

# Massa e Matéria

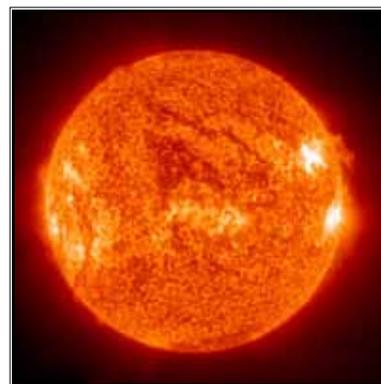
## 1.1 A Estrutura da Matéria

O Universo é constituído de matéria, radiação e algo denominado energia escura. A matéria do nosso mundo é constituída de átomos. Uma generalização dessa idéia para todo o Universo, no entanto, não é inteiramente correta. Certamente o Universo contém muitos átomos. Uma boa estimativa seria de  $10^{82}$  átomos. O Sol, a estrela mais próxima de nós, tem cerca de  $10^{58}$  átomos. Para entendermos por que a matéria pode ser composta por algo além dos átomos, devemos analisar os constituintes de tudo no Universo.

Do que tudo é feito?

*Desde a Grécia antiga há registros relativos aos conceitos de espaço, de tempo e do que seria a matéria. Os atomistas gregos, como Demócrito (460-370 a.C.), entendiam que tudo o que há no mundo seria composto por "átomos" que se movem no vazio.*

*No entendimento de Demócrito haveria uma infinidade de átomos de formas diferentes, que combinados poderiam dar origem aos mais diversos objetos. Por outro lado, independentemente do número de átomos que formam um corpo, e da diversidade deles, todos os átomos seriam eternos, imutáveis e indivisíveis. Assim, se um corpo se decompõe, de uma forma ou de outra, os seus átomos poderiam ser reaproveitados na confecção de outros objetos.*



*Fig. 1.1 - O sol tem aproximadamente  $10^{58}$  átomos. Ele é constituído, portanto, de matéria ordinária*

A teoria atômica da matéria, proposta primeiramente pelos filósofos gregos, demorou mais de 2000 anos para ser aceita. Sua aceitação só ocorreu depois de uma série de evidências observacionais que apontavam para a existência de diferentes elementos químicos gradualmente descobertos através de trabalhos árduos de muitos cientistas dentre os quais ressaltamos a Madame Marie Curie, duplamente laureada com o Prêmio Nobel.

A tabela de Mendeleev surgiu da idéia de agrupar e classificar cerca de uma centena de elementos considerando-se as afinidades e semelhanças observadas em reações químicas. Assim, no início do século XIX, os átomos eram tidos como os constituintes últimos da matéria, como sugerido pelos atomistas gregos. Não são, no entanto, infinitos.

The image shows the periodic table of elements, known as the Mendeleev table. It is organized into rows and columns, with elements color-coded by groups. The elements are labeled with their chemical symbols and atomic numbers. The table includes the Lanthanide and Actinide series at the bottom.

Fig. 1.2 - Tabela de Mendeleev.

Depois de muitas investigações levadas a efeito no início do século XX, chegou-se à conclusão de que os átomos são compostos por outras partículas denominadas de prótons, nêutrons e elétrons: os prótons e nêutrons formando o núcleo do átomos e os elétrons girando em torno do núcleo. Com o passar do tempo, no entanto, muitas outras partículas foram descobertas. Um físico brasileiro, César Lattes, contribuiu para a descoberta de uma dessas partículas a qual ficou conhecida como Méson Pi (lê-se meson pi).<sup>2</sup>

FÉRMIONS			BÓSONS			
Quarks	u	c	t	Interação Forte		
	d	s	b	GLÚON		
	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	Interação Eletrofraca		
Léptons	e	$\mu$	$\tau$	W <sup>+</sup>	W <sup>-</sup>	Z <sup>0</sup>
	As três Gerações da Matéria			$\gamma$ (fóton)		
				Interação Gravitacional		
			GRÁVITON?			
			Partículas Mediadoras			

Fig. 1.3 - Tabeça das Partículas Elemen-

Com a grande profusão de partículas que aos poucos iam sendo descobertas, os cientistas passaram a desconfiar que os prótons, os mésons e os nêutrons seriam compostos por outras partículas: as Partículas Elementares. Hoje sabemos que isso é verdade e que o número de partículas elementares é relativamente pequeno. O quadro ao lado apresenta todas as partículas elementares conhecidas. As partículas elementares são, de fato, os constituintes últimos da matéria. Muitas delas não são eternas nem imutáveis. Mas, até o ponto que sabemos, são indivisíveis.<sup>3</sup>

Assim, o nosso entendimento a respeito da estrutura da matéria é que as poucas partículas elementares participam da composição de outras partículas, como o próton e o nêutron, e essas partículas compõem os átomos. Os átomos formam todos os objetos do nosso mundo.

## 1.2 Propriedades da Matéria

Hoje definimos matéria como tudo aquilo que é composto por partículas elementares dotadas de massa. Com isso, ampliamos para quatro as variedades de matéria: A matéria ordinária (aquela composta a partir dos átomos), a matéria escura, a matéria bariônica e a anti-matéria. O nosso mundo, e tudo que existe no sistema solar, é constituído apenas de matéria ordinária. As demais variedades se encontram, por exemplo, em

estrelas de neutrons (a matéria barionica) ou gravitando em torno do centro das galáxias (a matéria escura). Não temos evidências para a existência de quantidades apreciáveis de anti-matéria no Universo.

A matéria exibe algumas propriedades as quais serão abordadas a se

A matéria ocupa um lugar no espaço. Dizemos que ela ocupa um certo volume

*Outra propriedade importante, no que tange à matéria, diz respeito à equivalência entre a quantidade de matéria determinada pela sua massa e o equivalente dessa quantidade em energia. Trata-se da famosa relação entre massa e energia ( $E=mc^2$ ). Assim, em processos físicos nos quais há perda de massa, haverá, necessariamente, liberação de uma certa quantidade de energia. Com esta descoberta, abriu-se o caminho para a exploração (para o bem ou para o mal) de novas fontes de energia.<sup>4</sup>*



*Fig. 1.4 - Parte da massa de átomos de urânio ou de plutônio se converte em energia por ocasião da explosão de uma bomba atômica.*

no espaço. A relação entre sua massa e o volume que ocupa define a densidade do corpo material.

A matéria se agrega. Isso ocorre como resultado das forças eletromagnéticas e gravitacionais. A força gravitacional produz grandes aglomerados de matéria. A Terra, os demais planetas e os cometas são exemplos de aglomerados com massas relativamente pequenas, incapazes, por isso, de emitir luz própria. A situação já é diferente no caso das estrelas, dotadas de massas bem maiores. A tendência de aglomeração não pára aí. Persiste no nível de grandes aglomerados, como as galáxias, que contêm tipicamente  $10^{11}$  sóis., bem como de aglomerados das mesmas.

A matéria é neutra, do ponto de vista da carga elétrica

## 1.3 Massa

Quando se diz que um objeto tem massa queremos dizer que ele tem a capacidade de atrair outros objetos exercendo sobre eles uma força. Essa força é atrativa e recebe o nome de força gravitacional. Como descobriu Newton, a força gravitacional é diretamente proporcional à massa dos objetos que se atraem.

Usualmente, a matéria é definida como qualquer aglomerado de átomos. Com a percepção de que o átomo é, ele mesmo, um aglomerado de partículas, esta definição foi generalizada para designar matéria como qualquer aglomerado de partículas que possuam massa. Hoje temos evidências para suspeitar que apenas uma fração da matéria do Universo, de cerca de 5%, seja composta por átomos. A maior parte da matéria no Universo é

composta por partículas elementares que não entram na composição dos átomos. Dentre essas partículas estariam os neutrinos massivos.

Podemos estabelecer uma teoria para explicar por que os objetos têm massa? Temos uma teoria, que associa as massas a uma propriedade do vácuo. No vácuo, o campo de Higgs teria orientações ao acaso, como no caso do campo magnético num ferromagneto. A massa das partículas estaria, assim, associada à quebra espontânea de simetria por parte do estado fundamental: o vácuo.



Fig. 1.5 - Sistema Solar:

No entanto, essa teoria não confirmada até o momento, experimentalmente. Assim, não dispondo de uma boa alternativa, dizemos que não sabemos explicar as massas das diversas partículas, e por isso massa é um conceito fundamental, um conceito primitivo.

Apesar de não sabermos com precisão a origem das massas dos constituintes da matéria, o fato é que podemos medi-la. Como todo processo de medida, medir massas significa comparar a massa do objeto com uma unidade (ou fração) de massa padrão. No processo de medida empregamos a força gravitacional exercida sobre ele. Ao comparar massas, estamos comparando forças gravitacionais.

## 1.4 Medições de Massa

Medição de massa com precisão, assim como de tempo e de distância, é um desafio tecnológico e científico no mundo atual. A metrologia é um ramos das ciencias. No caso da medição de massa, ela é importante também do ponto de vista econômico.

No Brasil, as questões relativas à Metrologia, tais como a padronização, a disseminação das unidades de medida aceitas universalmente e a certificação de calibrações de acordo com normas internacionais, cabem a Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, mais conhecido pela sigla INMETRO.

Vamos imaginar uma indústria que indique na embalagem que o seu conteúdo

corresponde a 300g de um certo produto. Se a máquina de empacotar cometer um erro de 10% e colocar 330g, a indústria terá um prejuízo de 10% no valor das suas vendas. Se colocar menos terá prejuízos na sua imagem, além de eventuais ações na justiça por violação do código do consumidor. O ideal é ter, portanto, exatamente 300g, como consta na embalagem. Por isso, saber medir com precisão é fundamental nos dias de hoje.



Fig. 1.6 - Balança Romana. baseada na

*Massas de objetos extremamente pequenos podem ser medidas a partir de espectrógrafos de massa. Ainda se investiga, e com grande interesse, uma "balança" de moléculas de altíssima precisão.<sup>5</sup>*

*As massas dos corpos celestes são inferidas a partir dos efeitos do campo gravitacional que eles geram. Como se pode inferir a massa, por exemplo, de um Buraco Negro quando esse objeto nem sequer pode ser visto?*

Ao utilizarmos uma balança de pratos, ou balança romana, estaremos comparando duas forças gravitacionais: aquela exercida pela Terra (como um todo) sobre o objeto cuja massa se quer medir e a outra exercida pela Terra sobre os pesinhos, cujos valores são previamente conhecidos (ou definidos) a partir de uma unidade padrão.

Ao utilizarmos como padrão o quilograma e ao medirmos a massa de um objeto estaremos, como em todo processo de medida, comparando a massa de um objeto com uma massa (os pesos na balança) que pode ser expressa em termo do quilograma-padrão.



Fig1.7 O quilograma padrão.

Tonelada ( <i>ton</i> )	$1\text{ ton} = 10^3\text{ kg}$
Quilograma ( <i>kg</i> )	$1\text{ kg} = 1000\text{ g}$
Gramma ( <i>g</i> )	$1\text{ g} = 10^{-3}\text{ kg}$
Miligramma ( <i>mg</i> )	$1\text{ mg} = 10^{-6}\text{ kg}$
Micrôgramma ( $\mu\text{g}$ )	$1\mu\text{g} = 10^{-9}\text{ kg}$

Não podemos utilizar balanças quando pretendemos medir massas de alguns objetos ou a massa dos corpos celestes. Por exemplo, como podemos medir a massa de uma molécula



Fig. 1.8 - Os vários pesos representam diferentes partições do quilograma-padrão.

se não temos facilidade para manipulá-la?

## 1.5 Unidade de Massa



Fig. 1.8 - Balança  
Digital: baseada na medida

A unidade de massa do **sistema internacional de unidades** é o quilograma, abreviado por  $kg$ , que é definido como a massa do protótipo internacional depositado no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, na França.

Outras unidades de massa, e que são derivadas do quilograma, são:

Estas são as unidades de massa mais usuais no dia-a-dia no Brasil. Em países de origem inglesa é comum usar outras unidades de massa (a libra, por exemplo).<sup>6</sup>

## 1.6 Medir a massa ou o peso?

Você já deve ter usado a expressão: “quanto pesa este pacote de tomates?” e ouvir a resposta “um quilo”. A força peso é medida em quilograma-força ( $kgf$ ), em newton ( $N$ ), em dina ( $dyn$ ) etc. e a massa, em quilograma ( $kg$ ), grama ( $g$ ) etc. Mas, no dia-a-dia, é comum essa mistura de unidades e pareceria estranho perguntarmos “quanto é a massa desse pacote de tomates?” Nem se espera que o vendedor responda corretamente sobre o peso “um quilograma-força”.

A força peso é uma grandeza física distinta da grandeza massa. No entanto, como a força peso é o produto da massa pela aceleração da gravidade, pode-se assim inferir a massa a partir da força peso. Essa relação entre peso e massa acarreta uma certa confusão e, por isso, às vezes se troca, erroneamente, um conceito pelo outro.

As balanças digitais, por exemplo, permitem inferir a massa através da medida direta da força peso. As balanças romanas comparam forças pesos.

## 1.7 Escalas de Massa

Os objetos existentes no Universo possuem massas, cujas medidas refletirão uma enorme variação. Isto porque não há limite para se agregarem mais átomos a um dado corpo sólido ou líquido. Por exemplo, a massa do Sol em quilogramas é:  $1,98 \times 10^{30} kg$ . Por outro lado, as partículas elementares têm as menores massas dentre todos os corpos no Universo. As massas do elétron e do próton são diminutas:  $9,1 \times 10^{-31} kg$  e  $1,7 \times 10^{-27} kg$  respectivamente. Esses exemplos extremos ilustram a enorme variação dos valores das massas de objetos existentes no universo.