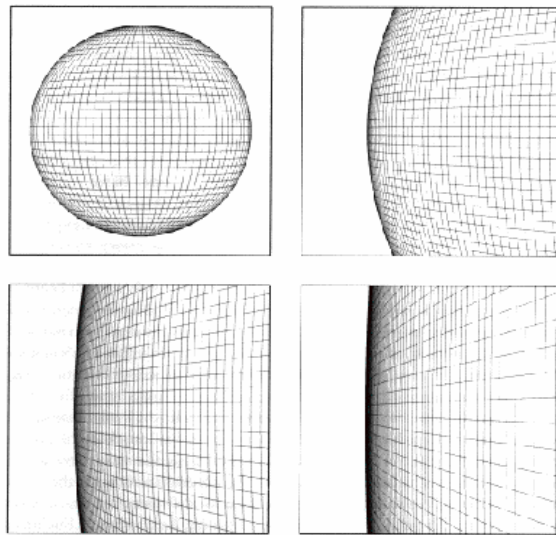


Figura 16 – Mesmo que a geometria do Universo não seja plana, o fato de o Universo Observável ser apenas uma pequena fração do todo, faz com que não consigamos obter informação sobre essa geometria. Fazemos a seguinte analogia: uma pequena porção da superfície terrestre pode considerar-se plana. Se isso for o nosso Universo Observável então dizemos que a geometria é plana. A curvatura da superfície terrestre só se torna relevante quando consideramos áreas maiores.

Na natureza não se observam monopolos magnéticos. Sempre que temos um ímã existe um polo Norte e um polo Sul. Muitas teorias preveem que no Universo primordial possam ter sido criadas grandes quantidades de monopolos magnéticos **estáveis**. No entanto isso teria acontecido antes dos 10^{-35} s, ou seja, antes da inflação. Com a inflação os monopolos magnéticos foram diluídos no Universo pelo que a sua observação atualmente é muito improvável. Esta é mais uma das questões resolvidas pela inflação.

5 – A Radiação Cósmica de Fundo

Quando a temperatura do Universo desceu o suficiente para permitir que os elétrons se combinassem com os núcleos atômicos formando átomos neutros o **Universo tornou-se transparente para a radiação**, ou seja, para os fótons. Isto aconteceu quando o Universo tinha cerca de **380 000 anos**. A radiação libertada nessa altura viajou livremente pelo Universo podendo ser detetada atualmente como uma **radiação de fundo em micro-ondas**. A existência desta radiação foi prevista em primeira mão em 1948 por **George Gamow**.



Figura 17 – George Gamow.

Esta radiação de fundo só veio a ser detetada em 1965, de forma acidental, quando dois rádio astrónomos, **Arno Penzias** e **Robert Wilson**, estavam a calibrar uma antena de micro-ondas altamente sensível (Fig. 18). Eles pretendiam eliminar ao máximo o ruído introduzido pelo próprio equipamento. Havia, no entanto, sempre um ruído de fundo que não conseguiam reduzir. Estava descoberta a radiação prevista vários anos antes por Gamow. A descoberta, que valeu o prémio Nobel a Penzias e Wilson, é um dos marcos mais fortes a favor da Teoria do Big Bang.

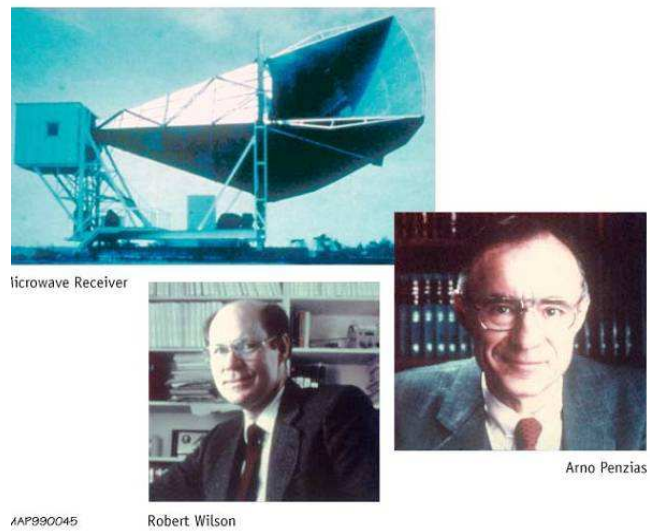


Figura 18 - Arno Penzias, Robert Wilson e o recetor de micro-ondas responsável pela deteção da radiação cósmica de fundo.

6 - Matéria Escura

Ao observar em 1933 o enxame de galáxias de Coma o astrofísico suíço **Fritz Zwicky** (Fig. 19) verificou, baseando-se no movimento das galáxias próximas dos extremos do enxame, que este possuía muito mais massa para além daquela estimada a partir do brilho das suas galáxias.



Fig. 19 – Fritz Zwicky.

Estimou que a massa do enxame de Coma (Fig. 20) deveria ser cerca de 400 vezes superior ao observado a partir do brilho das suas galáxias. Esta questão ficou conhecida como o "*problema da massa em falta*". Essa massa em falta veio a designar-se por **matéria escura**.



Figura 20 - Enxame de galáxias de Coma. Todos os objetos que vemos na imagem são galáxias. A exceção é o objeto bastante luminoso no canto superior direito que é uma estrela da Nossa Galáxia que está no mesmo campo de visão (O. Lopez-Cruz and I. K. Shelton. <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap971213.html>).

Em 1975 a astrónoma **Vera Rubin** (Fig. 21) descobriu que a maior parte das estrelas numa galáxia espiral orbitam em torno do núcleo galáctico praticamente à mesma velocidade independentemente da sua distância ao centro (Fig. 22). Este resultado sugere que, ou a Teoria Newtoniana da gravidade não é Universal, ou mais de metade da massa das galáxias está contida num halo escuro sob a forma de **matéria escura**.



Fig. 21 – Vera Rubin.

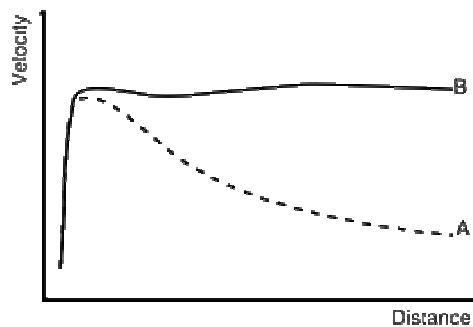


Figura 22 – Velocidade das estrelas em torno do centro de uma galáxia espiral. Perto do centro a velocidade é máxima. Considerando a teoria Newtoniana da gravitação, de acordo com a massa das estrelas que observamos numa determinada galáxia, a velocidade destas deveria diminuir com o aumento da distância ao centro como se indica na curva A. Acontece que em muitos casos o que se observa é o comportamento indicado na curva B. Isto significa que, para além da massa visível deve existir muito mais massa encerrada na galáxia que embora não emita luz faz sentir o seu efeito gravitacional.

A quantidade de matéria escura numa galáxia pode ser inferida a partir da relação massa-luz para essa galáxia. Esta relação é dada por:

$$\Psi = \frac{M_{\text{total}}}{M_{\text{luminosa}}}$$

Quanto maior este valor maior a percentagem de matéria escura nessa galáxia. Parece haver mais matéria escura numa região do que noutras. Na Nossa Galáxia a matéria escura é cerca de 10 vezes superior à matéria luminosa. Por outro lado a galáxia **VIRGOHI21**, detetada no enxame da Virgem a 50 milhões de anos-luz, parece ser **composta inteiramente por matéria escura** (Fig. 23).

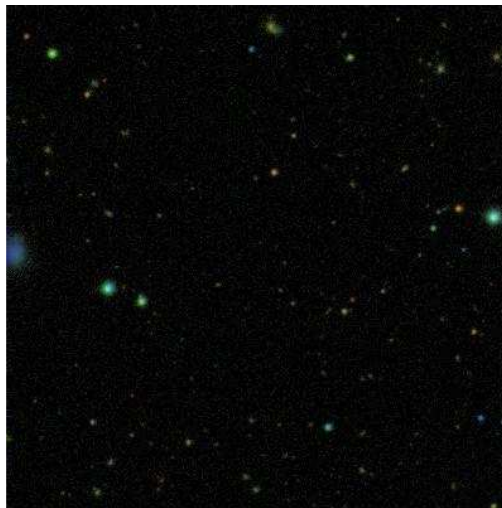


Figura 23 - VIRGOHI21 – uma galáxia que parece ser composta 100% por matéria escura. (Sloan Digital Sky Survey: <http://www.sdss.org/iotw/archive.html>)

São conhecidos atualmente uma série de objetos pouco luminosos tais como: buracos negros, anãs brancas, estrelas de neutrões, anãs vermelhas, anãs castanhas e planetas do tipo “Júpiter”. Estes objetos, que fazem parte daquilo a que chamamos *matéria bariónica*, podem ajudar a resolver o problema da matéria escura.

No entanto os estudos revelam que apenas uma pequena fração da matéria escura é de origem bariónica. Assim, **a composição da maior parte da matéria escura é ainda uma incógnita para nós**. Alguns dos candidatos em estudo são os *axiões* e as *WIMPs* (partículas que surgem em estudos teóricos e que ainda não foram observadas) – ver Fig. 24.

7 - Energia Escura

Observações de **supernovas do tipo Ia** distantes, efetuadas no final dos anos 90 do século XX, sugerem que a **expansão do universo está acelerando** e não o contrário como era suposto (Fig. 25). A aceleração do Universo iniciou-se, de acordo com as observações, há cerca de 5 a 10 mil milhões de anos. Antes dessa data a expansão do Universo estava em desaceleração e era dominada pela matéria (escura e luminosa).

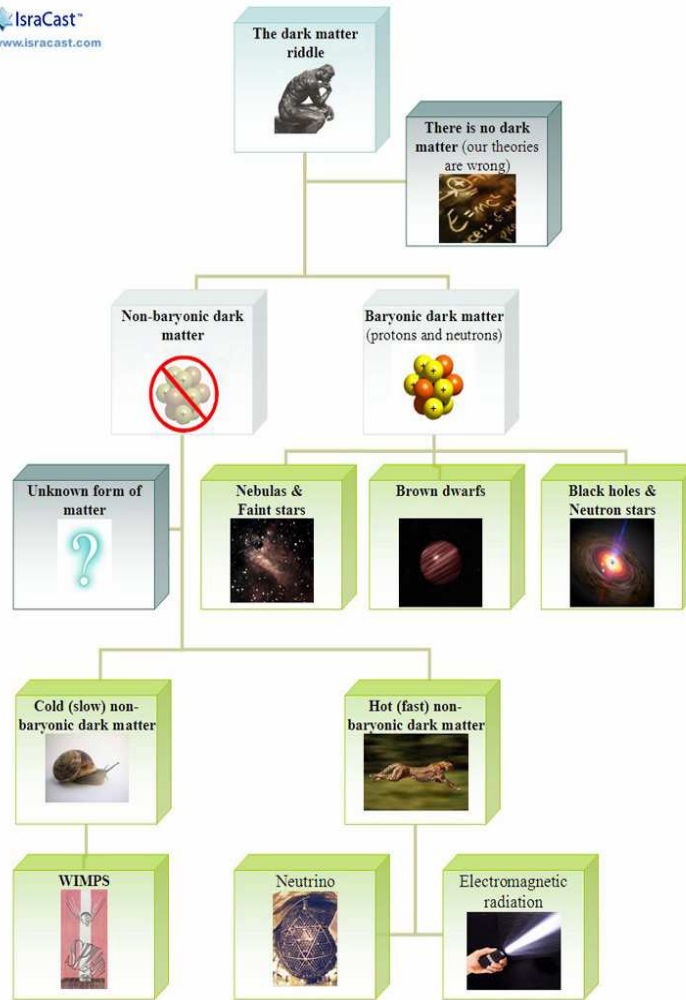


Figura 24 – Vários cenários para a resolução do problema da matéria escura

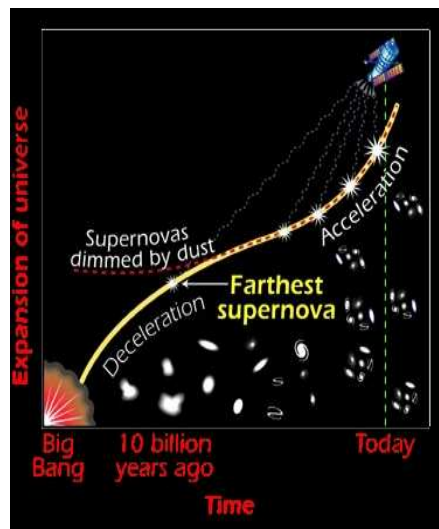


Figura 25 – A observação de supernovas distantes revelou que a expansão do Universo está a acelerar.

Uma **supernova do tipo Ia** ocorre quando uma estrela **anã branca** ganha massa de uma companheira e cresce até se tornar instável dando origem a uma explosão. A massa limite para isso acontecer é bem conhecida (é o chamado **limite de Chandrasekhar** que corresponde a **1.44 massas solares**) e o brilho da explosão é também bem conhecido. Assim as **supernovas Ia são as melhores velas padrão que se conhecem** para observações cosmológicas.

As observações sugerem a existência de uma energia com pressão negativa que atua contra a força de gravidade. Deu-se-lhe o nome de **energia escura**.

Nota: não devemos confundir matéria escura com energia escura. A matéria escura diz-se escura por não emitir luz, mas fazemos alguma ideia do que é. A energia escura tem esta designação apenas como forma de revelar a nossa ignorância acerca da sua natureza.

A natureza da energia escura é completamente desconhecida e a sua deteção direta afigura-se também, para já, muito complicada. A ideia mais simples para a explicação da energia escura é a de que esta é simplesmente o custo a pagar pela existência de espaço, ou seja, é a **energia intrínseca do espaço**.

Observações recentes do satélite *WMAP* (Fig. 26) revelam um **Universo praticamente plano**. Diversos estudos indicam que a totalidade da matéria (luminosa e escura) apenas contribui com aproximadamente 25% para a densidade total do Universo. Para garantir que o Universo é plano **a maior parte da sua densidade resulta da energia escura**.

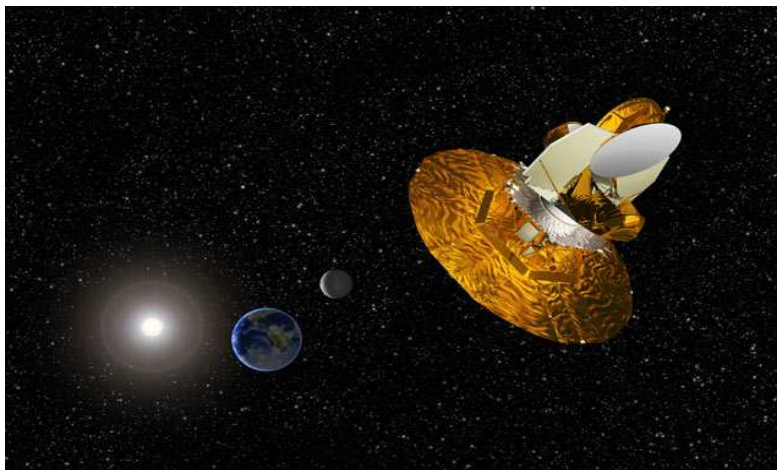


Figura 26 – O satélite WMAP responsável por grandes descobertas no campo da Cosmologia recente.

A aceleração do Universo iniciou-se, de acordo com as observações, há cerca de 5 a 10 mil milhões de anos. A continuar assim as galáxias fora do superenxame local vão sair do nosso horizonte deixando de ser visíveis. Por outro lado se a energia escura se tornar atrativa no futuro então o Universo poderá contrair-se dando origem ao **Big Crunch**. Se a energia escura acabar por dominar todas as outras forças então tudo o que existe no Universo será despedaçado dando origem a um **Big Rip**. Neste momento todas estas ideias são pura especulação.

8 - Aceleradores de partículas e o Modelo do Big Bang

Como vimos no módulo 9 o Modelo do Big Bang tem como um dos seus pilares fundamentais o Modelo Standard de Física de Partículas. Nos aceleradores de partículas, como o LHC, sempre que se provoca uma colisão de alta energia estamos a simular por breves instantes as condições existentes no Universo Primordial (Fig. 27). Ao longo dos últimos anos foram construídos aceleradores cada vez mais potentes. Quanto maior a potência maior o nosso recuo em direção ao passado. O LHC atinge energias ou temperaturas da ordem das que se verificavam quando o Universo tinha apenas cerca de 10^{-10} s.

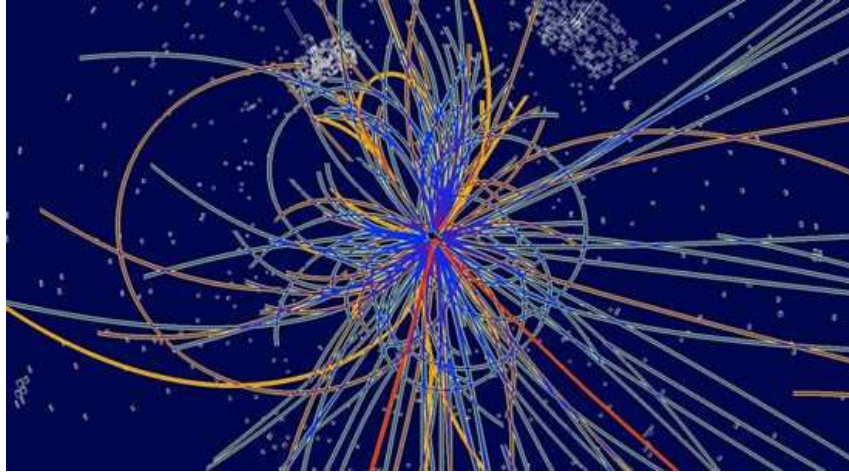


Figura 27 – Aspeto de uma colisão prótão-prótão no LHC. Analisando o rasto dos “destroços” podemos identificar diversas partículas e eventualmente descobrir outras novas.

9 - Em que Universo vivemos?

O Universo Observável é:

Plano, Isotrópico e Homogéneo;
Está em expansão acelerada;

É composto sobretudo por (Fig. 28).

energia escura (cerca de 70%) – que não sabemos o que é!
matéria escura (cerca de 25%) – que fazemos apenas alguma ideia do que é!
Nuvens de Hidrogénio e Hélio (cerca de 4 %) – são os elementos mais simples
Estrelas (cerca de 0.5%) – matéria luminosa
Neutrinos (cerca de 0.3%) – interagem pouco com a matéria
Elementos pesados (cerca de 0.03%) – incluem-se planetas, pessoas,....

Existem diversas questões em aberto. No início dos anos 90, do século XX, o grande problema era a matéria escura. De repente, no final da década a matéria escura continuava (e continua) a ser um problema, mas encontramos um aparentemente ainda maior: a energia escura. Para resolver questões como estas e outras desenvolvem-se novas teorias que podem levar para cenários mais exóticos como a inclusão de mais dimensões espaciais (além das três que nos são reveladas todos os dias pelos nossos

sentidos), universos paralelos, alargamento da população do modelo de partículas elementares etc.

Por vezes os problemas também trazem consigo soluções para outros problemas. Outro grande problema que nos atormentava no final do século XX era o fato de a idade das estrelas mais velhas da Nossa Galáxia ser superior à idade do Universo (de acordo com os modelos vigentes). A descoberta da energia escura revela que o Universo é na realidade um pouco mais velho, o suficiente para acomodar as tais estrelas mais velhas!

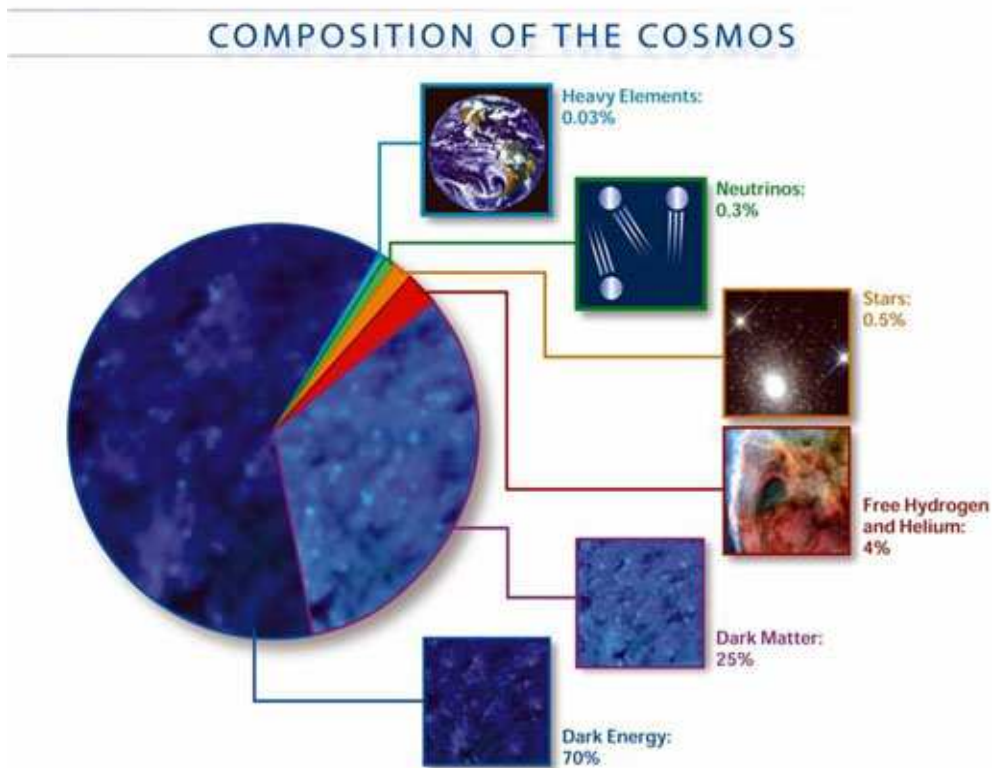


Figura 28 – Composição do Universo de acordo com o modelo atual.

Bibliografia principal:

- Freedman R. A. & Kaufmann III, W. J., 2005, *Universe*, seventh edition, W. H. Freeman and Company, New York.
- Kutner, M. L., 2003, *Astronomy: A Physical Perspective*, 2nd edition, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Sobrinho J. L. G., 2011, *The possibility of primordial black hole direct detection*, UMA [<http://digituma.uma.pt/handle/10400.13/235>].
- Modulo 8 - A Via Láctea e o Universo Local, Curso de Iniciação à Astronomia e Observações Astronómicas, 2012, Sobrinho J. L. G., Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira.

- Modulo 9 - O Big Bang e a evolução do Universo, Curso de Iniciação à Astronomia e Observações Astronómicas, 2012, Sobrinho J. L. G., Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira.

Nota: este texto foi especialmente preparado para ser utilizado como material de apoio ao módulo 10 do “Curso de Iniciação à Astronomia e Observações Astronómicas” o qual teve lugar entre 14 de abril e 05 de maio do ano de 2012, numa iniciativa conjunta da Associação de Astrónomos Amadores da Madeira (AAAM) e do Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira (GAUMa).
[<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Divulgacao/Cursos/AAAM2012/curso2012.htm>]

> 2012 Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira.