

## A matéria que encontramos no nosso dia-a-dia, de que é formada?

### I - Introdução

A busca incessante do homem para compreender a constituição última da matéria tem levado filósofos e pesquisadores, cada um em sua época, valendo-se, os filósofos apenas da especulação filosófica e da razão pura; e os pesquisadores, dos conhecimentos científicos acumulados e dos equipamentos de laboratórios, perscrutarem a constituição mais íntima da matéria.

A primeira tentativa para compreender como a matéria era constituída é creditada a Demócrito (460 – 370 a.C), natural da cidade portuária de Abdera e considerado o último grande filósofo da natureza. Ele presumiu que todas as coisas eram formadas de pequenas partes materiais com os seguintes atributos: invisíveis, indivisíveis, eternas e imutáveis. A estas unidades mínimas constituintes da matéria, Demócrito chamou-as de átomos. Demócrito, em suas divagações filosóficas afirmava que os átomos não podiam ser divididos em partes ainda menores, pois se assim fosse, a natureza acabaria por se diluir totalmente. Para explicar a diversidade de matéria encontrada na natureza, o filósofo acreditava na existência de uma infinidade de átomos diferentes, que combinados originavam a grande variedade de corpos observada. É mister que saibamos que Demócrito usou apenas a sua razão crítica para conceber tão monumental idéia, pois naturalmente em sua época não teve acesso às tecnologias que hoje dispomos.

O atomismo de Demócrito foi soerguido por Dalton (1766 – 1844), quando este estabeleceu as bases de sua Teoria Atômica, na qual manteve que a matéria era constituída por partículas maciças e indivisíveis chamadas de átomos. Muitas experiências e especulações teóricas foram feitas desde Dalton até os nossos dias, (relembre os modelos atômicos) sempre em busca de se chegar a partícula última, aquela que não possa mais ser fracionada. Você acredita que conseguiremos? Hoje em dia o que sabemos com alguma segurança é que a matéria que encontramos no nosso dia-a-dia é constituída por um número bem pequeno de partículas, chamadas de hádrons e léptons.

### II – Hádrons

Os hádrons são partículas encontradas na natureza em número muito elevado, diferentemente dos léptons (partículas que não possuem estrutura interna, sendo o elétron o lépton mais conhecido) que não passam de um punhado. Os hádrons mais conhecidos são o próton(p) e o nêutron(n), entretanto os físicos acreditam que existem infinitos hádrons, grande parte deles extremamente instáveis, desintegrando-se em hádrons mais estáveis. Nos anos 50, os físicos estavam perplexos ante a quantidade e a variedade dos hádrons. Gradativamente começaram a ordenar sistematicamente os dados, atendendo às propriedades fundamentais como massa, carga e spin. Pouco a pouco, a ordem começou a emergir e as regularidades tornaram-se perceptíveis. Havia, portanto, pistas indicadoras da presença de simetrias subjacentes à desordem aparente. Qual deveria ser o significado da proliferação dos hádrons? Os hádrons têm uma extensão espacial definida, ao contrário do elétron que se comporta como um ponto matemático. O mistério dos hádrons foi desvendado por Murray-Gell-Mann e George – Zweig, que perceberam matematicamente que as regularidades apresentadas pelos hádrons poderiam ser justificadas se imaginássemos que eles eram constituídos por partículas mais fundamentais, as quais Murray-Gell-Mann chamou de Quarks.

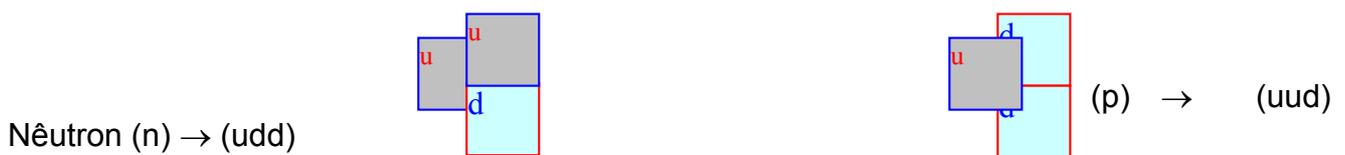
Os quarks são partículas quânticas pontuais semelhantes ao elétron, com o mesmo spin ( $1/2$ ) e com carga elétrica fracionária. Os hádrons mais comuns são constituídos de três quarks, chamados up, down e strange, bem como de seus respectivos antiquarks, que são versões dos quarks em antimatéria, com carga elétrica simétrica. Os físicos chamam up, down e strange de sabores dos quarks, claro que nada tem haver com o sentido literal da palavra. Esses sabores dos quarks são designados pelas letras **u**, **d** e **s** e os correspondentes antiquarks por  $\bar{u}$ ,  $\bar{d}$  e  $\bar{s}$ . Uma forma de pensar nos quarks é como sendo diminutas partículas que interagem por meio de forças fortes e que, desta forma, se ligam para construir os hádrons.

Tabela dos quarks

Sabores	Símbolo	Massa em GeV	Carga em unidades de carga do próton	spin
up	u	$10^{-3}$	$2/3$	$1/2$
down	d	$3 \times 10^{-3}$	$-1/3$	$1/2$
strange	s	$1 \times 10^{-1}$	$-1/3$	$1/2$
charm	c	1,5	$2/3$	$1/2$
botton	b	4,5	$-1/3$	$1/2$
top	t	176	$2/3$	$1/2$

As massas estão expressas como suas energias equivalentes – massa do elétron =  $0,511 \text{ eV}$

As regras para construir os hádrons a partir dos quarks são extremamente simples. Os bárions, que são hádrons com spins semi-inteiros, são combinações de três quarks e os antibarions são formados por três antiquarks. Os mésons, que são outro grupo de hádrons com spins inteiros, são combinações de um quark e de um antiquark. Por exemplo, o próton ( $p$ ) e o nêutron ( $n$ ), que são os primeiros hádrons a serem descobertos, são formados pelos quarks de sabores u e d.



É fácil observar, através da soma algébrica das cargas dos quarks, que o próton tem carga elétrica +1 e o nêutron carga elétrica 0. Observe na tabela abaixo:

Tabela de Hádrons

Hádron	Símbolo	Quarks	SPIN	Soma algébrica da carga dos quarks	carga
próton	P	uud	$1/2$	$2/3 + 2/3 - 1/3$	+1
nêutron	N	udd	$1/2$	$2/3 - 1/3 - 1/3$	0
píon	$\pi^0$	$d\bar{d}$	0	$-1/3 + 1/3$	0
ômega	$\Omega^-$	sss	$3/2$	$-1/3 - 1/3 - 1/3$	-1

píon	$\pi^-$	$d\bar{u}$	0	$-1/3 - 2/3$	- 1
káon	$K^+$	$u\bar{s}$	0	$2/3 + 1/3$	+ 1
lambda	$\Lambda$	uds	$1/2$	$2/3 - 1/3 - 1/3$	0
rho	$\rho^+$	$u\bar{d}$	1	$2/3 + 1/3$	+1

a carga do antiquark é igual mas de sinal contrário a do quark correspondente

A análise da tabela acima evidencia a simplicidade da utilização do conceito de quarks e antiquarks para a construção dos hádrons.

A matéria que encontramos no nosso dia-a-dia é formada por elétrons e os quarks up e down. Em uma análise mais detalhada, acrescentamos o neutrino do elétron\* (os neutrinos não formam estados ligados, entretanto são importantes para os processos de geração de energia que ocorrem no sol), os glúons de cor (portadores responsáveis pela coesão entre quarks) e os fótons, que são outro tipo de glúon (responsável pela força elétrica entre o elétron e o núcleo atômico). Dessa forma, a matéria como a conhecemos é formada por: elétron, neutrino do elétron, quarks (u,d ) e glúons. Em física de partículas, afirmamos que o quark up, o quark down, o elétron e seu respectivo neutrino formam a primeira família. Existem duas réplicas da primeira família, nas quais as partículas constituintes são mais pesadas que as partículas correspondentes da primeira família, entretanto, até hoje não se sabe o porquê da existência dessas duas famílias mais pesadas.

As forças de coesão que mantém os quarks unidos na formação dos hádrons é bem peculiar, pois, contrária à força de atração elétrica, ela aumenta à medida que tentamos separar os quarks. Essa peculiaridade sinaliza para a idéia do confinamento permanente dos quarks, razão pela qual se afirma que os quarks não podem ser isolados. Os quarks gozam de uma relativa liberdade quando estão próximos uns dos outros, entretanto, qualquer tentativa de separá-los é infrutífera, pois a força de atração aumenta consideravelmente com a distância. Existe hoje uma teoria fundamental para a dinâmica dos Quarks, chamada de Cromodinâmica Quântica (QCD), que descreve com rara beleza como ocorrem as interações entre os quarks, que são os constituintes fundamentais dos hádrons.

Por fim, devemos estar preparados para surpresas que o contínuo avanço da ciência nos reserva, pois, em muitas situações, verdades aceitas pelas mentes mais privilegiadas de uma determinada época ruíram como castelos de areia. É necessário, portanto, que estejamos preparados intelectualmente para daqui a alguns anos estarmos comentando sobre a divisibilidade dos quarks. Quem sabe, você leitor, será um agente dessa nova mudança.