



Um modelo Standard para o Universo

Big Bang

tiny fraction of a second

Inflation

380,000 years

13.7 billion years

Laurindo Sobrinho

08 de março de 2014

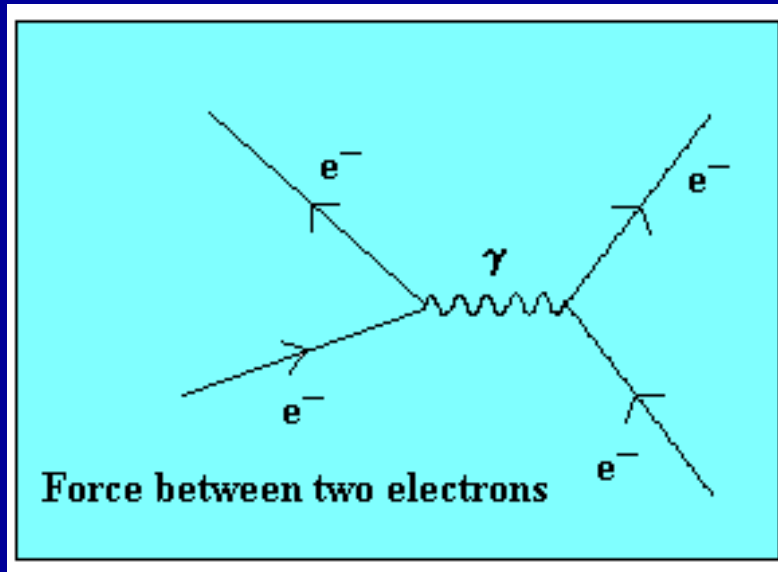
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Partículas e Forças

O nosso Universo é governado por **quatro forças fundamentais**: *força gravítica, força eletromagnética, força forte e força fraca*. Estas forças revelam-se quando duas ou mais partículas interagem entre si. Essa interação faz-se por meio da troca de partículas chamadas **bosões**.



<http://www.egglescliffe.org.uk/physics/particles/parts/parts1.html>

Diagrama de Feynman mostrando a interação entre dois elétrons.

Do ponto de vista clássico sabemos que os dois elétrons repelem-se pois trata-se de cargas do mesmo sinal.

Na escala quântica os dois elétrons aproximam-se (sem se tocarem), trocam um fóton entre si, e depois afastam-se.

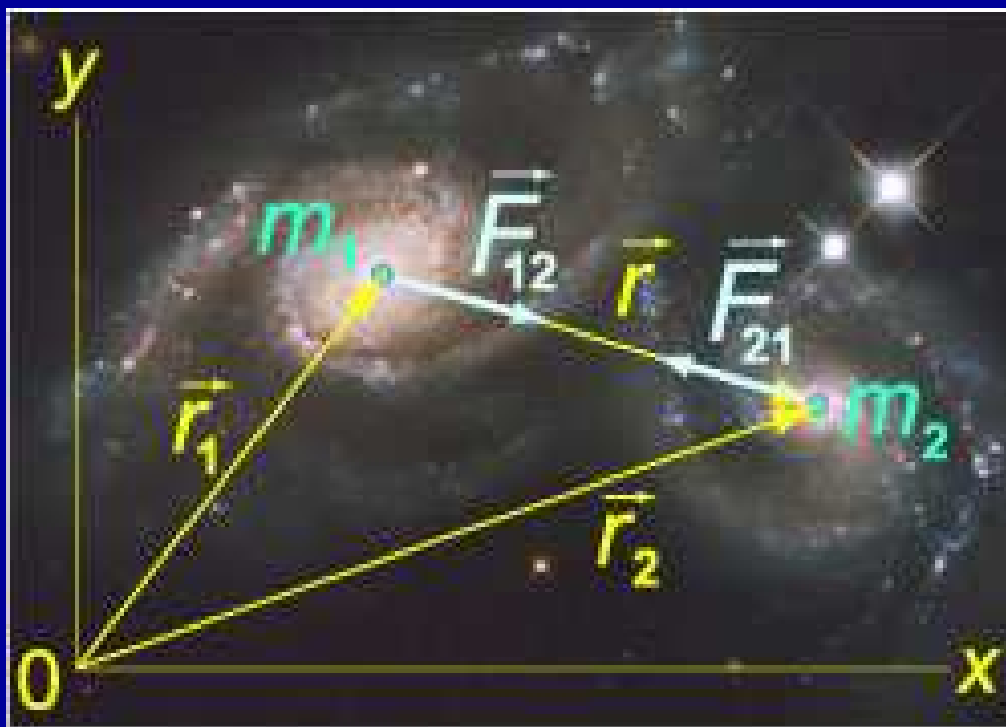
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



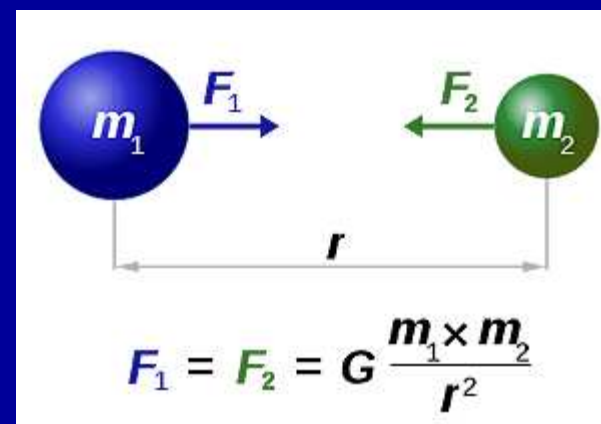


Universidade da Madeira

Gravidade: força de longo alcance que atua entre os corpos que têm massa. É mediada por **gravitões** (partículas nunca observadas).



<http://www.math24.net/law-of-universal-gravitation.html>



<http://plus.maths.org/content/how-does-gravity-work>

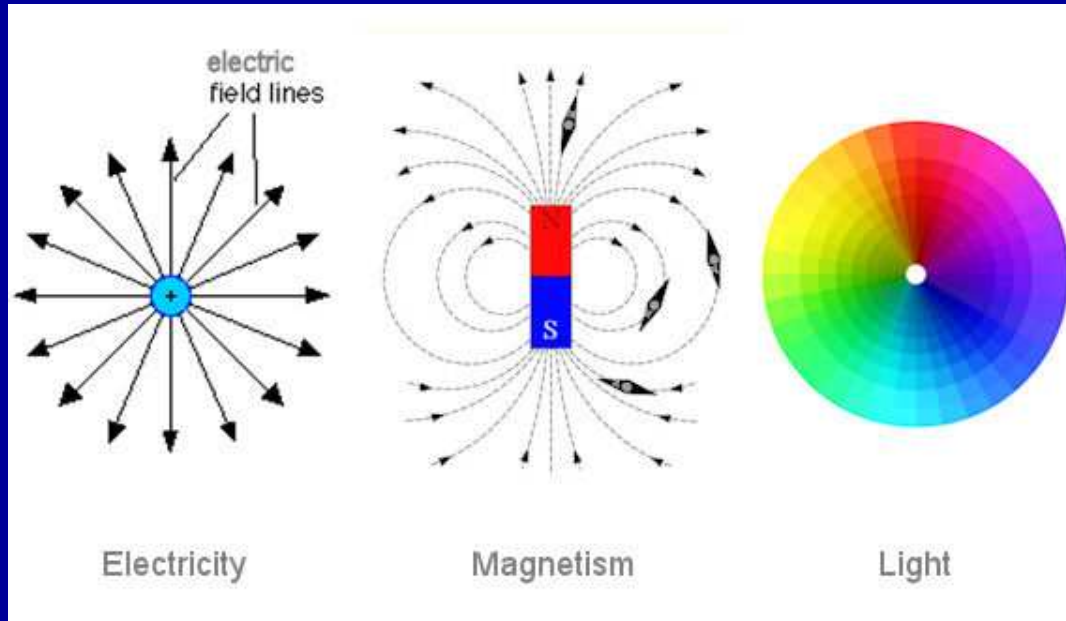
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





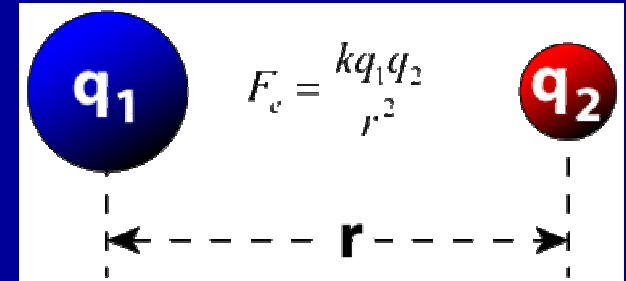
Universidade da Madeira

Eletromagnética: força de longo alcance que atua entre partículas com **carga elétrica** (e.g. prótons, elétrons). É mediada por **fotões**. Manifesta-se sob a forma de campo elétrico ou de campo magnético



<http://universe-review.ca/F15-particle.htm>

Lei de Coulomb:



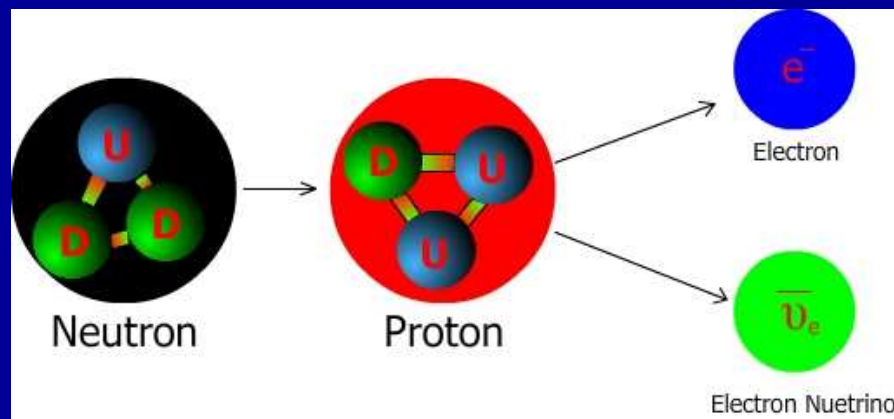
<http://www.aplusphysics.com/courses/honors/estat/Coulomb.html>

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

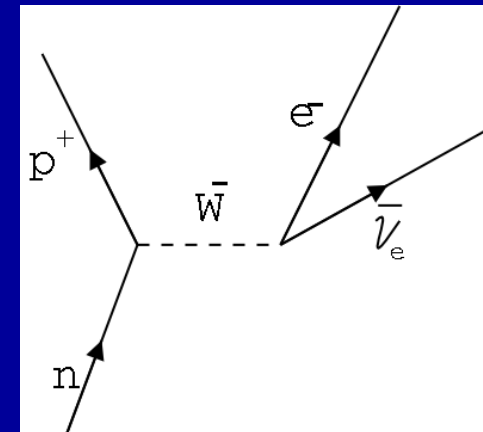




Força fraca: força de curto alcance responsável por certos processos nucleares como o **decaimento beta** (e.g. conversão entre um neutrão e um próton com a emissão de um eletrão e de um antineutrino). É mediada por **bosões W e Z**.



<http://www.barnsley.org/penistone-grammar/science/HTML%20Files/Quarks.html>



<http://pfnicholls.com/physics/particles4.html>

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

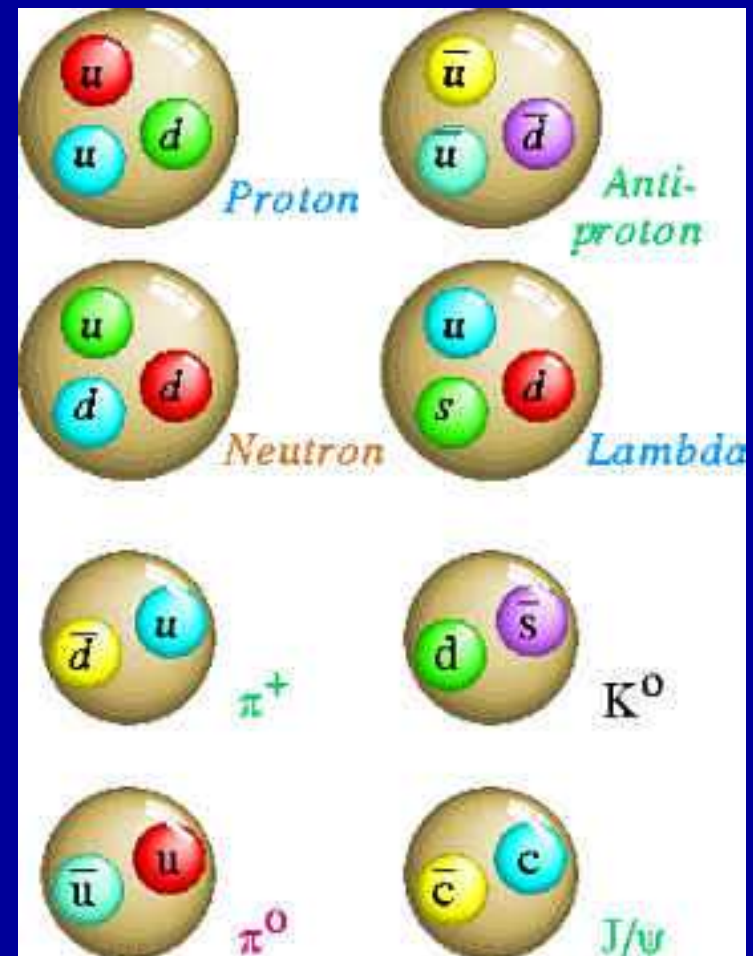




Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

Força forte: força de curto alcance que atua entre partículas com **carga de 'cor'**, ou seja, entre gluões e quarks. É, por exemplo, a força responsável por manter a coesão dos quarks num protão (uud). É mediada por **gluões**.



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Fundamental Forces

<i>Strong</i>	<p>Force which holds nucleus together</p>	Strength 1	Range (m) 10^{-15} (diameter of a medium-sized nucleus)	Particle gluons, π (nucleons)
<i>Electro-magnetic</i>		Strength $\frac{1}{137}$	Range (m) Infinite	Particle photon mass = 0 spin = 1
<i>Weak</i>	<p>neutrino interaction induces beta decay</p>	Strength 10^{-6}	Range (m) 10^{-18} (0.1% of the diameter of a proton)	Particle Intermediate vector bosons W^+ , W^- , Z_0 mass > 80 GeV spin = 1
<i>Gravity</i>		Strength 6×10^{-39}	Range (m) Infinite	Particle graviton? mass = 0 spin = 2

hyperphysics.phy-astr.gsu.edu.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



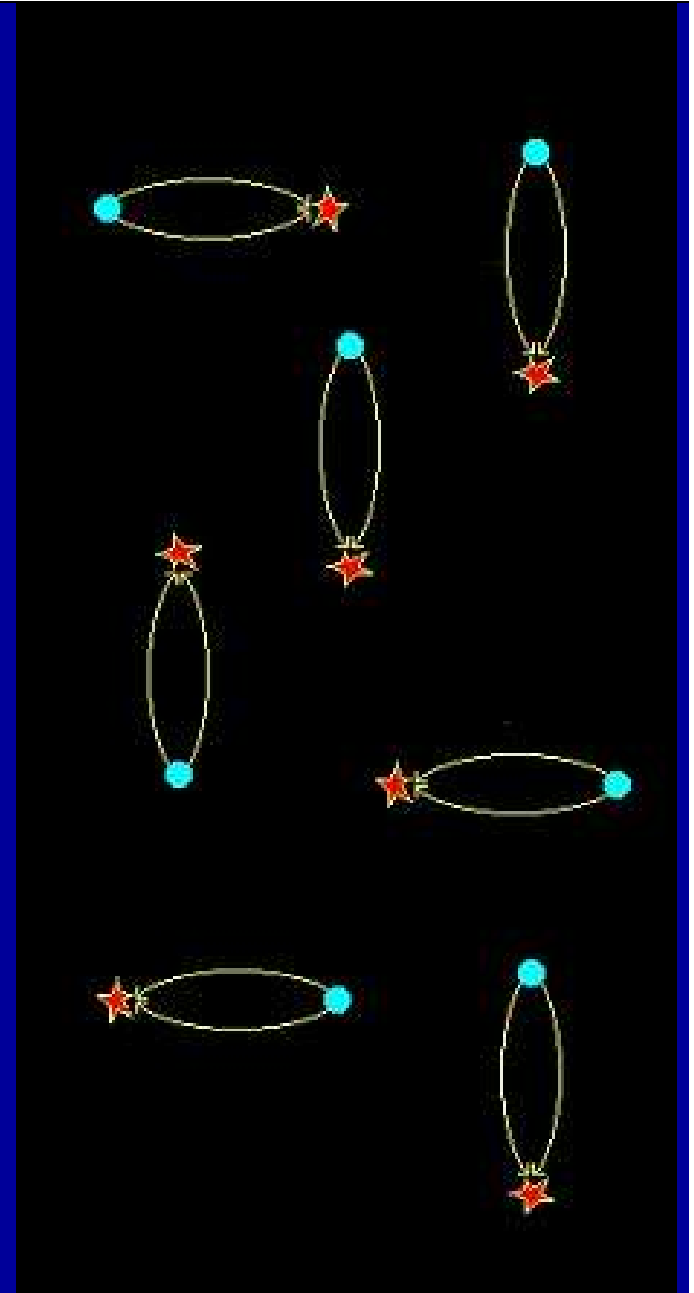


Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

De acordo com o **Princípio da Incerteza de Heisenberg**, o **espaço vazio** não pode ser considerado completamente vazio. Existe sempre uma certa quantidade de incerteza associada a cada ponto do espaço. Essa incerteza manifesta-se na forma de **flutuações** partícula-antipartícula (por exemplo fóton-antifóton, elétron-antieletrão ...).

Cada par separa-se por breves instantes para logo depois se aniquilar novamente. Um dos elementos do par tem energia $+E$ e o outro energia $-E$ pelo que a energia total do par é nula, garantindo assim a conservação da energia. Estas partículas não são detetáveis e por isso dizem-se partículas virtuais.



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

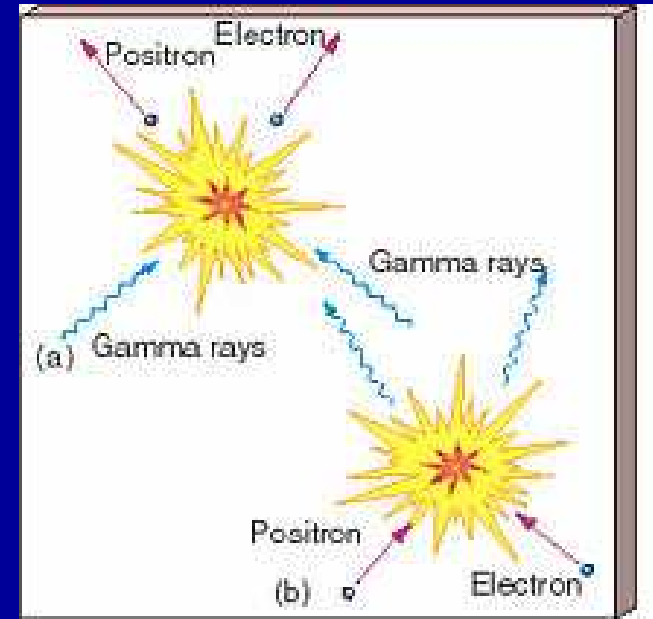




No entanto, se por meio de algum processo, aplicarmos energia suficiente conseguimos separar as duas partículas tornando-as em **partículas reais**.

Podemos criar, por exemplo, um par elétron – positrão (matéria – *antimatéria*).

Mais tarde as duas partículas podem encontrar-se e aniquilar-se resultando daí a libertação de radiação eletromagnética.



(c) Separação de um par elétron-positrão.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge	2/3	2/3	2/3	0
spin	1/2	1/2	1/2	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	±1
	1/2	1/2	1/2	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

Gauge Bosons

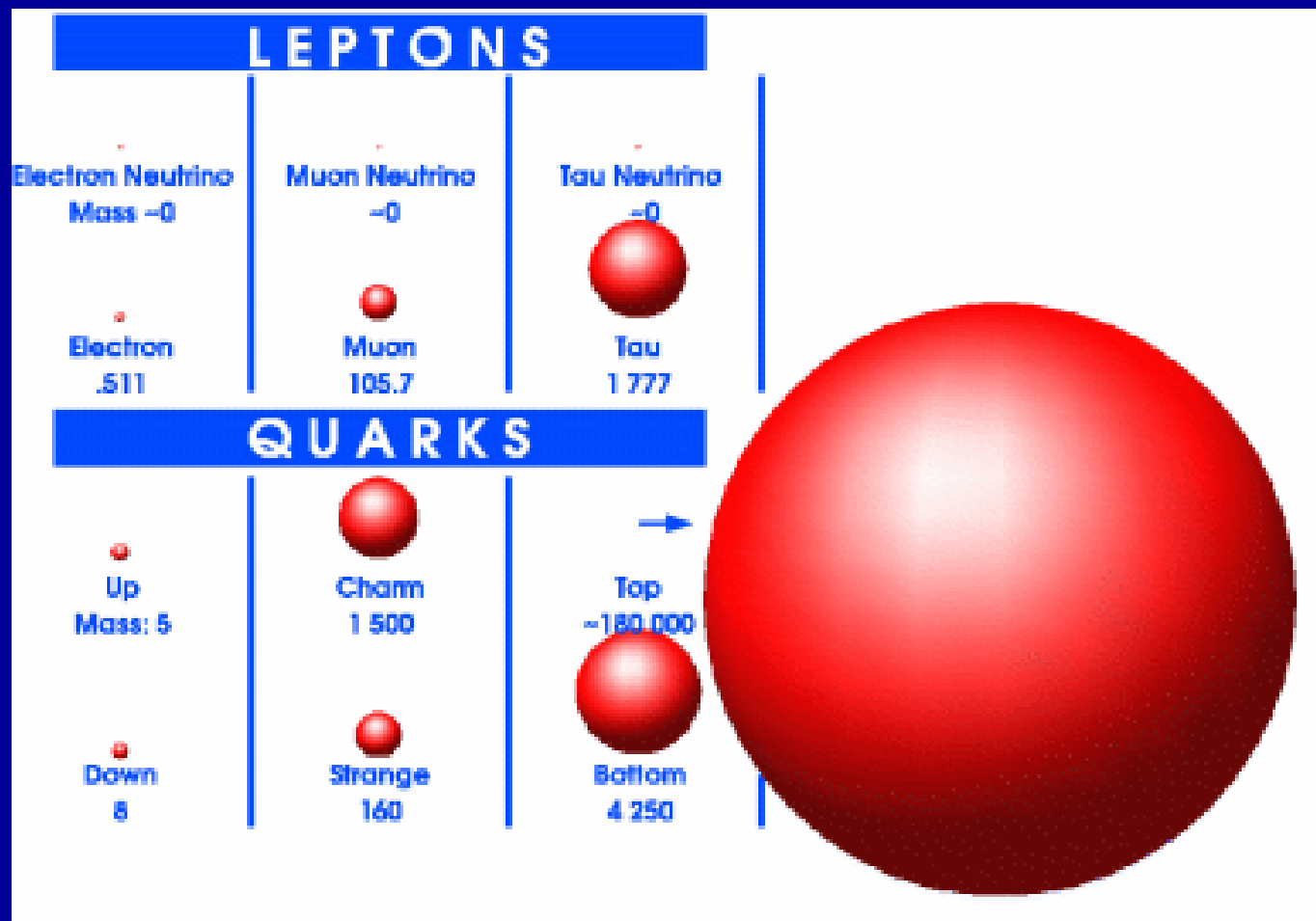
Modelo Standard de Física de Partículas (SMPP):

O SMPP foi testado com grande sucesso e precisão, descreve a teoria das interações Forte, Fraca e Eletromagnética. A interação gravítica fica de parte pois ainda não temos uma Teoria da Gravidade Quântica.

Existem partículas que não reagem à força Forte. Estas designam-se por leptões. *O eletrão é um leptão.*

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





O raio de cada partícula representa a energia e não a dimensão física

<http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/WWW/results/final/TOP/T05D/T05D.htm>

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge	2/3	2/3	2/3	0
spin	1/2	1/2	1/2	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	±1
	1/2	1/2	1/2	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

Gauge Bosons

Uma das propriedades utilizadas para classificar as partículas elementares é o chamado *spin* (que podemos interpretar como uma espécie de rotação).

Bosões: spin inteiro

Fermiões: spin fracionário

Um bosão especial é o chamado **bosão de Higgs** (não representado neste esquema) que é o responsável pelo facto de as partículas terem massa.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

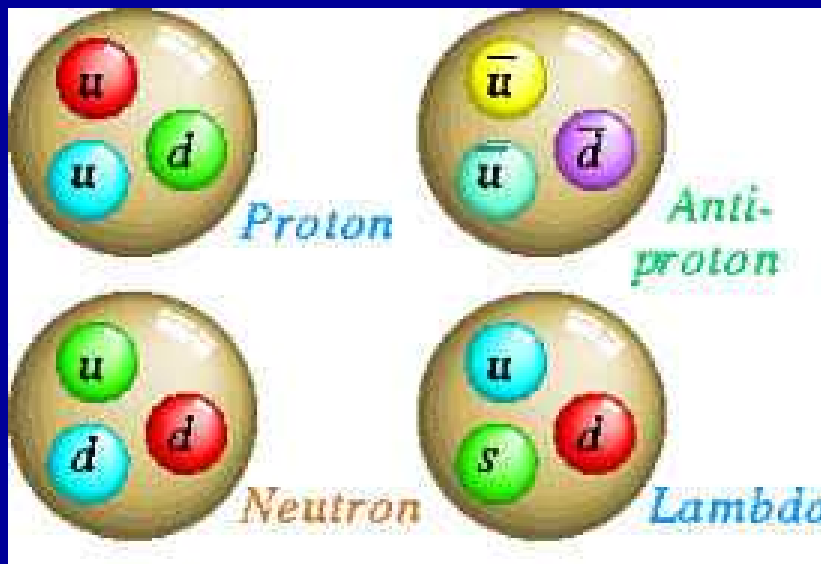




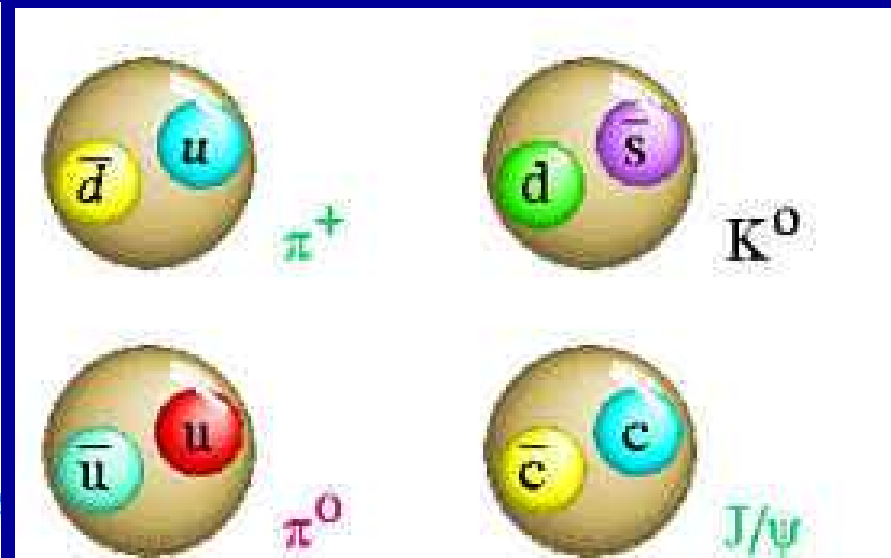
Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

Os quarks podem juntar-se para formar partículas compostas chamadas *hadrões*. Se os hadrões tiverem spin inteiro então chamam-se *mesões*, caso contrário chamam-se *bariões*.



Exemplos de bariões



Exemplos de mesões

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Existem 3 constantes fundamentais na natureza:

Velocidade da luz (c), Constante de gravitação (G) e constante de Planck (h). Podemos combinar estes valores de diversas formas. Em particular fazendo:

$$t_P \equiv \sqrt{\frac{hG}{c^3}} \approx 5.39106(32) \times 10^{-44} \text{ s}$$

obtemos uma grandeza com as dimensões do tempo. A ordem de grandeza do seu valor é de 10^{-43}s . Este intervalo de tempo, designado por *tempo de Planck*, representa o instante mais pequeno com significado para a Física atual. Se multiplicarmos este valor pela velocidade da luz obtemos uma distância (10^{-35}m): é o chamado *comprimento de Planck* e representa a distância mais pequena com significado para a Física atual.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Big Bang

Era de Planck

Quando a idade do Universo era inferior ao Tempo de Planck todas as quatro forças fundamentais estavam unificadas numa única força . Durante esta fase, designada por era de Planck, a teoria da Relatividade Geral deve ser substituída por uma *Teoria da Gravidade Quântica* (combinando a Relatividade Geral com a Mecânica Quântica).

Esta teoria deve unificar a gravidade ao lado das outras três forças fundamentais. Seria aquilo a que chamamos uma **Teoria de Tudo**. Alguns físicos/matemáticos (e.g. Roger Penrose) defendem que esta teoria deve ser puramente matemática.

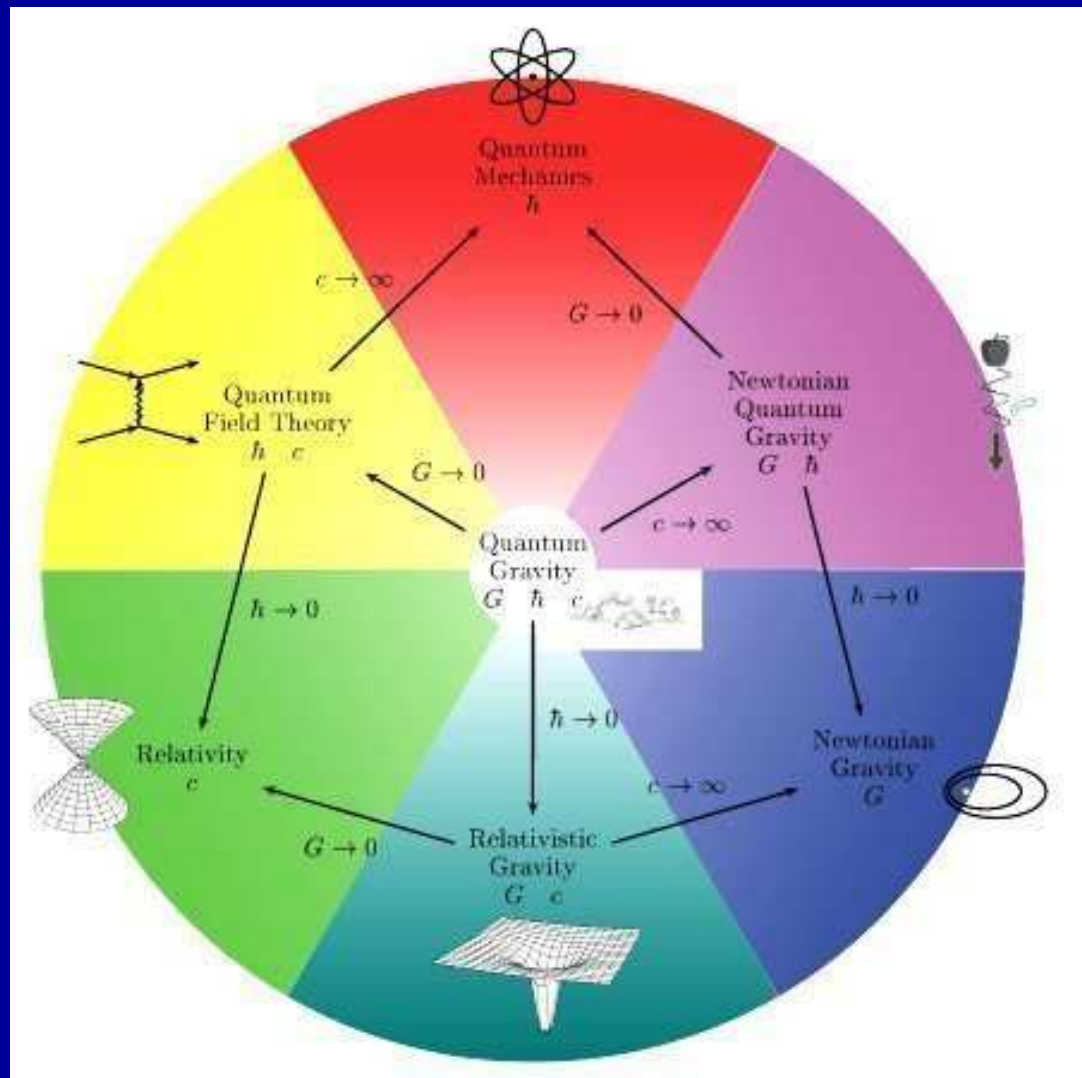
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



<http://universe-review.ca/F15-particle.htm>



Universidade da Madeira

Era da Grande Unificação $t = 10^{-43} s$

Quando a idade do Universo é da ordem do tempo de Planck a força gravítica separa-se das outras três que continuam unificadas. Entramos na Era da Grande Unificação.

O Universo é, nesta fase, um plasma composto por quarks, glúons, léptões, fótons, bósons X e respetivas antipartículas. Todas as partículas estão presentes em igual abundância e são continuamente convertidas umas nas outras mediante colisões altamente energéticas.

Em particular os bósons X (partícula hipotética) são responsáveis pela conversão entre léptões e quarks.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

O Universo encontra-se em expansão e, portanto, a sua temperatura decresce. Haverá um momento a partir do qual as colisões deixaram de ser suficientemente energéticas para produzirem mais bosões X.

Os bosões X consumidos nas colisões deixam de ser substituídos por outros novos. Deixa também de ser possível a conversão entre leptões e quarks.

Como consequência temos que a Força Forte separa-se das outras duas num processo a que designamos por transição Forte-EletoFraca:

$$t = 10^{-35} \text{ s}$$

A partir deste momento apenas as forças Fraca e Eletromagnética continuam unificadas (constituindo a chamada força EletoFraca).

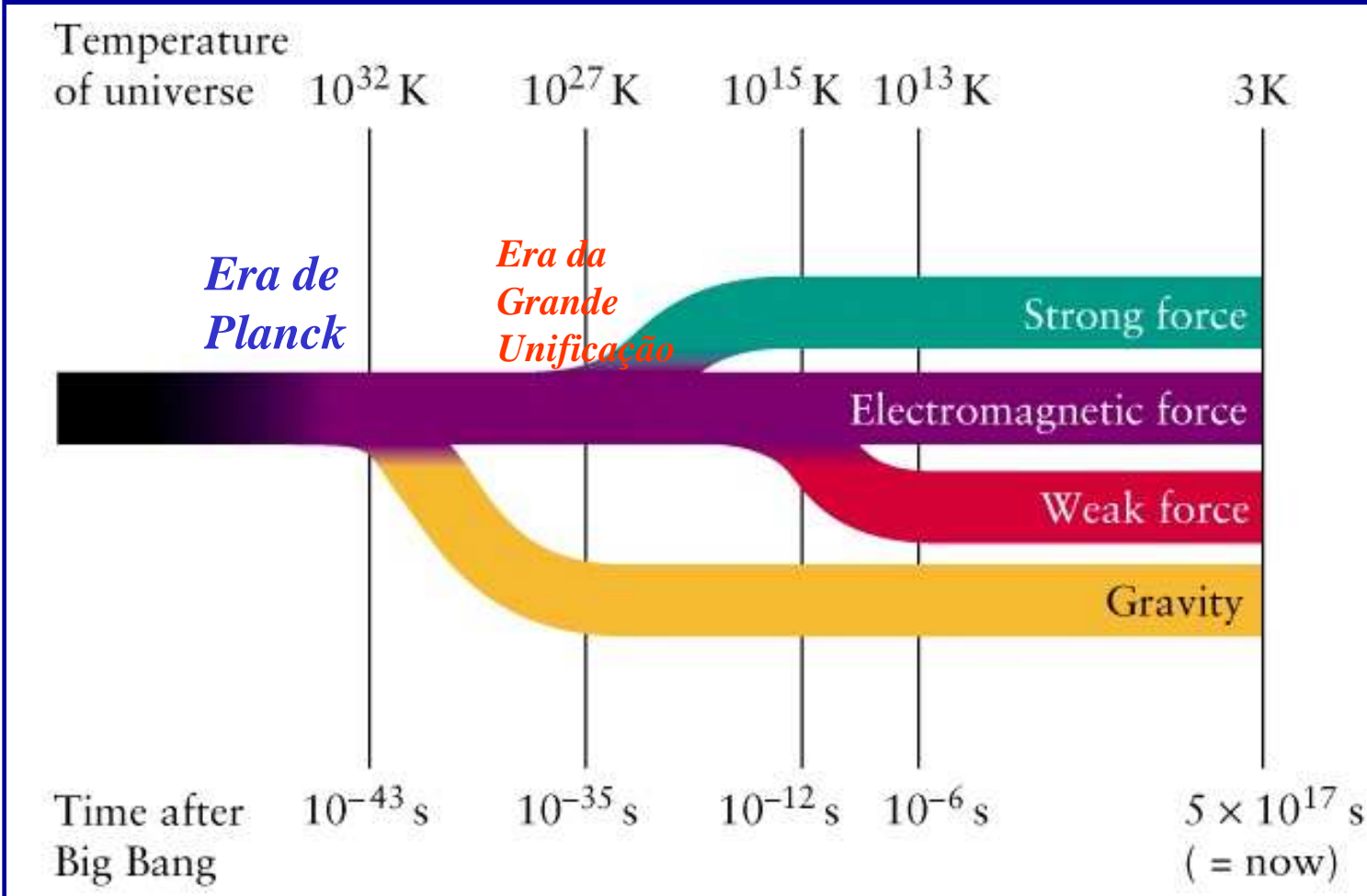
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



<http://web.williams.edu/astronomy/Course-Pages/330/images/forces.jpg>

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

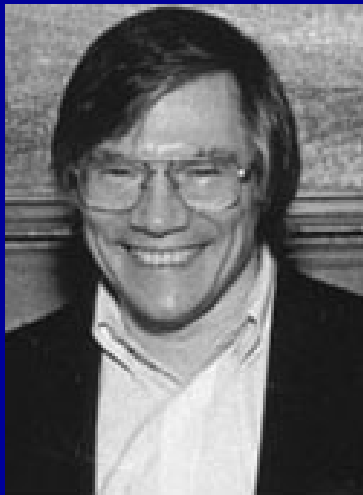




Universidade da Madeira

Inflação $t = 10^{-35} s$

Juntamente com a separação das forças ocorreu no Universo um processo de inflação. O Universo deixou de se expandir ao ritmo normal para sofrer uma expansão exponencial. O tamanho do Universo aumentou entre 10^{50} e 10^{70} vezes. Durante esta fase o Universo foi completamente dominado por um campo designado por *inflaton*.



GUTH

Alan Guth sugeriu em 1981 a ideia de um Universo inflacionário. Embora discutível a introdução do mecanismo de inflação na teoria do Big Bang permite resolver uma série de problemas (que estavam em aberto).

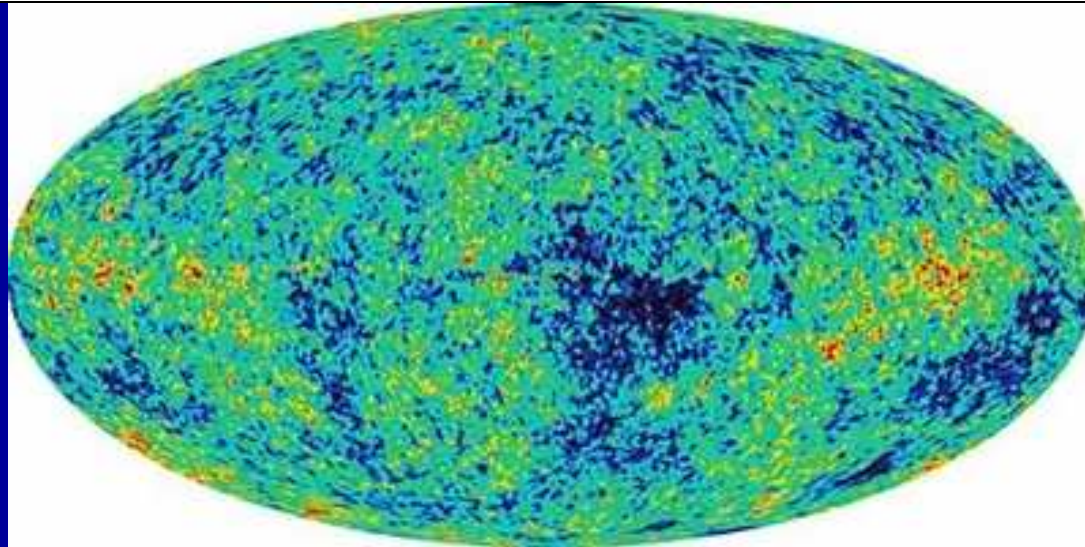
O universo continua a ser descrito de acordo com a teoria do Big Bang mas com uma fase adicional introduzida no final da era da Grande Unificação.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira



Mapa da CMB obtido pelo WMAP

http://cosmology.berkeley.edu/Education/CosmologyEssays/The_Cosmic_Microwave_Background.html

A partir da observação sabemos que a distribuição da radiação cósmica de fundo é isotrópica (é a mesma em qualquer direção).

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).

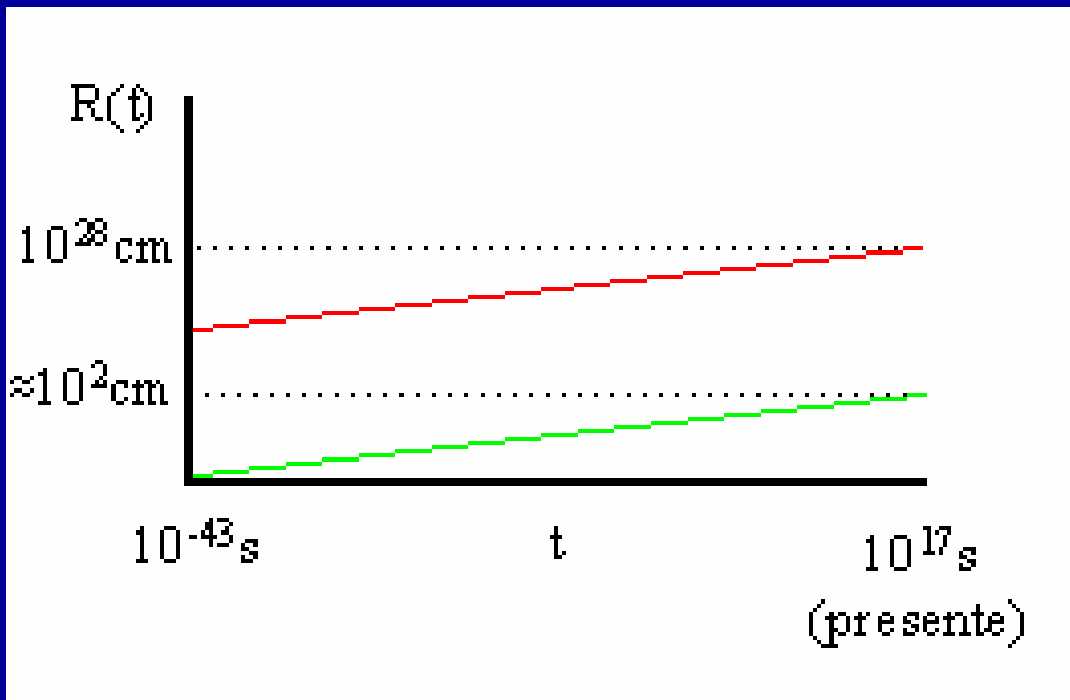
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Sabemos estimar a dimensão e a idade do Universo. 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. Existe assim uma falha no modelo Standard do Big Bang. É o chamado *Problema do Horizonte*.



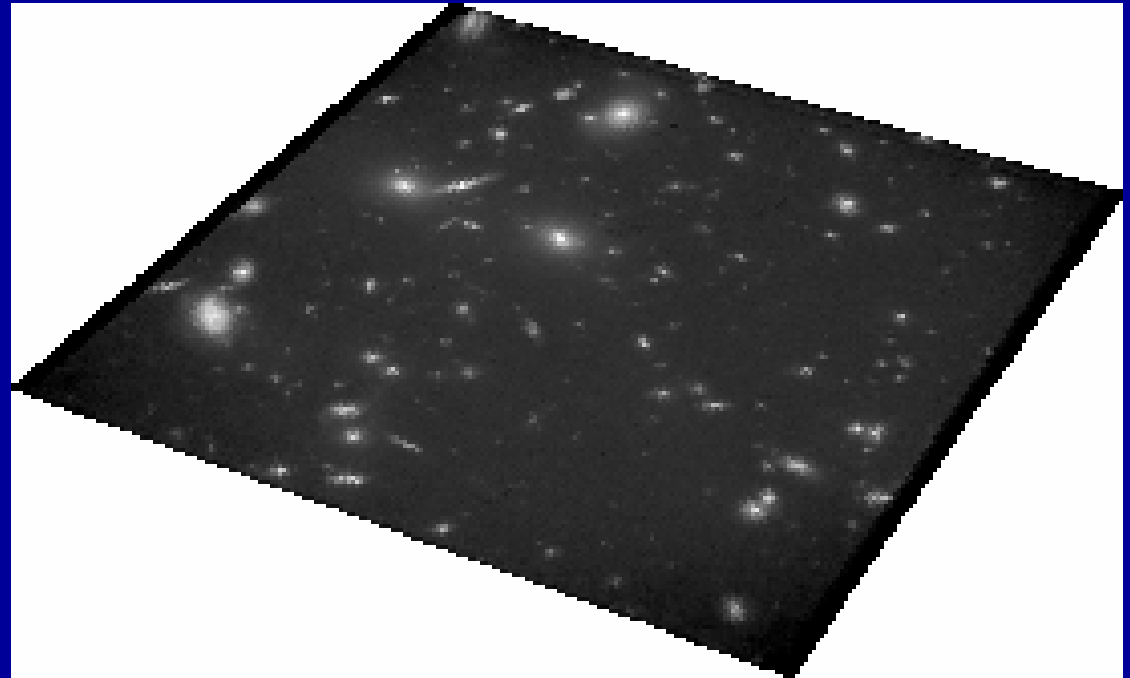
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





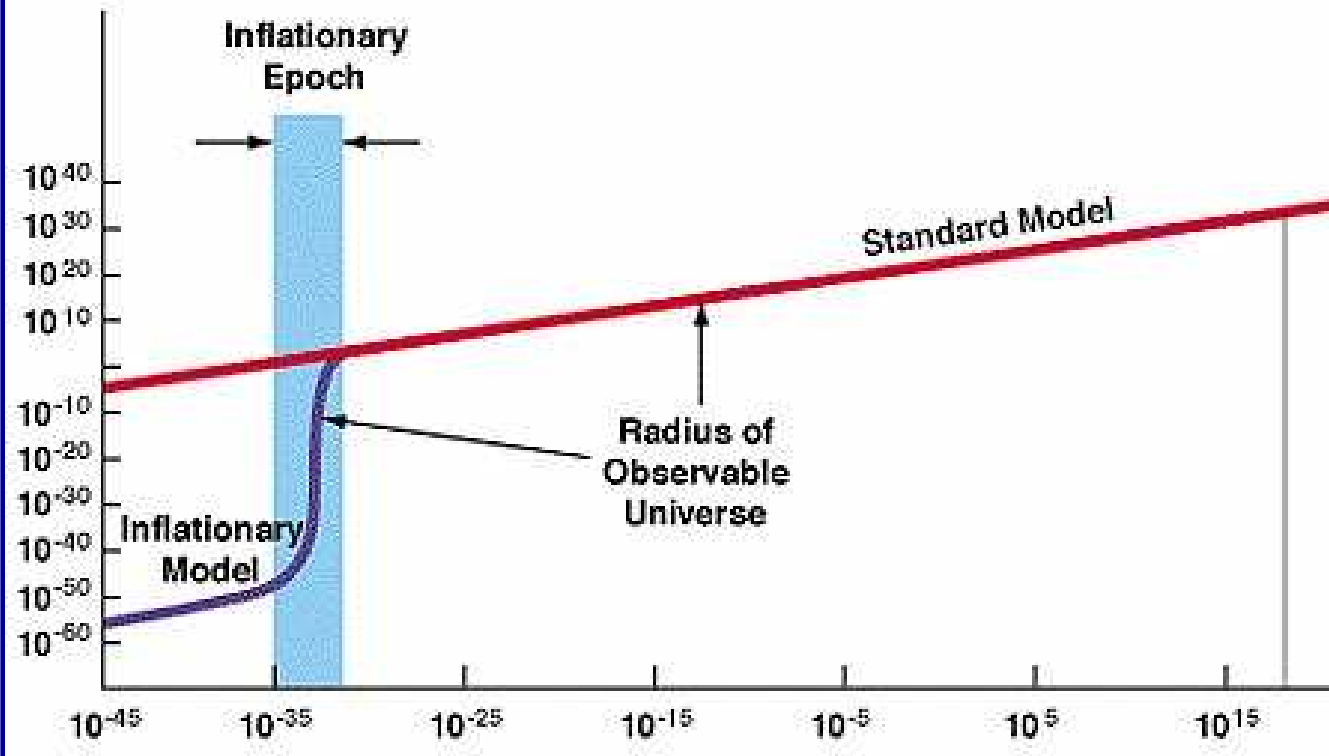
Universidade da Madeira

As observações recentes mostram que *o Universo é plano* o que significa que a densidade do Universo é muito próxima da densidade crítica. Mas, se não fosse assim 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 pois explicar por si só a razão pela qual o Universo é plano.



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





De acordo com o mecanismo da inflação durante breves instantes (10^{-35} s a 10^{-33} s) o Universo foi dominado por uma força que **acelerou exponencialmente a expansão do Universo**. O campo responsável pela inflação designa-se normalmente por *inflação*. O tamanho do Universo aumentou entre 10^{50} e 10^{70} vezes.

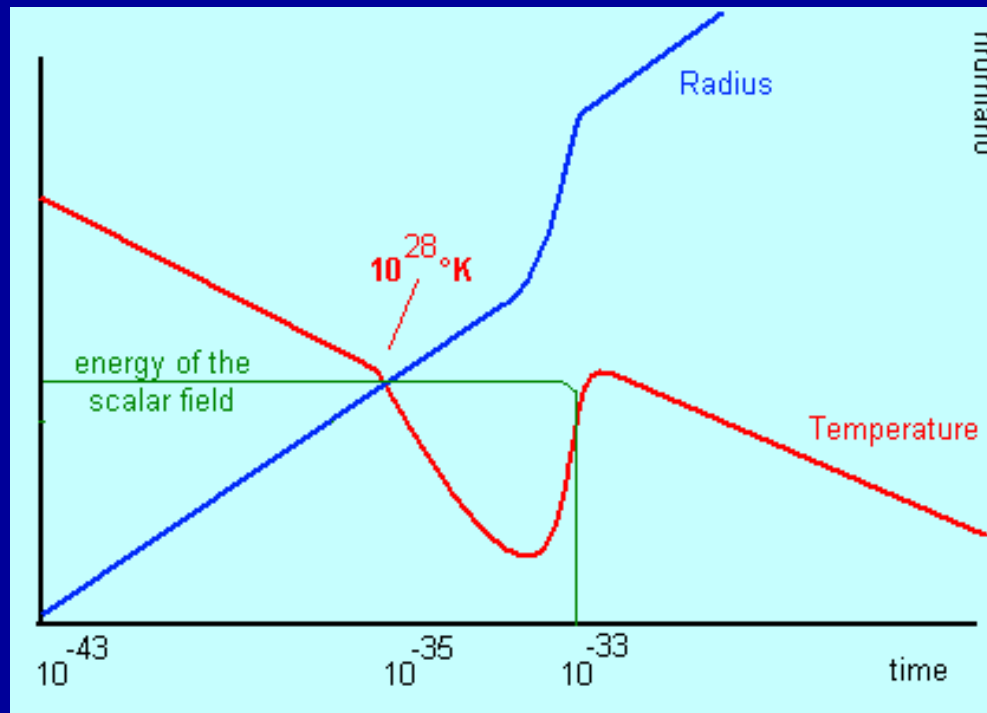
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

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. Depois da inflação a expansão do universo retomou a normalidade.

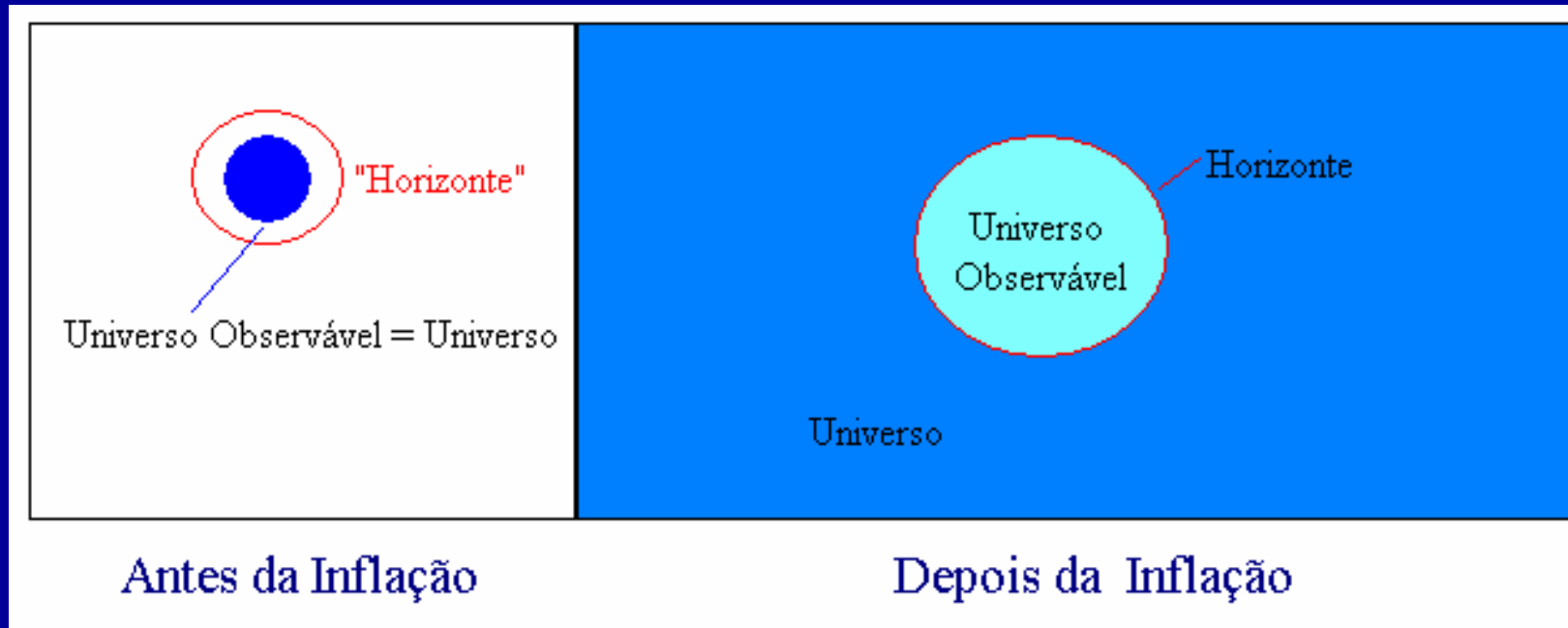


Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira



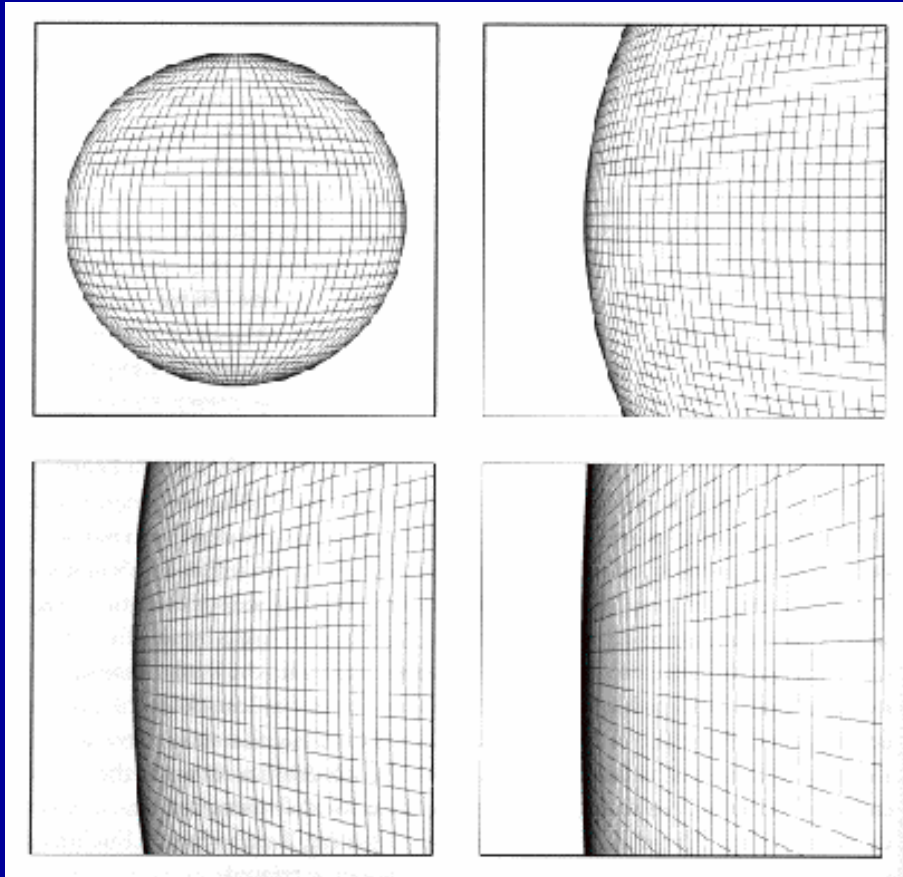
Antes da inflação todas as regiões do Universo estavam em contacto causal. Depois da inflação o *horizonte* de qualquer observador passa a ser muito menor do que o Universo. Para cada observador existe um *Universo Observável* cuja dimensão, que designaremos por horizonte, é muito inferior à dimensão do *Universo* na sua globalidade.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira



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.

Explica também de uma forma muito simples a **geometria plana do universo**, pois, o universo observável é apenas uma pequena fração do todo.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





A Era dos Quarks e a transição Eletro-Fraca

O período entre o final da inflação (10^{-33} s) e 10^{-10} s é designado por *Era dos Quarks*. Nesta fase o Universo consiste num plasma composto por quarks, fótons, glúons e as suas antipartículas. Pares partícula-antipartícula estão constantemente a ser criados e aniquilados.

Quando a temperatura do Universo atinge os 180 GeV deixa de ser possível criar quarks do tipo top (ou do tipo anti-top) pois a energia destes é 180 GeV.

Assim os quarks top e anti-top existentes no Universo aniquilam-se mutuamente ou decaem em partículas menos energéticas deixando, assim, de existir na natureza. O mesmo acaba acontecendo com o leptão tau (ou tauão) e com os quarks bottom e charm....

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



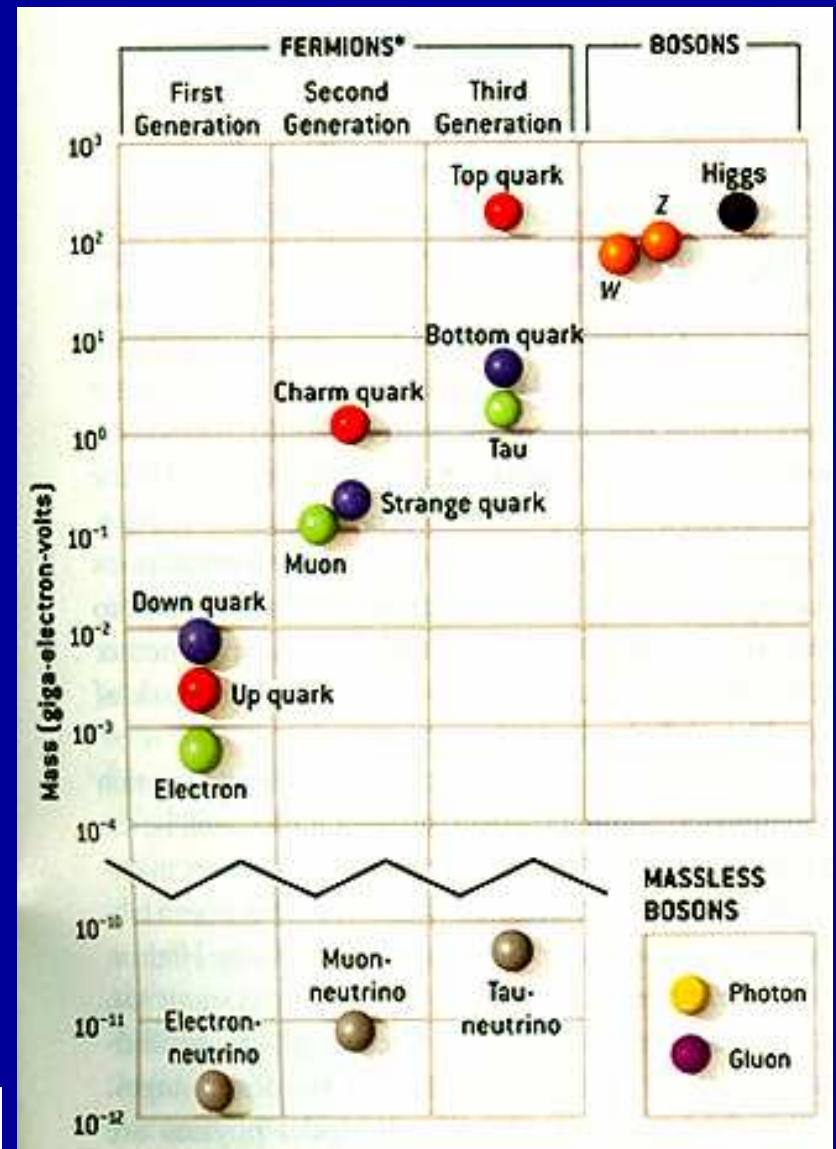


Universidade da Madeira

O **universo primordial** era dominado pela **radiação**. A criação, separação e aniquilação de pares partícula-antipartícula é uma constante.

À medida que a expansão vai avançando o Universo arrefece gradualmente.

Os pares partícula-antipartícula mais energéticos vão gradualmente deixando de poder ser separados pois já não existe radiação para tal.



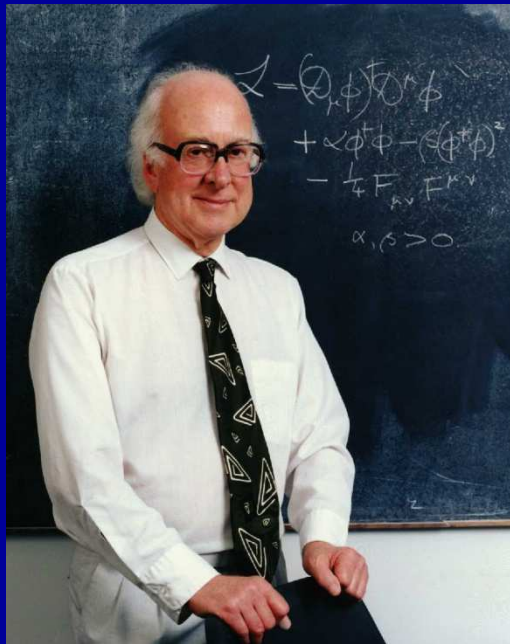
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Quando a temperatura do Universo desce aos 100 GeV (aprox. 10^{-10} s) estão reunidas as condições para que a Força Fraca e a Força eletromagnética se separem. O processo designa-se por **transição Eletro-Fraca** (EW). A partir deste momento a Força Fraca passa a ser mediada pelos bosões Z e W e a força eletromagnética pelos fótons. Todas as quatro forças estão separadas a partir deste momento.



É também durante este processo que entra em cena o **bosão de Higgs** o qual confere **massa** às partículas materiais.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



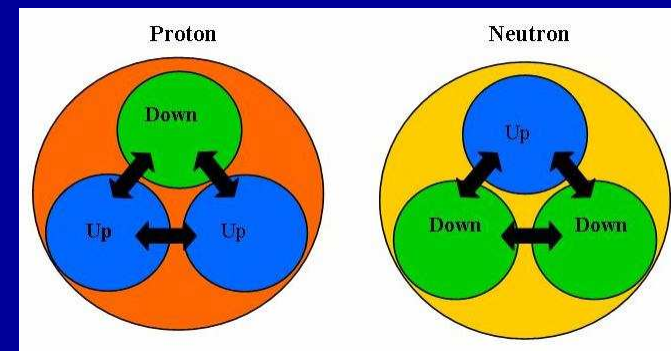


Universidade da Madeira

A era dos quarks continua depois desta transição Eletro-Fraca.

À medida que decorre a expansão, e o Universo vai arrefecendo, podem formar-se partículas cada vez mais elaboradas. Estão nesta situação os bariões (partículas compostas por quarks – **charmiões** se incluírem o quark charm, **hiperões** se incluírem o quark strange mas não o charm). São partículas que tem no entanto tempos de vida muito curtos (como conseguimos comprovar experimentalmente).

Quando a idade do Universo se aproxima dos 10^{-4} s ocorre a chamada transição quark-hadrões (QCD) durante a qual os quarks up e down juntam-se com a ajuda dos gluões para formarem neutrões e protões estáveis (pois a radiação existente já não é suficiente para destruir estas partículas compostas)



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Era dos Leptões $t = 3.5 \times 10^{-4} s$

Esta fase começa logo depois de terem decaído os últimos mesões Pi (ou piões). O Universo é agora composto por fótons, prótons, neutrões, eletrões, positrões, neutrinos e antineutrinos (já muito semelhante à constituição atual).

Quando a idade do Universo é de 1s os neutrinos deixam de participar nas colisões podendo então mover-se livremente a grandes distâncias. Dizemos que o Universo tornou-se transparente para os neutrinos. Muitos dos neutrinos que cruzam o Universo no presente são provenientes desta época.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

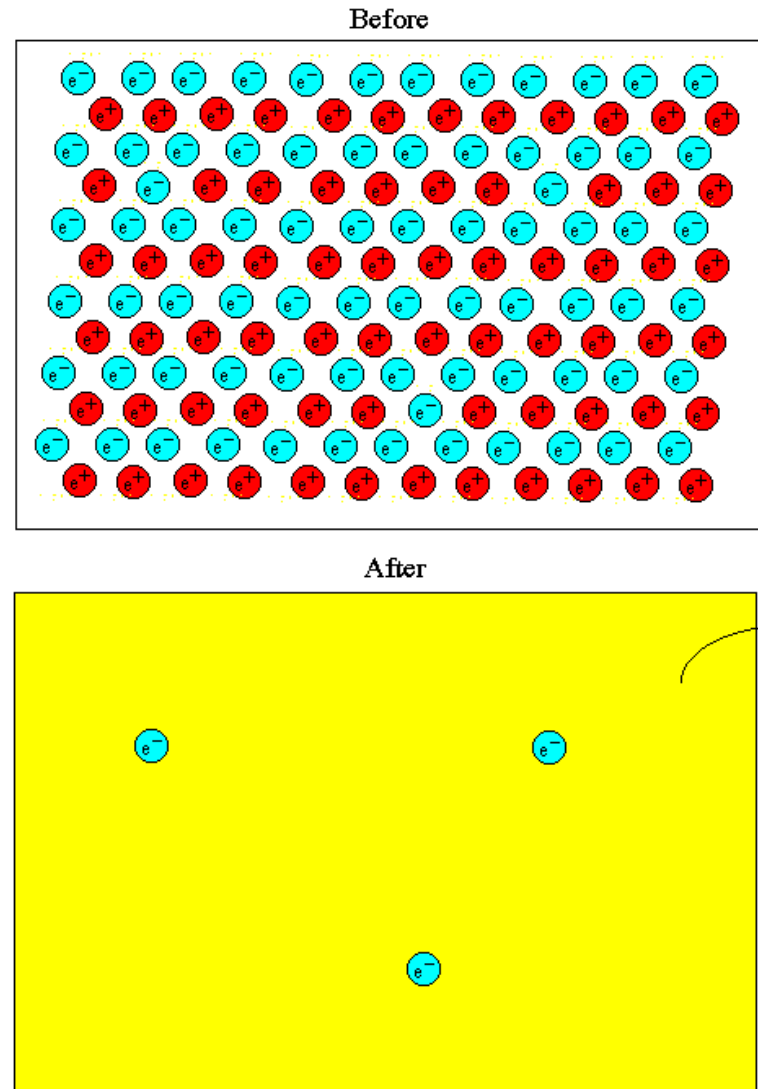




Universidade da Madeira

Aos **3s** deixam de ser produzidos pares de partículas elétron-positrão. Os *positrões existentes aniquilam-se com os elétrões* sobrando no processo apenas um pequeno excesso de elétrões: aqueles que existem no Universo atual.

Este evento marca o fim da era dos leptões.



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



http://abyss.uoregon.edu/~js/21st_century_science/lectures/lec26.html



Nucleosíntese primordial

$$t = 200s$$

$$T = 10^9 K$$

O Universo continua a expandir-se e, conseqüentemente, a arrefecer. Aos 200s prótons e neutrões podem juntar-se de forma estável formando os primeiros núcleos atómicos num processo designado por Nucleosíntese primordial.

A primeira reação de fusão nuclear a ter lugar é aquela em que um próton e um neutrão juntam-se para dar origem a um núcleo de Deutério. Nesta fase já não existem fótons com energia suficiente para separar as duas partículas. Assim praticamente todo o deutério formado nesta época continua presente no Universo atual.

A partir do momento em que existe uma determinada abundância de deutério no Universo estão reunidas as condições para que se produzam núcleos mais complexos (trítio, Helio-3, Helio-4, Lítio e Berílio)

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

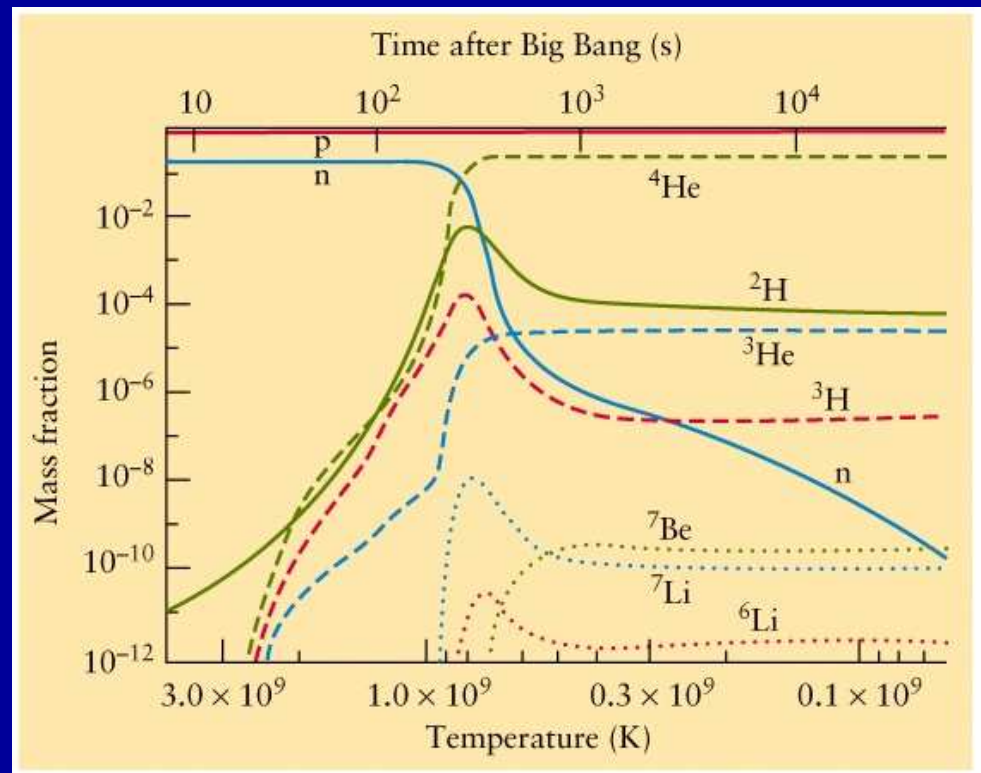




Universidade da Madeira

A nucleosíntese primordial termina aos **1000s** deixando o Universo composto, em termos de matéria, por núcleos de Hidrogénio, Hélio e vestígios de Lítio e Berílio.

A partir deste momento a temperatura do Universo, cada vez mais baixa, não permite as aproximações necessárias entre componentes para que se formem elementos mais complexos.



↑ ↑
Nucleosíntese
primordial

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

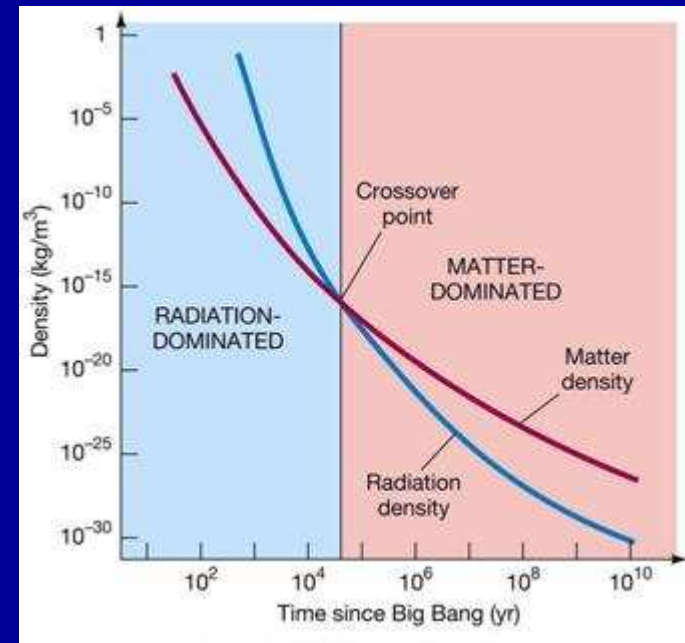




Universo dominado pela matéria

O Universo continua em expansão. A densidade total da radiação bem como a densidade total de matéria decrescem continuamente, ou seja, os fótons e núcleos atômicos diluem-se num volume cada vez maior. Para além disso, os fótons também perdem energia (são desviados para o vermelho - *redshift*) pelo que a densidade da radiação (fótons) decresce mais rapidamente do que a da matéria (núcleos atômicos).

Quando a idade do Universo é da ordem dos 100 000 anos a densidade da matéria ultrapassa em valor densidade da radiação. O Universo deixa de ser dominado pela radiação para passar a ser dominado pela matéria.



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



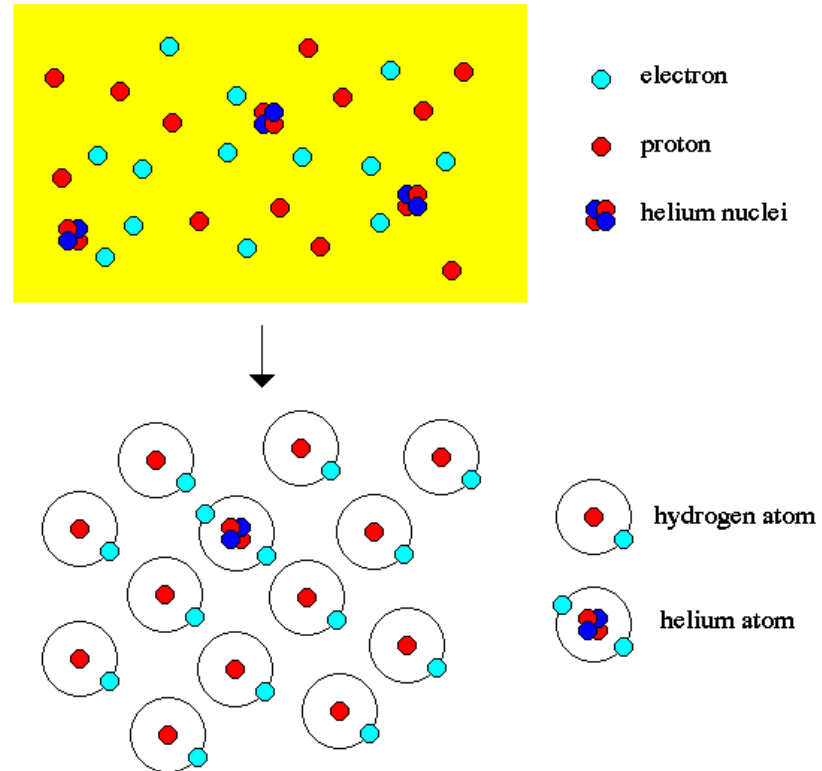


Era da Recombinação

Aos 280 000 anos a temperatura do Universo desceu já para os 3800K o que permite que os eletrões se combinem com os núcleos atómicos formando átomos neutros. Este processo é designado por Recombinação.

Recombination

As the Universe expands and cools, protons and electrons combine to form hydrogen (the most abundant element). And helium nuclei combine with electrons to form helium atoms. This process is called recombination.



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

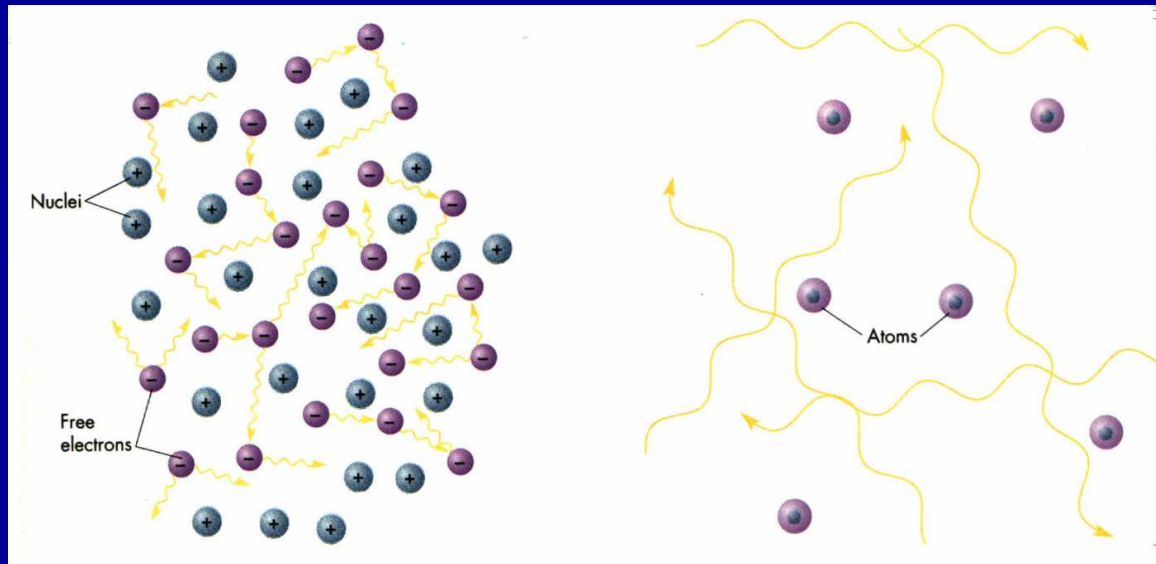


http://abyss.uoregon.edu/~js/21st_century_science/lectures/lec27.html



Libertação dos fótons

Quando o Universo tinha cerca de 380 000 anos e a sua temperatura tinha descido para os 3000K a densidade de eletrões livres atingiu um valor suficientemente baixo de tal forma que os fótons passaram a percorrer grandes distâncias sem interagir com qualquer eletrão. Dizemos que *o Universo tornou-se transparente para os fótons*.



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Muitos destes fotões estão ainda hoje a atravessar o Universo. Constituem a chamada **Radiação Cósmica de Fundo** (CMB). A observação destes fotões permite obter a imagem mais antiga que conseguimos do nosso Universo.

No momento da libertação estes fotões eram altamente energéticos (3000K). Com a expansão do Universo foram perdendo energia, ou seja, foram sendo desviados para o vermelho. Atualmente estes fotões observam-se na banda rádio das **micro-ondas** (2.7K).

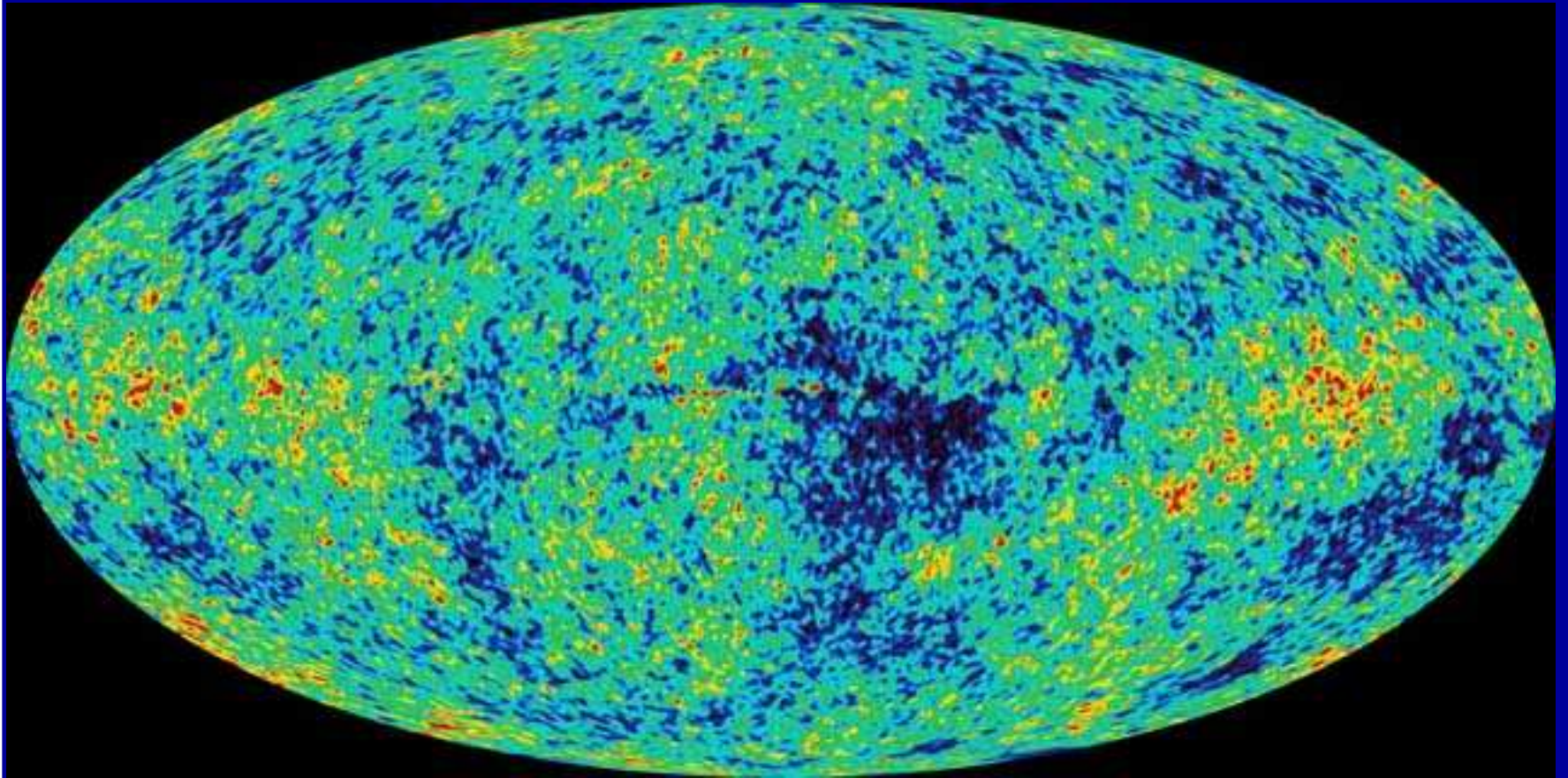
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



Mapa da CMB obtido pelo WMAP

http://cosmology.berkeley.edu/Education/CosmologyEssays/The_Cosmic_Microwave_Background.html

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





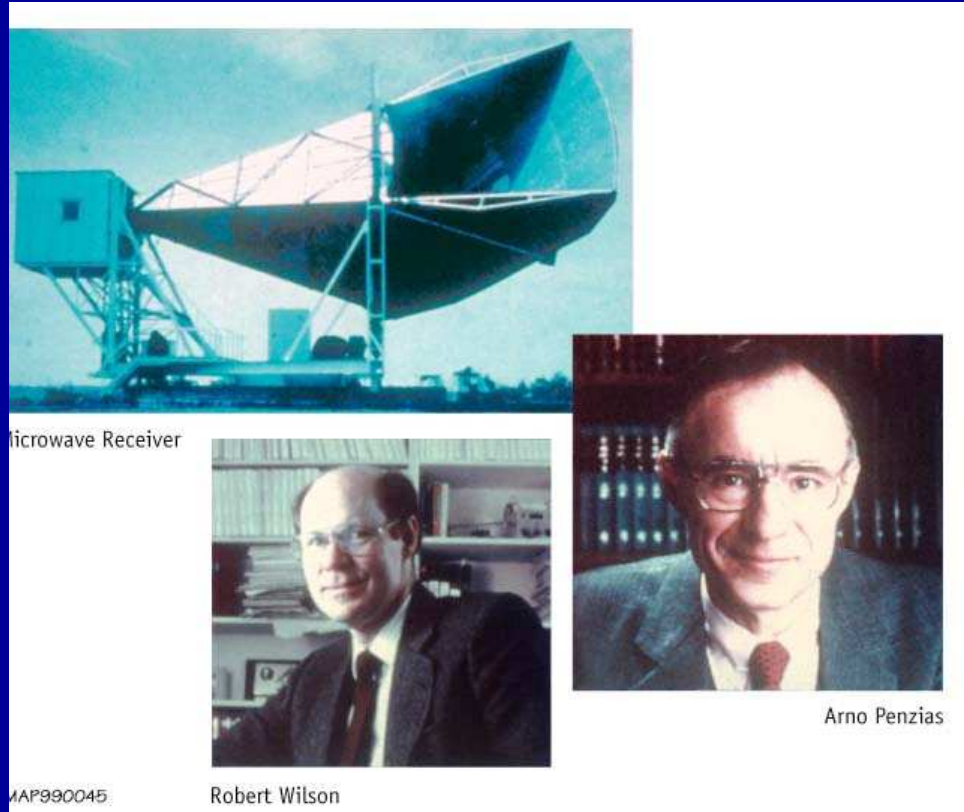
Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

A existência desta radiação foi prevista em primeira mão em 1948 por **George Gamow** tendo vindo a ser detetada, de forma acidental, em 1965 por **Arno Penzias** e **Robert Wilson**.



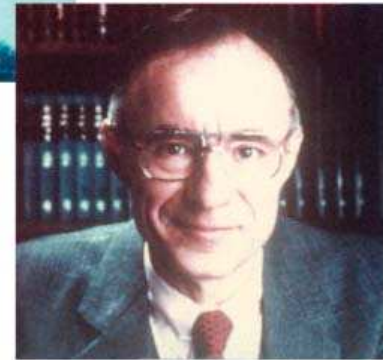
George Gamow



Microwave Receiver



Robert Wilson



Arno Penzias

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Idades escuras do Universo

Entre a libertação dos fótons e a formação dos primeiros objetos luminosos decorre um período relativamente longo designado por **Cosmic Dark Ages**. Durante este período o Universo continuou em expansão mas não existiam fontes de radiação que nos possam informar sobre os processos que decorreram durante essa fase.

Reionização $t = 10^{16} s$

Depois de se terem formado as primeiras estrelas no Universo a radiação emitida por estas acabou por ionizar o hidrogénio neutro disperso pelo Universo. Assim, o Universo voltou a ser composto por um plasma como já havia acontecido antes quando a sua temperatura era mais elevada. A grande diferença é que agora além desse plasma existem estrelas (provavelmente já agrupadas em galáxias).

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

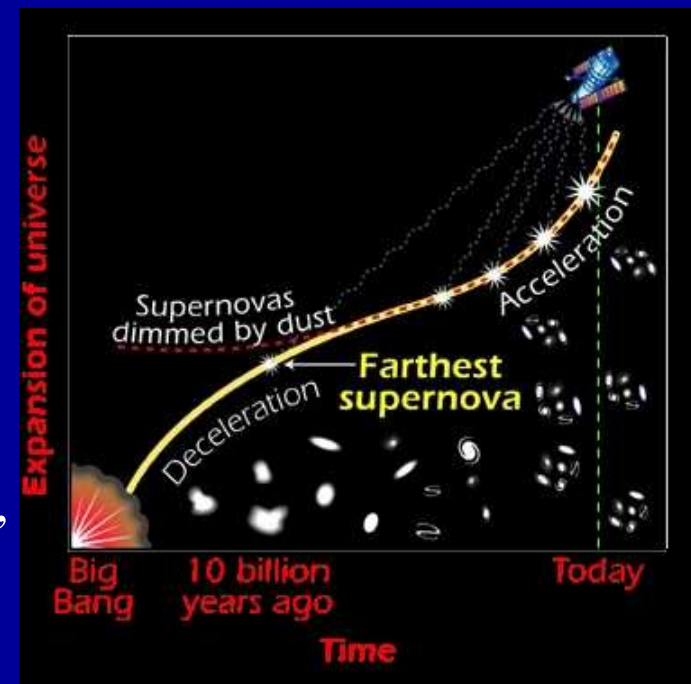
Universo dominado pela energia escura

$$t = 2.8 \times 10^{17} \text{ s}$$

Quando a idade do Universo atingiu 0.7 da sua idade atual este passou a ser dominado pela chamada **Energia Escura**. A expansão do Universo que, até então vinha desacelerando, passou a acelerar exponencialmente. A natureza desta energia escura permanece desconhecida.

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 por ter espaço, ou seja, é a *energia intrínseca do espaço*.



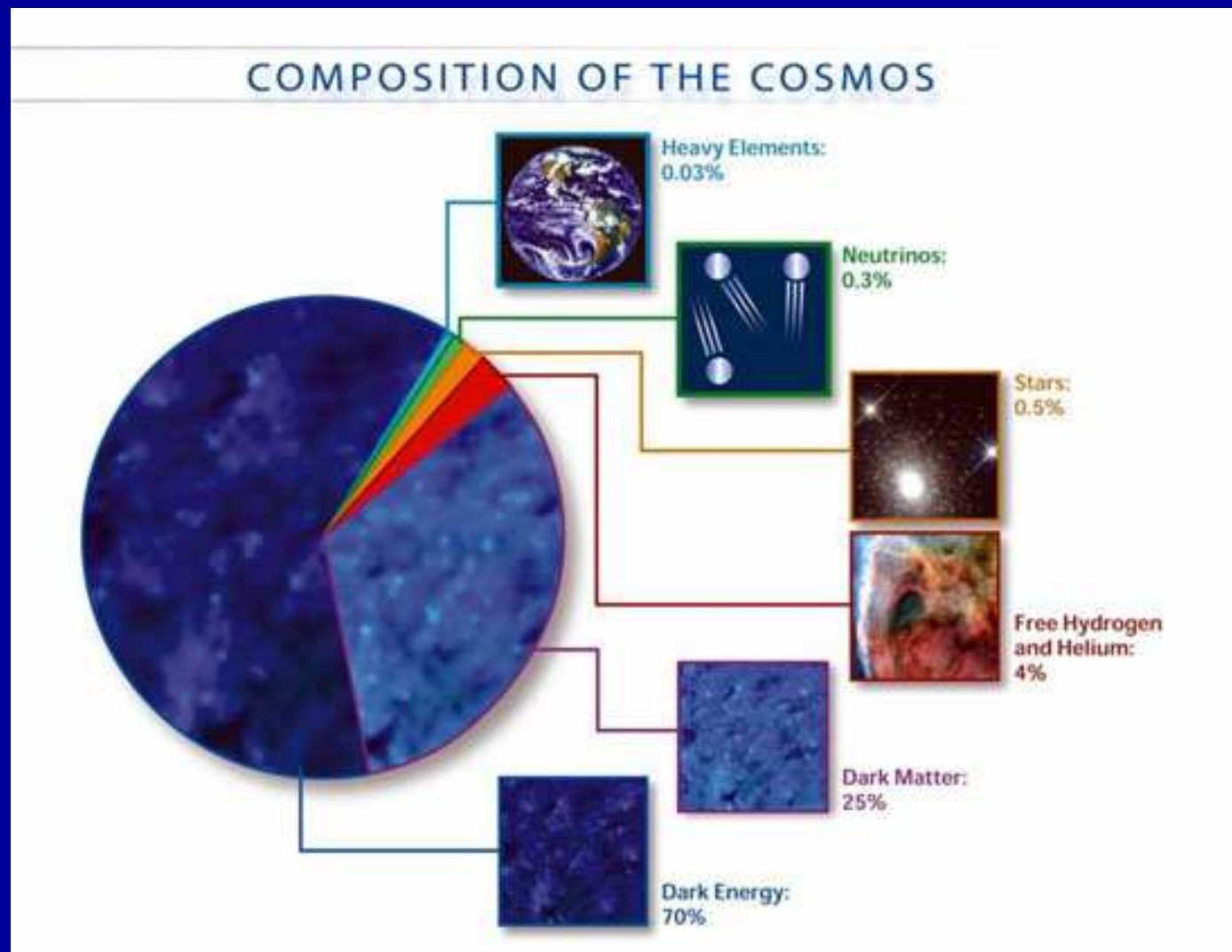
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

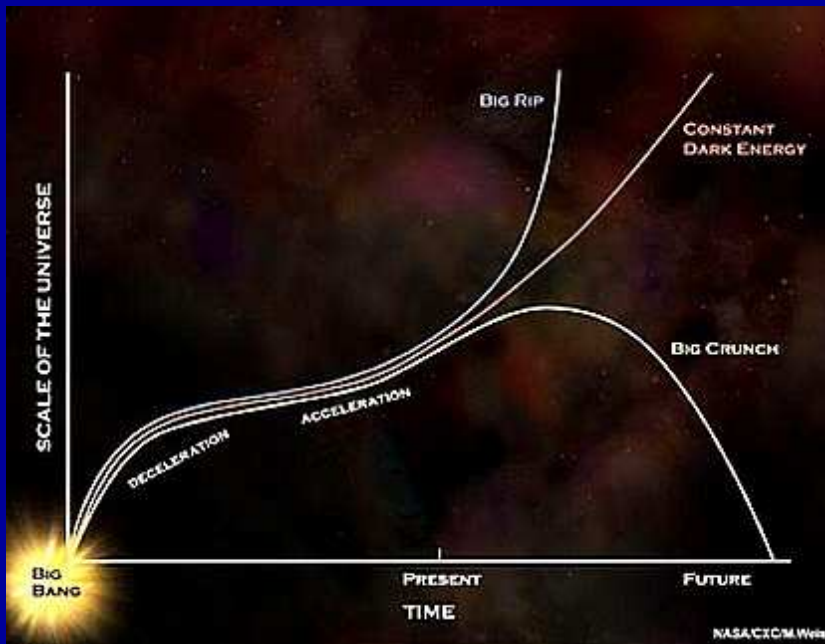




Universidade da Madeira

O Futuro do Universo $t_0 = 4.3 \times 10^{17} s$

Sabemos que no presente o Universo é dominado pela Energia Escura (que esta acelerando a expansão do Universo). Se assim continuar o Universo caminha em direção ao chamado **Big RIP**. Tudo irá se afastar demasiado e o Universo irá arrefecer eternamente.



Se por outro lado existir um retrocesso na expansão então podemos caminhar para o outro extremo que será o **Big Crunch**: o Universo colapsa sobre si mesmo fazendo o percurso inverso ao que fez desde o Big Bang.

Entre o Big Crunch e o Big RIP podemos imaginar uma infinidade de situações.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



Afterglow Light
Pattern
400,000 yrs.

Dark Ages

Development of
Galaxies, Planets, etc.

Dark Energy
Accelerated Expansion

Inflation

Quantum
Fluctuations

WMAP

1st Stars
about 400 million yrs.

Big Bang Expansion

13.7 billion years

Grupo de Astronomia

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira 2013/2014