



Do que o Mundo é Feito?

Por que tantas coisas neste mundo compartilham as mesmas características?

Os cientistas concluíram que a matéria que compõe o mundo é na verdade um conglomerado de alguns blocos fundamentais de construção da natureza.

A palavra "fundamental" é a chave aqui. Entendemos por blocos fundamentais de construção objetos que são **simples e sem estrutura** -- não são constituídos por nada menor.



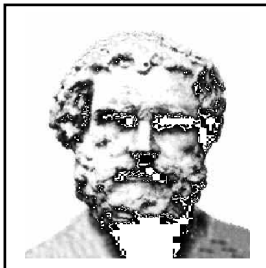
O pensador grego *Empédocles de Agrigento* (495 – 430 aC) foi o primeiro a classificar os elementos como fogo, ar, terra e água, embora nosso diagrama seja em homenagem à classificação de Aristóteles.

Você sabia?

Os chineses na Antigüidade acreditavam que os cinco componentes básicos (em Pinyin, *Wu Xing*) do universo físico eram terra, madeira, metal, fogo e água. E, na Índia, o *Samkhya-karikas* de Ishvarakrsna (terceiro século D.C.) afirmava que os cinco elementos básicos eram o espaço, ar, fogo, água e terra.

Hoje nós sabemos que há algo mais fundamental que terra, água, ar e fogo...

O Átomo

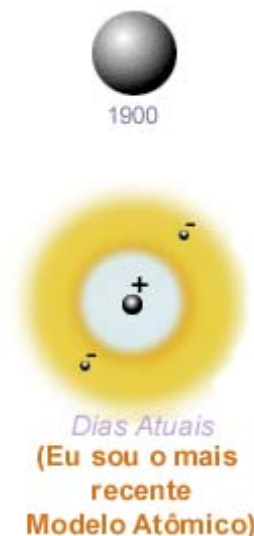


Mas na realidade há átomos e espaço.

Demócrito (400 AC)

Por volta de 1900, os cientistas pensavam nos átomos como bolas permeáveis com pequenas quantidades de carga elétrica vibrando internamente.

Mas o átomo é fundamental?





Dmitri Mendeleiev (1834 -1907) classificou e organizou os 63 elementos conhecidos até então, ordenados por massa atômica crescente, e construiu a Tabela Periódica. Isso indicava que os átomos eram compostos de simples blocos de construção, e que esses blocos em diferentes combinações é que determinavam quais átomos teriam quais propriedades químicas.



Ernest Rutherford (1871 – 1937). Em 1911 após analisar os resultados com o experimento conhecido como “espalhamento de partículas alfa”, propôs um novo modelo para o átomo. A carga positiva e quase toda a sua massa estaria concentrada no núcleo, com os elétrons externos ao núcleo – descoberta do núcleo atômico. ([ver simulação Rutherford_experimento.exe](#))

O Núcleo é Fundamental?



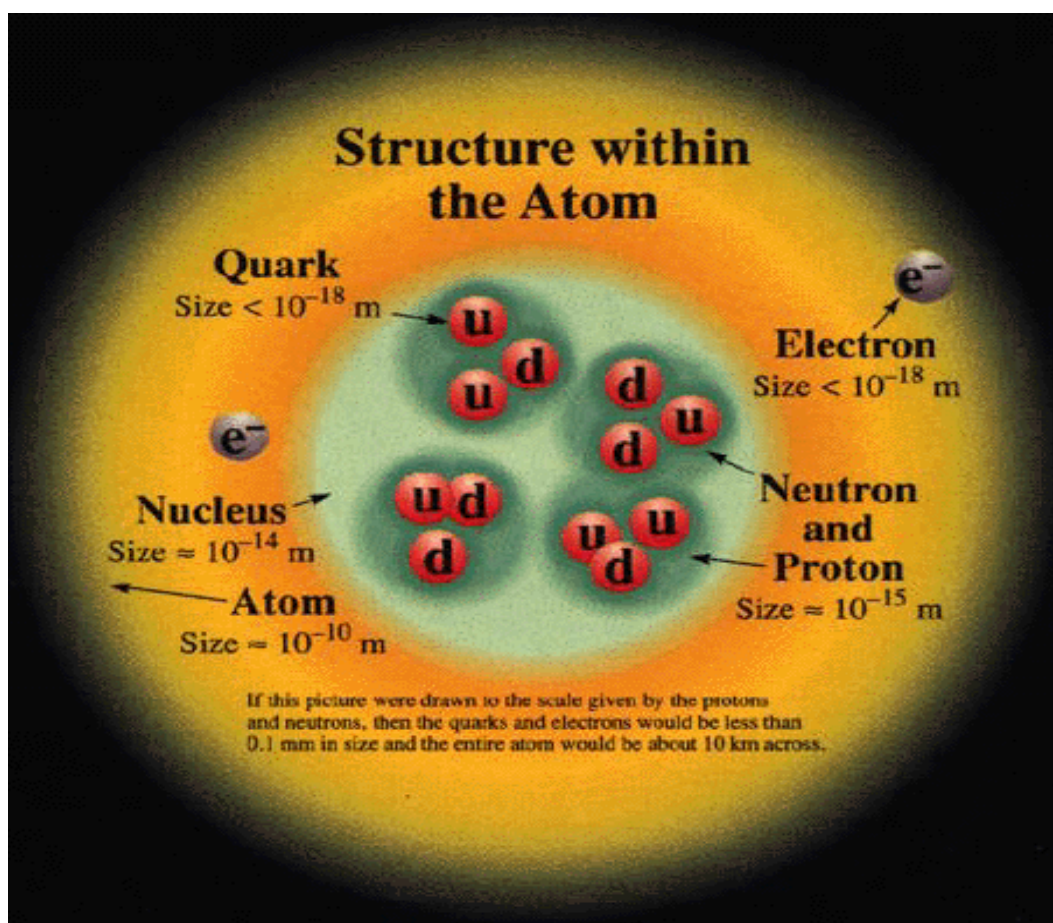
Por parecer pequeno, sólido e denso, os cientistas pensaram originalmente que o núcleo era fundamental. Mais tarde, descobriram que ele era feito de prótons (p), que são carregados positivamente, e nêutrons (n), que não têm carga.

E então, os prótons e os nêutrons são fundamentais?

Os físicos descobriram que os prótons e os nêutrons são compostos de partículas ainda menores, chamadas **quarks**.

Depois de testar extensivamente essa teoria, os cientistas agora suspeitam que os quarks e o elétron (e algumas outras coisas que veremos logo, logo) são fundamentais.

Este é o modelo atômico moderno.



Os elétrons estão em constante movimento em torno do núcleo; os prótons e os nêutrons vibram dentro do núcleo e os quarks vibram dentro dos prótons e nêutrons.

Esta figura está bastante distorcida. Se fossemos desenhar o átomo em escala e fizéssemos os prótons e nêutrons com um centímetro de diâmetro, então os elétrons e quarks deveriam ter **um diâmetro menor do que o de um fio de cabelo** e o diâmetro do átomo inteiro deveria ser maior que o comprimento de **trinta campos de futebol**! 99,999999999999% do volume de um átomo é apenas espaço vazio!

Ao mesmo tempo que um átomo é pequeno, o núcleo é dez mil vezes menor que o átomo, e os quarks e elétrons são pelo menos dez vezes menores que eles. Não sabemos exatamente quão menores os quarks e elétrons são; eles são definitivamente menores quase 10^{-18} metros.

Também é possível que os quarks e os elétrons não sejam fundamentais de fato, e eventualmente acabem sendo constituídos de outras partículas mais fundamentais.

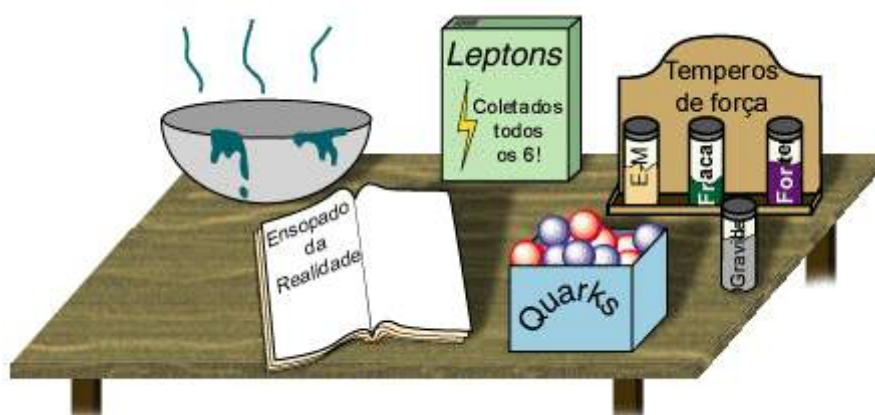
Os físicos desenvolveram uma teoria chamada **O Modelo Padrão**, que explica o que é o mundo e o que o mantém unido. É uma teoria simples e compreensível que explica todas as centenas de partículas e interações complexas com apenas:

- 6 quarks.
- 6 léptons. O lépton mais conhecido é o elétron.
- Partículas mediadoras, como o fóton.

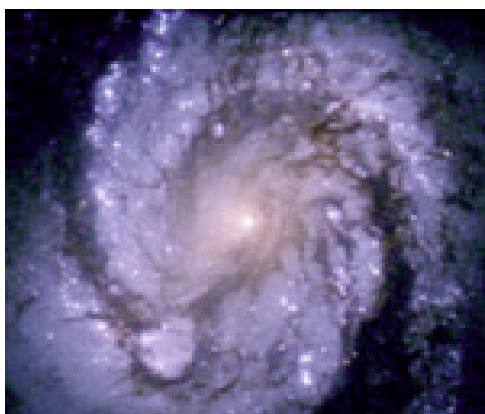
Todas as partículas de matéria que nós conhecemos são compostas de quarks e léptons, e elas interagem trocando partículas mediadoras, conforme apresentado na tabela a seguir:

LÉPTONS	nome do lépton		carga	massa (em Mev/c²)	tempo de vida (em segundos)		
primeira geração	elétron		-1	0,511003	infinito		
	neutrino do elétron		0	0	infinito		
segunda geração	muon		-1	105,659	2,197 x 10 ⁻⁶		
	neutrino do muon		0	0	infinito		
terceira geração	tau		-1	1784	3,3 x 10 ⁻¹³		
	neutrino do tau		0	0	infinito		
QUARKS	tipo de quark (flavor)	carga	massa (especulativa)				
			"nu"	efetivo			
				em bárions		em mésons	
quarks leves	u	+2/3	4,2	363	310		
	d	-1/3	7,5				
	s	-1/3	150	538	483		
quarks pesados	c	+2/3	1100	1500			
	b	-1/3	4200	4700			
	t	+2/3	>23000				
MEDIADORES		símbolo	carga	massa	tempo de vida	força	
gluon		g	0	0	infinito	forte	
fóton		γ	0	0	infinito	eletromagnética	eletrofraca
bósons vetoriais intermediários		W [±]	± 1	81800	desconhecido	fraca (carregada)	
		Z ⁰	0	92600	desconhecido	fraca (neutra)	

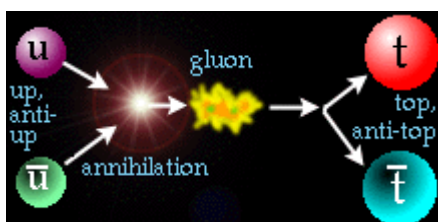
TABELA 1 – Classificação das Partículas Fundamentais



Como você já leu, tudo, desde galáxias até montanhas e moléculas, são feitas de **quarks** e **léptons**. Mas essa não é a **história toda**. Quarks comportam-se diferentemente dos léptons, e para cada tipo de partícula de matéria há uma partícula de antimatéria correspondente.



Para cada tipo de partícula de matéria que nós encontramos, existe uma partícula correspondente de antimatéria ou uma antipartícula.



As antipartículas parecem-se e comportam-se como suas correspondentes partículas de matéria, exceto pelo fato de terem cargas opostas. Por exemplo, um próton é eletricamente positivo, ao passo que um antipróton é eletricamente negativo. A gravidade afeta a matéria e a antimatéria do mesmo modo, porque a gravidade não é

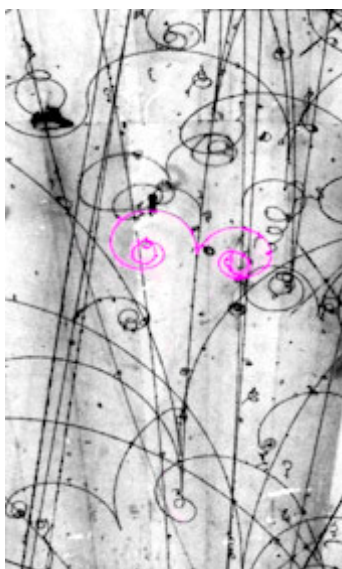
uma propriedade ligada à carga. Uma partícula de matéria tem também a mesma massa de uma antipartícula.

Quando uma partícula de matéria e uma partícula de antimatéria se encontram, elas se aniquilam em pura energia!

Mais devagar! "Antimatéria?" "Pura Energia?" O que é isso, Star Trek?

(O símbolo usual para uma antipartícula é uma barra acima do símbolo correspondente. Por exemplo, o "quark up" u tem um "antiquark up" designado por $\bar{u}$ (pronunciamos u-barra). A antipartícula de um quark é um antiquark, a antipartícula de um próton é um antipróton, e assim por diante. A única exceção é que um antielétron é chamado de pósitron e é representado por e^+ .)

A idéia de antimatéria é estranha, ainda mais porque o universo todo parece ser inteiramente composto de matéria. Essa idéia parece ir contra tudo que nós sabemos sobre o universo.



Mas você pode comprovar a existência de antimatéria nesta foto recente da câmara de bolhas. O campo magnético nessa câmara faz com que as partículas negativas se curvem para a esquerda e as partículas positivas se curvem para a direita. Muitos pares elétron-pósitron aparecem nessa foto como que vindos do nada mas, na verdade, eles surgem de fótons que não deixam uma trajetória na foto. Os pósitrons (anti-elétrons) comportam-se exatamente como os elétrons, mas fazem a curva para o lado oposto porque eles possuem carga oposta à dos elétrons (em destaque um par elétron-pósitron).

[Essa imagem é uma cortesia do Fermilab](#)

Se a antimatéria e a matéria são exatamente iguais, mas opostas, então por que há muito mais matéria do que antimatéria no universo?

Bem... nós não sabemos. Essa é uma pergunta que tira o sono dos físicos.

Classificação das Partículas Fundamentais

As partículas realmente fundamentais, ou seja aquelas que não são formadas por nenhuma outra e a partir das quais todas as outras partículas são formadas, são separadas em três grupos chamados coletivamente de léptons, quarks e mediadores.

Todas estas partículas fundamentais possuem antipartículas que também são consideradas fundamentais. A divisão delas nestes grupos é feita de acordo com propriedades características que elas possuem.

A Tabela I apresenta a carga em unidades da carga do elétron. A massa é dada em unidades de MeV/c^2 , unidade muito usada pelos físicos de partículas elementares. Um MeV é equivalente a 10^6 elétron-volts (eV) e a letra c representa a velocidade da luz, cerca de 300.000 km/s. Deste modo, $\text{MeV}/c^2 = 1,782676 \times 10^{-30}$ quilogramas.

O Modelo Padrão é uma boa teoria. Experimentos têm confirmado suas previsões com uma precisão incrível, e todas as partículas previstas por essa teoria já [foram encontradas](#). Contudo, ele não explica tudo. Por exemplo, a gravidade não está incluída no Modelo Padrão.

QUARKS

Estas são partículas fundamentais da natureza que estão no núcleo do átomo. Acreditamos hoje que os quarks são a unidade estrutural mais fundamental a partir da qual todas as partículas nucleares se formam.

Existem seis tipos de quarks: up, down, strange, charm, bottom e top. Chamamos de flavor ("sabor") os diversos tipos de quarks conhecidos.

Note que na tabela I acima a carga está em termos da carga do elétron. Além disso, aparecem vários valores de massa, que é dada em unidades MeV/c^2 . O termo massa "nu" significa o valor da massa do quark isolado, sem estar combinado com outros quarks enquanto que a massa efetiva é aquela que o quark possui quando está formando bárions ou mésons (o significado destes termos está explicado mais abaixo).

Veja que, curiosamente, os quarks possuem carga elétrica fracionária!

Um próton é constituído por um quark down e dois quarks up. Dizemos então que o próton tem a estrutura uud.

Um nêutron é formado por um quark up e dois quarks down. Daí os nêutrons têm a estrutura udd.

Há uma grande surpresa nisto tudo. Embora estejam listados seis tipos básicos de quarks, o Universo como o conhecemos hoje, ou seja para o estado de energia atual, é formado simplesmente pelos quarks dos tipos u e d! As outras partículas, formadas por quarks dos tipos s, c, b e t, só existiram no Universo mais primordial, quando a temperatura (e portanto a energia) era muito mais alta. Estas partículas hoje só surgem em experiências realizadas nos grandes aceleradores de partículas.



Hádrons

Embora os quarks individuais tenham cargas elétricas fracionárias, eles se combinam de tal maneira que os hádrons possuem uma rede de cargas elétricas inteiras. Outra propriedade dos hádrons é que eles não possuem carga de cor, embora os quarks possuam por si mesmos carga de cor (falaremos disso mais tarde).

Existem duas classes de hádrons:

Bárions

...são hádrons compostos por três quarks (qqq).



Como os prótons são constituídos por dois quarks up e um quark down (uud), eles são bárions. E assim também são os nêutrons (udd).

Mésons

...são os que contêm um quark (q) e um antiquark ($\bar{q}$).



Um exemplo de méson é o pión (π^+), que é composto por um quark up e um antiquark down. As antipartículas de um méson têm seus quarks e antiquarks trocados; assim, um antipión (π^-) é composto por um quark down e um antiquark up.

Como os mésons são constituídos por uma partícula e uma antipartícula, eles são bastante instáveis. O méson kaon (K^+) vive mais tempo do que a maioria dos mésons e é, por isso, que

ele é denominado "estranho" e quem lhe deu esse nome ao quark estranho, foi um de seus componentes.

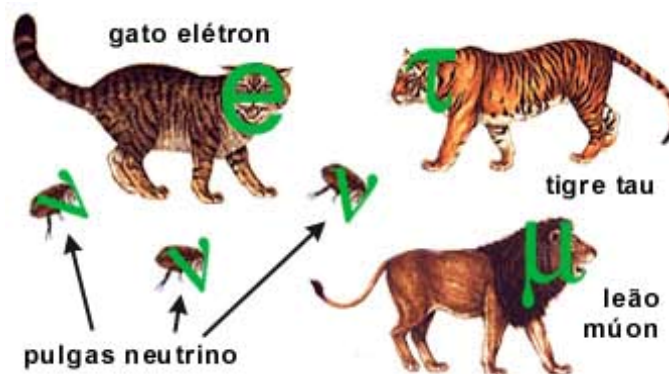
Uma coisa bem estranha sobre os hádrons é que somente uma pequeníssima parte da massa de um hádron é devida à existência de quarks nele.

LÉPTONS

Outro tipo de partículas de matéria são os léptons.

Existem seis tipos de léptons, três dos quais possuem carga elétrica e três que não. Eles parecem ser partículas puntiformes sem estrutura interna. O lépton mais conhecido é o elétron (e^-). Os outros dois léptons são o múon (μ^-) e o tau (τ^-), que são carregados como os elétrons, mas têm muito mais massa. Os outros léptons são os três tipos de neutrinos (ν). Eles não possuem carga, têm massa pequena e são difíceis de serem encontrados.

Os quarks são sociáveis e existem apenas em partículas compostas com outros quarks, ao passo que os léptons são partículas solitárias. Pense nos léptons carregados como gatos independentes com pulgas, que são os neutrinos, os quais são muito difíceis de serem vistos.



Para cada lépton há um antilépton. Note que o anti-elétron tem um nome especial, o "pósitron".

Os léptons mais pesados, o múon e o tau, não são encontrados em toda matéria. Isso porque quando são produzidos, eles decaem muito rapidamente, ou transformam-se em léptons mais leves, e às vezes o tau pode decair em quarks, antiquarks e um neutrino. Os elétrons e as três espécies de neutrinos são estáveis e, por isso, são os tipos mais encontrados ao nosso redor.

Quando um lépton pesado decai, uma das partículas na qual ele decai é sempre seu neutrino correspondente. As outras partículas poderão ser um quark e seu antiquark, ou outro lépton e seu antineutrino.

Os físicos têm observado que alguns tipos de decaimentos de léptons são possíveis e outros não. Para explicar esse fato, eles os dividiram em três famílias de léptons: o elétron e seu neutrino, o múon e seu neutrino e o tau e seu neutrino. O número total de membros da família deve sempre permanecer constante em um decaimento.

Neutrinos são, como já dissemos, um tipo de lépton. Como eles não têm carga forte ou elétrica quase nunca interagem com quaisquer outras partículas. A maioria dos neutrinos passa direto através da terra sem ter sequer interagido com um único átomo dela. Seu símbolo é a letra grega ν .



Neutrinos são produzidos por uma variedade de interações, especialmente em decaimentos de partículas. De fato, foi através de um estudo cuidadoso de decaimento radioativo que os físicos hipotetizaram a existência do neutrino.

Por exemplo: (1) Em um núcleo radioativo, um nêutron em repouso (momento zero) decai, liberando um próton e um elétron. (2) Por causa da lei de conservação do momento, o produto resultante de um decaimento deve ter um momento total zero, que o próton e elétron observados claramente não têm. (3) Portanto, podemos concluir a presença de outras partículas com um momento apropriado para balancear o evento. (4) Foi suposto que um antineutrino foi liberado e as experiências confirmaram que isso é o que realmente acontece.



Uma vez que os neutrinos foram produzidos em grande abundância no início do universo e raramente interagem com a matéria; então, existem muitos deles no Universo. A pequeníssima massa, mas o grande número, deve contribuir para a massa total do universo e afetar sua expansão.

Neutrinos são, como já dissemos, um tipo de lépton. Como eles não têm carga forte ou elétrica quase nunca interagem com quaisquer outras partículas. A maioria dos neutrinos passa direto através da terra sem ter sequer interagido com um único átomo dela.

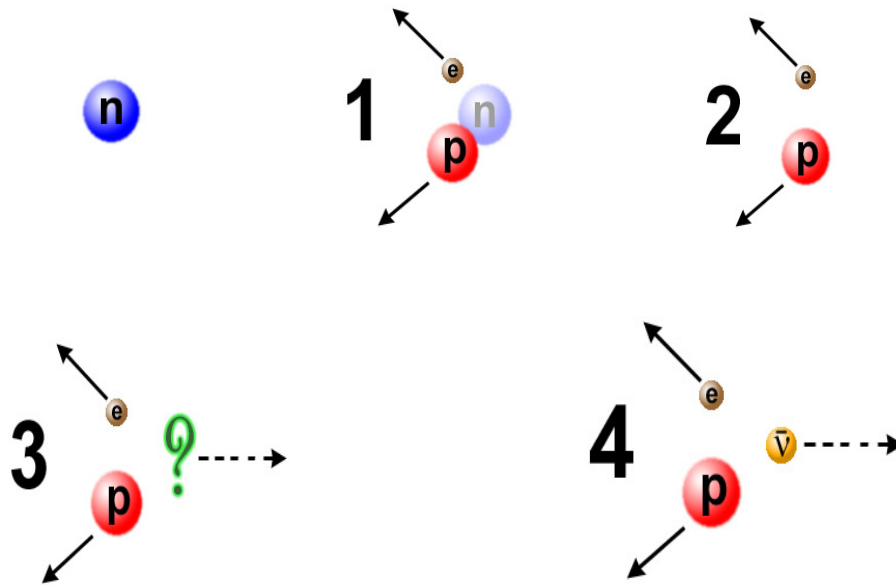


Neutrinos são produzidos por uma variedade de interações, especialmente em decaimentos de partículas. De fato, foi através de um estudo cuidadoso de decaimento radioativo que os físicos hipotetizaram a existência do neutrino.

Por exemplo: (1) Em um núcleo radioativo, um nêutron em repouso (momento zero) decai, liberando um próton e um elétron. (2) Por causa da lei de conservação do momento, o produto resultante de um decaimento deve ter um momento total zero, que o próton e elétron observados claramente não têm. (3) Portanto, podemos concluir a presença de outras partículas com um momento apropriado para balancear o evento. (4) Foi suposto que um antineutrino foi liberado e as experiências confirmaram que isso é o que realmente acontece.



Uma vez que os neutrinos foram produzidos em grande abundância no início do universo e raramente interagem com a matéria; então, existem muitos deles no Universo. A pequeníssima massa, mas o grande número, deve contribuir para a massa total do universo e afetar sua expansão.



O Sol, assim como as outras estrelas, emite uma quantidade incrível de neutrinos e estes neutrinos incidem sobre o nosso planeta. Neste momento, e em todos os momentos da sua vida, o seu corpo está sendo atravessado por milhares de neutrinos sem que você sinta qualquer efeito.

Um outro fato importante é que o neutrino é capaz de dar aos astrofísicos informações muito mais atuais sobre o interior profundo das estrelas do que os fótons produzidos na mesma região. Por exemplo, um fóton produzido no interior do Sol leva cerca de 10^7 anos para conseguir chegar à sua superfície e ser captado por um observador na Terra. Enquanto isso, um neutrino produzido no interior do Sol leva apenas 2 segundos para escapar dele e atingir os detectores colocados na Terra.

Se alguma coisa desse errado com a fornalha nuclear que existe no interior do Sol e ele, por exemplo, não produzisse mais fótons levaríamos (grosseiramente) 10^7 anos para perceber mudanças sensíveis na sua luminosidade. No entanto, estudando a emissão de neutrinos solares, veríamos quase imediatamente que algo anormal deveria estar acontecendo no interior do Sol se, de repente, não captássemos mais seus neutrinos. Quando uma estrela explode, fenômeno que é a criação de uma supernova, uma quantidade imensa de neutrinos é lançada ao espaço. A imagem ao lado mostra a formação de uma supernova que hoje é a nebulosa M1 também conhecida como "nebulosa do Caranguejo". Além disso muitas outras fontes de altas energias que existem no Universo emitem grandes quantidades de neutrinos.



copyright: Bill Schoening / AURA / NOAO / NSF

O neutrino é tão importante que existe uma área da astrofísica, chamada "astrofísica de neutrinos", cujo objetivo é estudar a sua participação nos fenômenos que ocorrem nos corpos celestes.



Existem partículas que são as mediadoras dos vários processos físicos que ocorrem no interior da matéria. A elas damos o nome de mediadores. Elas também são partículas fundamentais e assumem um importante papel no estudo das interações fundamentais.
Na tabela I a massa é dada em MeV/c^2 , a carga é dada em unidades de carga do elétron e o tempo de vida em segundos. A cada partícula está associada a força correspondente (forte, fraca, eletromagnética).

O "Bósons de Higgs"

Existe mais uma partícula fundamental, chamada bóson de Higgs, que foi prevista a partir de estudos teóricos. Ela não se enquadra em nenhuma das classificações acima e é a única partícula fundamental que até hoje não foi obtida nos laboratórios de física de altas energias.

Em resumo, quantas são e quais são as partículas

Abaixo listamos todas as partículas fundamentais conhecidas pela teoria da física de partículas elementares como os elementos fundamentais da matéria em todas as suas formas. À teoria atual mais geral que descreve a matéria como sendo formada por estas partículas damos o nome de "Modelo Padrão da Física de Partículas Elementares".

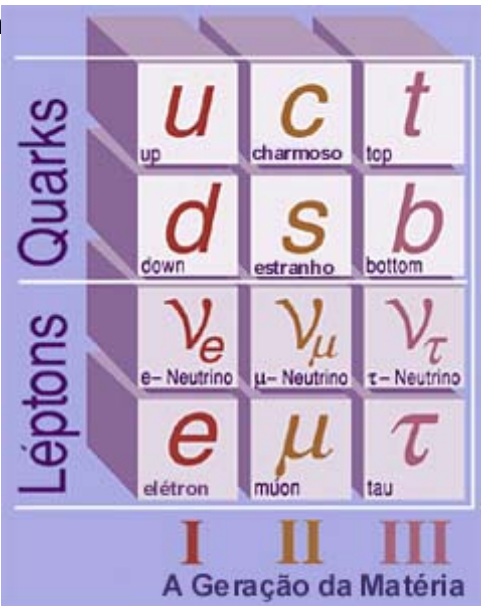
léptons (TOTAL = 12 leptons)	elétron	e^-
	anti-elétron	e^+
	muon	μ^-
	anti-muon	μ^+
	tau	τ^-
	anti-tau	τ^+
	neutrino do elétron	ν_e
	anti-neutrino do elétron	$\bar{\nu}_e$
	neutrino do muon	ν_μ
	antineutrino do muon	$\bar{\nu}_\mu$
	neutrino do tau	ν_τ
	anti-neutrino do tau	$\bar{\nu}_\tau$

quarks (cada quark existem em três "cores" diferentes) (TOTAL = 36 quarks)	up	u
	anti-up	$\bar{u}$
	down	d
	anti-down	$\bar{d}$
	strange	s
	anti-strange	$\bar{s}$
	charm	c
	anti-charm	$\bar{c}$
	bottom	b
	anti-bottom	$\bar{b}$
	top	t
	anti-top	$\bar{t}$
mediadores (TOTAL = 12 mediadores)	fóton (mediador das interações eletromagnéticas)	γ
	(mediadores das interações eletrofracas)	W ⁺
		W ⁻
		Z ⁰
	gluons (mediadores das interações fortes)	(8 tipos diferentes de gluons)
bóson de Higgs		

Temos então um total de 12 leptons, 36 quarks, 12 mediadores e uma partícula de Higgs, fazendo um total de 61 partículas elementares fundamentais.

Note que tanto quarks quanto léptons existem em 3 grupos distintos. Nós chamamos cada um desses grupos de geração de partículas de matéria. Uma geração contém um exemplar de quarks e léptons de cada tipo de carga. Cada nova geração tende a ser mais pesada que a anterior.

Toda matéria visível no universo é feita da primeira geração de partículas de matéria -- quarks up, quarks down e elétrons. Isso porque todas as partículas da segunda e terceira gerações de partículas são instáveis e decaem, tornando-se partículas de primeira geração, a única geração estável.



Agradecemos ao Fermilab pelo uso desta imagem.

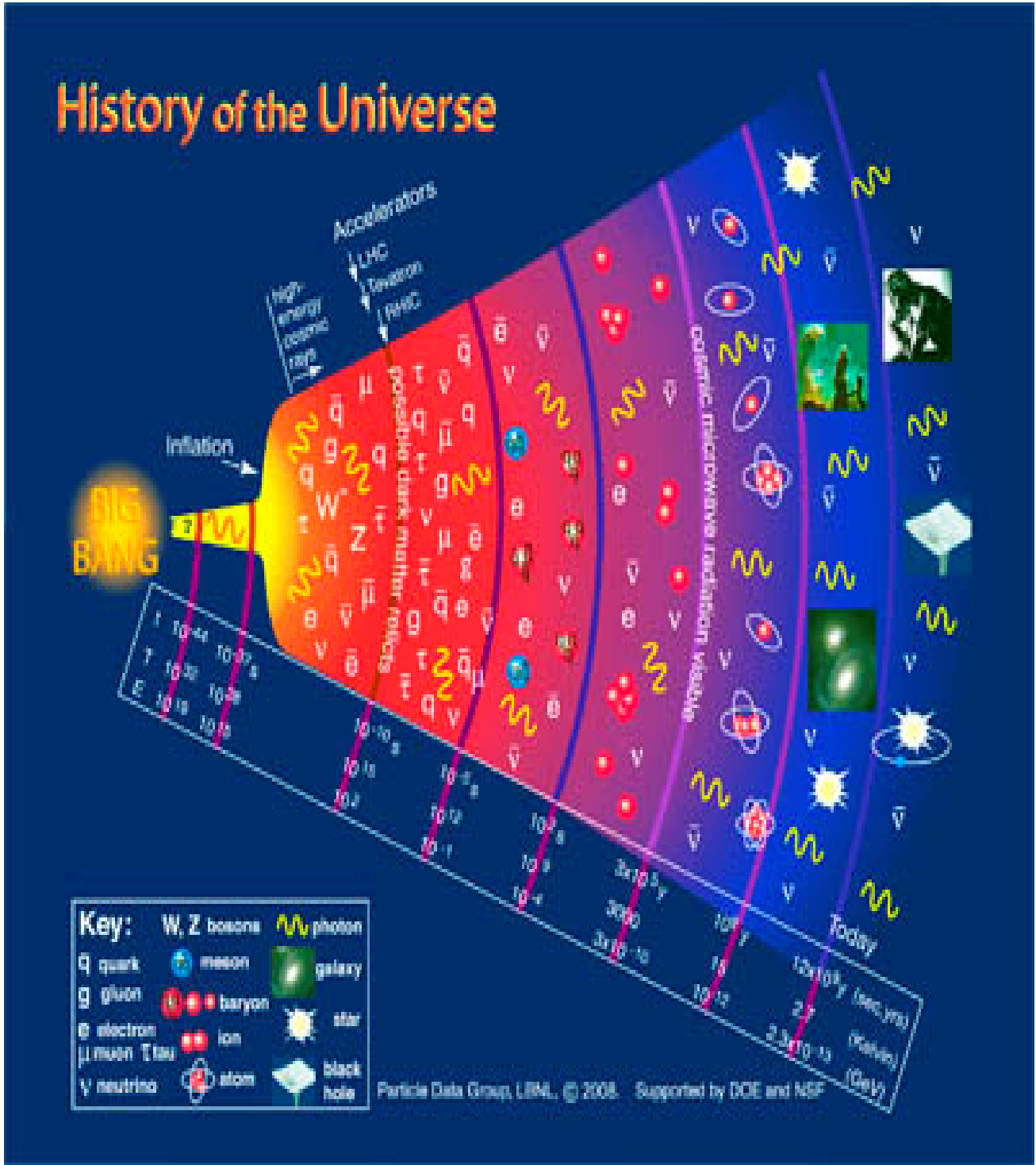
Espere um minuto. Se as gerações acima da primeira decaem rapidamente, são raramente observadas e não compõem nenhuma matéria estável ao nosso redor, então por que elas existem?

Então por que temos gerações de matéria? Por que três delas? Nós não sabemos. E sem entender porque as partículas de segunda e terceira geração existem, não podemos descartar a possibilidade de haver mais quarks e léptons, com massas ainda maiores, que nós ainda não descobrimos. Ou talvez a resposta seja que os quarks e léptons não são fundamentais, mas são compostos de outras partículas ainda mais elementares, que juntas formariam os quarks.

Então agora nós sabemos do que o mundo é feito. As partículas mais fundamentais da matéria são os seis quarks e os seis léptons.



Então tudo é feito de quarks e léptons, hein ? Quem teria pensado que fosse tão simples ?



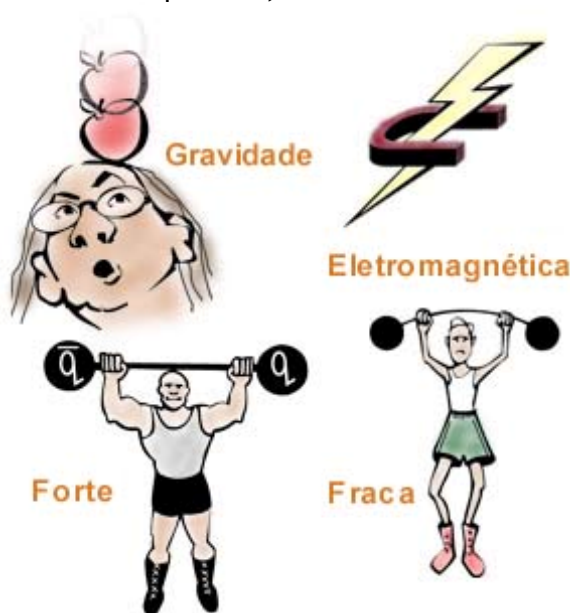
O que Mantém o Universo Unido?

O universo que conhecemos e amamos existe porque as partículas fundamentais interagem. Essas interações incluem forças atrativas e repulsivas, decaimento e aniquilação.

Existem quatro interações fundamentais entre as partículas, e todas as forças no mundo podem ser atribuídas a essas quatro interações!

É isso aí: qualquer força que você possa pensar -- atrito, magnetismo, gravidade, decaimento nuclear, e assim por diante-- é causada por uma dessas quatro interações fundamentais.

Qual a diferença entre uma "força" e uma "interação"?



Como as partículas da matéria interagem?

O problema é que as coisas interagem sem se tocar! Como dois ímãs "sentem" a presença um do outro e se atraem ou se repelem de acordo com a situação? Como o Sol atrai a Terra?

Nós sabemos que as respostas para essas perguntas são "magnetismo" e "gravidade", mas o que são essas forças?

Em um nível fundamental, a força não é apenas algo que acontece para as partículas. "É uma coisa que é trocada entre duas partículas". **Como podemos saber?**

Descobriu-se que todas as interações que afetam as partículas da matéria são devidas a uma troca de **partículas mediadoras de força**, um tipo completamente diferente de partícula. Essas partículas são como bolas de basquete atiradas entre as partículas da matéria (que são como jogadores de basquete). O que nós pensamos normalmente como "forças" são, na verdade, os efeitos das partículas mediadoras sobre as partículas da matéria.

Uma coisa importante sobre as partículas mediadoras, é que a força associada tem que ser de mesma natureza. Por exemplo, elétrons e prótons têm carga elétrica; portanto, eles podem produzir e absorver as mediadoras de forças eletromagnéticas, ou seja, o fóton. Neutrinos, por outro lado, não têm carga elétrica, então eles não podem absorver ou produzir fótons.

Eletromagnetismo

A força eletromagnética faz com que objetos com cargas opostas se atraiam e objetos com cargas iguais venham a se repelir. Muitas forças do cotidiano, como a força de atrito, e até mesmo o magnetismo, são causadas pela força eletromagnética. Por exemplo, a força que impede você atravessar o chão é a força eletromagnética, aquela que faz com que os átomos da matéria do seu pé e do chão resistam ao deslocamento.

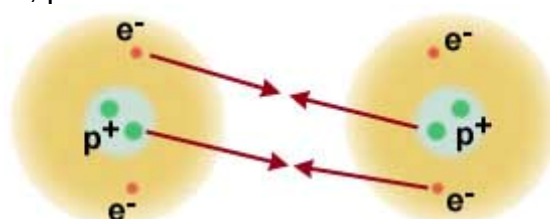


A partícula mediadora da força eletromagnética é o **fóton** (γ). Fótons de energias das mais diversas varrem todo o espectro eletromagnético de raios-X, luz visível, ondas de rádio e assim por diante.

Até onde sabemos, os fótons têm massa zero e sempre viajam à "velocidade da luz", c , que é cerca de 300.000.000 metros por segundo, no vácuo. Os átomos geralmente têm o mesmo número de prótons e de elétrons. Eles são eletricamente neutros, isso porque os prótons positivos existem em número igual ao dos elétrons negativos. Uma vez que os átomos são neutros, o que faz com que eles se grudem formando moléculas estáveis?

A resposta é um pouco estranha: descobrimos que as partes carregadas de um átomo podem interagir com as partes carregadas de outro átomo. Isso permite que diferentes átomos se juntem, produzindo um efeito chamado **força residual Eletromagnética**.

Então, é a força eletromagnética que permite que os átomos se unam formando moléculas, mantendo o mundo unido e criando a matéria que interage conosco o tempo todo. Fantástico, não é mesmo? **Todas as estruturas do mundo existem simplesmente porque prótons e elétrons têm cargas opostas!**



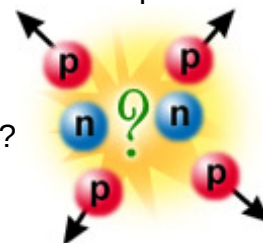
Força residual E-M em ação: Os átomos são eletricamente neutros, mas os elétrons de um são atraídos pelos prótons do outro, e vice-versa!

Nós ainda temos um outro problema com os átomos. O que mantém o núcleo unido?



O núcleo de um átomo é formado por um conjunto de prótons e nêutrons mantidos juntos. Uma vez que os nêutrons não têm carga e os prótons são carregados positivamente e se repelem uns aos outros, por que o núcleo não explode?

Nós não podemos contar com o núcleo mantido unido apenas pela força eletromagnética. O que mais poderia ser? Gravidade? Não! A força gravitacional é fraca demais para exceder a força eletromagnética.



Então como podemos explicar essa contradição?



Para entender o que está acontecendo dentro do núcleo, nós precisamos saber mais sobre os quarks que compõem os prótons e nêutrons no núcleo. Os quarks além da carga eletromagnética têm outro tipo de carga, a chamada carga de cor. A força entre partículas carregadas com cor é muito forte, por isso essa força é, criativamente, chamada de



Forte

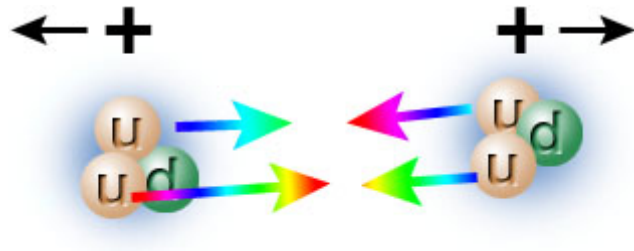
A força forte segura os quarks grudados para formar hádrons; então, suas partículas mediadoras são chamadas de glúons porque elas "colam" os quarks juntos ("to glue" significa colar em inglês).

A carga de cor comporta-se de modo diferente da carga eletromagnética. Os glúons possuem carga de cor, o que é estranho, mas não tanto quanto os fótons que não têm carga eletromagnética. E enquanto os quarks têm carga de cor, as partículas compostas de quarks não têm essa carga (elas têm cor neutra). Por essa razão, a força forte apenas é levada em consideração em interações entre quarks. Por isso você não está habituado com a força forte no seu cotidiano.

Agora sabemos que a força forte prende os quarks juntos por terem carga de cor. Mas isso ainda não explica o que mantém o núcleo unido, já que os prótons e os nêutrons são de cor neutra, mas os prótons têm uma carga elétrica positiva.

Então o que mantém o núcleo unido?

Em resumo, a resposta é que, não é a toa que a força tem o nome de forte. A força forte entre os quarks de um próton e os quarks de outro próton é forte o bastante para superar a força eletromagnética repulsiva.

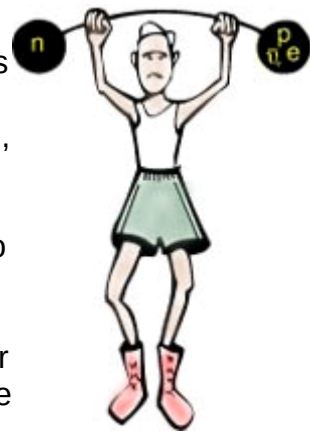


Isso é chamado de **interação forte residual**, e é essa interação que mantém o núcleo coeso.

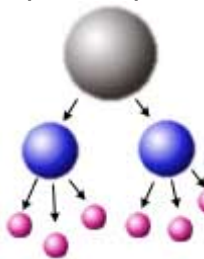
Fraca

Existem seis tipos de quarks e seis tipos de léptons. Mas toda matéria estável do universo parece ser composta de apenas dois quarks leves, o quark up e o quark down, e do lépton carregado mais leve, o elétron.

Interações fracas são as responsáveis pelo decaimento de quarks e léptons pesados em quarks e léptons mais leves. Quando partículas fundamentais decaem observamos seu desaparecimento e sua substituição por duas ou mais partículas diferentes. Mesmo que o total de massa e energia seja conservado, um pouco da massa original da partícula é convertido em energia cinética, e as partículas resultantes sempre têm menos massa que a partícula original que decaiu.



A única matéria estável ao nosso redor é composta dos menores quarks e léptons, que não podem mais decair.



Não é possível mais
nenhum decaimento

Quando um quark ou lépton muda de tipo (um múon transforma-se em um elétron, por exemplo) dizemos que ele mudou de **sabor**. Todas as mudanças de sabor são devidas à interação fraca.

As partículas mediadoras das interações fracas são as partículas W^+ , W^- , e a Z . As W são carregadas eletricamente e a Z é neutra.

O Modelo Padrão uniu as interações eletromagnética e fraca em uma interação unificada chamada **eletrofraca**.

O que é a gravidade?

A gravidade é estranha. É claramente uma das interações fundamentais, mas o Modelo Padrão não consegue explicá-la satisfatoriamente. É um desses problemas não resolvidos pela física até hoje.

Além disso, a partícula mediadora da gravidade ainda não foi encontrada. Tal partícula, contudo, foi prevista e poderá ser encontrada um dia: o **gráviton**.

Felizmente, os efeitos da gravidade são extremamente pequenos na maioria das situações em física de partículas, quando comparado aos das outras três interações, assim, teoria e experimentos podem ser comparados sem incluir a gravidade nos cálculos. Portanto, o Modelo Padrão funciona mesmo sem explicar a gravidade.



Este é um resumo das diferentes interações, suas partículas mediadoras e em que partículas elas atuam:



	Gravidade	Fraca (Eletrofraca)	Eletromagnética	Forte
Transportada por:	Gráviton (ainda não observado)	W^+ W^- Z^0	Fóton	Glúon
Atua em:	TODAS	Quarks e Léptons	Quarks e Léptons carregados W^+ W^- Z^0	Quarks e Glúons

Referências Bibliográficas:

<http://pdg.web.cern.ch/pdg/particleadventure>

http://www.on.br/site_edu_dist_2006/pdf/modulo4/leptons_e_quarks.pdf