

HÁ 50 ANOS ERA PROPOSTO O CONCEITO DE ESTRANHEZA

# Solução para o desconcertante

Boa parte dos progressos em física de partículas decorre de estudos do norte-americano **Murray Gell-Mann**.

Em trabalho seminal do início dos anos 50

ele explicou por que certas partículas

só eram produzidas junto com outras.

Nos anos 60, sua teoria dos *quarks* reuniu

todas as partículas em um sistema simples

de classificação. Em 1953, lançou o conceito

de 'estranheza', para explicar padrões

desconcertantes de certas partículas

nucleares. Curiosamente, esse princípio,

válido para as chamadas interações fortes

na matéria, também foi sugerido

– na mesma época e de modo independente

– pelo físico japonês Kazuhiko Nishijima.

Desde então, atribui-se a todas as partículas

que interagem fortemente o número

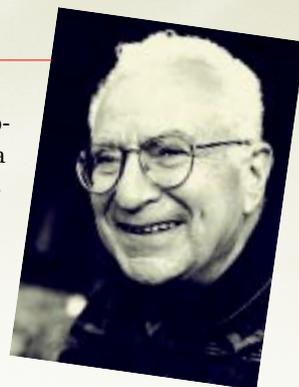
quântico denominado estranheza.

**D**esde a Antigüidade o homem tenta explicar a grande diversidade dos materiais existentes na natureza em termos de alguns poucos constituintes elementares. Para os gregos, o mundo era composto por quatro 'elementos': terra, fogo, ar e água. Só mais de 2 mil anos depois surgiu uma teoria consistente, na qual os compostos seriam formados de átomos – tidos então como os constituintes básicos da natureza.

A descoberta de um número cada vez maior de elementos (hidrogênio, carbono, nitrogênio, ferro etc.) levou a uma nova teoria, segundo a qual os próprios átomos seriam formados por algumas partículas elementares. Com a identificação do nêutron, em 1932, o modelo atômico pareceu estar definido: todos os elementos químicos são feitos de átomos e estes são formados por três partículas básicas: elétron, próton e nêutron. Esse modelo, porém, foi abalado em 1936, com a descoberta de uma nova partícula, o múon, e em 1947, com a identificação do pión (ou méson pi).

Desde então várias outras partículas foram descobertas, e hoje o total chega a centenas. Para explicá-las, uma nova teoria foi buscada. Até 1950, os raios cósmicos eram a única fonte dessas partículas. Depois elas passaram a ser produzidas também em laboratórios, por meio de aceleradores, como resultado de colisões entre partículas nucleares, como prótons e nêutrons. O elétron e o próton (tanto quanto se sabe) são estáveis. Não se decompõem (decaem) em outras partículas. Já o nêutron, estável dentro do núcleo, decai fora dele. Entre as partículas básicas, poderíamos incluir o fóton, responsável pela interação eletromagnética entre partículas com carga elétrica. As demais partículas são instáveis, decaindo rapidamente depois de produzidas.

Ao lado da multiplicidade de partículas, percebemos a existência de vários tipos de forças. Cada tipo é distinguido não só por sua intensidade inerente, mas também por um conjunto de regras ou leis de 'conservação'.



Há 50 anos

O físico norte-americano Murray Gell-Mann (ver 'Erudito e bem-humorado') teve papel importante na classificação das partículas elementares, propondo um sistema para agrupá-las em arranjos simples e ordenado de famílias. Por esse trabalho, ele recebeu o prêmio Nobel de física em 1969. Para melhor apreciar sua contribuição, é preciso antes entender alguns conceitos básicos.

### As leis de conservação

A física de partículas baseia-se em um sistema de princípios de invariância (ou simetria) e de leis de conservação. Tal sistema permite obter relações entre as propriedades dos vários estados das partículas e das diferentes interações entre elas. De modo simplificado, diz-se que um sistema é invariável (ou simétrico) se mantém suas características ao sofrer uma 'transformação' (uma rotação, por exemplo). Já as leis de conservação estabelecem que o valor total de uma quantidade, como energia ou carga elétrica, não pode mudar – ou seja, em qualquer evento, a soma das quantidades iniciais deve ser igual à soma das quantidades finais.

As leis de conservação ajudam a entender o universo. Em geral, uma quantidade que se conserva está associada a uma simetria da natureza. A conservação da energia, por exemplo, está associada à chamada simetria de deslocamento temporal; a conservação do 'momento' à simetria de translação; e a conservação do 'momento angular' à simetria de rotação. Segundo essas três simetrias, o comportamento de um objeto, livre de influências externas, será o mesmo agora ou daqui a algum tempo (no primeiro caso), aqui ou em qualquer outro lugar (no segundo) ou da forma como está ou girado de um ângulo qualquer (no último caso).

As leis de conservação governam o decaimento das partículas. Todo decaimento ocorre espontanea-

mente, a não ser que seja 'proibido' por uma lei de conservação. Gell-Mann expressou esse fato na frase "tudo o que não é proibido é compulsório". Se uma interação entre partículas não é proibida, é razoável esperar que aconteça.

Vamos considerar o decaimento de uma partícula  $a$  em duas outras:  $b$  e  $c$ . Esse processo é representado esquematicamente por  $a \rightarrow b + c$ . A carga elétrica da partícula  $a$  deve ser igual à soma das cargas elétricas de  $b$  e  $c$ . Por outro lado, a conservação da energia requer que a massa de  $a$  seja maior que a massa total de  $b + c$ . Não basta que as massas sejam iguais porque alguma massa de  $a$  deve ser convertida na energia cinética dos produtos.

Para saber se uma partícula é estável, devemos verificar se seu decaimento contraria alguma lei de conservação. Por outro lado, se uma reação que não contraria as leis conhecidas não ocorre (quando deveria ser compulsória), é preciso propor uma grandeza nova que se conserva para explicar a ausência desse decaimento.

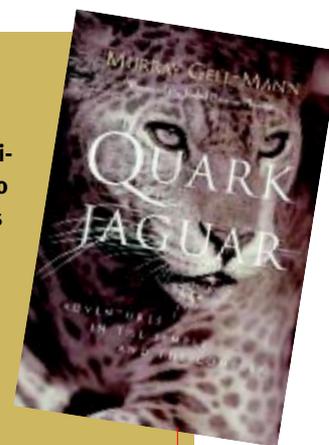
### As quatro forças

Outro fator importante são as quatro forças conhecidas: gravitacional, eletromagnética, fraca e forte. A primeira atua sobre qualquer tipo de partícula e a segunda sobre as que têm carga elétrica. A força fraca é responsável pelo decaimento radioativo, e a força forte – que mantém os prótons coesos, apesar da repulsão elétrica entre eles – garante a estabilidade do núcleo atômico.

A maioria das partículas não vive eternamente. Elas decaem em partículas mais leves, que decaem em outras, até chegar a uma (ou mais de uma) partícula estável, como o elétron e o próton. As forças eletromagnéticas, forte e fraca são responsáveis pelo decaimento das partículas. O tempo para produção ou decaimento de partículas varia e depende da for- ▶

## Erudito e bem-humorado

Murray Gell-Mann nasceu em Nova York a 15 de setembro de 1929. Entrou para a Universidade de Yale com 15 anos e concluiu o curso de física aos 19. Obteve o título de doutor pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts em 1951 e ingressou no Instituto de Estudos Nucleares da Universidade de Chicago em 1952. No ano seguinte introduziu na física o conceito de estranheza. Gell-Mann transferiu-se para o Instituto de Tecnologia da Califórnia em 1955 e seis anos mais tarde apresentaria um sistema para agrupar todas as partículas em um arranjo simples e ordenado. Outra importante contribuição sua à física de partículas é a teoria dos *quarks*. Os nomes que usou para batizar partículas refletem seu senso de humor e seus variados interesses (história natural, arqueologia, literatura etc.). Além de vários prêmios e títulos honoríficos, recebeu o Nobel de física em 1969. Casou-se em 1955 com a arqueóloga Margaret Dow, com quem teve dois filhos. Dedicou-se hoje, no Instituto de Santa Fé, ao estudo de sistemas complexos. É autor do livro **O quark e o jaguar**.



ça envolvida. A força forte induz decaimento em tempo extremamente curto (cerca de um trilionésimo de trilionésimo de segundo). Já a força fraca – ínfima, em relação à forte (daí os nomes) – leva a decaimentos lentos. O decaimento do nêutron, induzido pela força fraca, demora cerca de 15 minutos.

### Léptons e hádrons

As partículas elementares podem ser divididas em dois grupos: os léptons e os hádrons. Os léptons parecem pontuais e sem estrutura (sem tamanho discernível) e portanto – tanto quanto sabemos – realmente fundamentais. Eles não são afetados pela força forte. Até hoje foram identificados seis tipos, divididos em três famílias, cada uma com um lépton com carga elétrica e um neutrino associado. São léptons com carga o elétron (e), o múon ( $\mu$ ) e o táon (t). Todos têm a mesma carga, mas massas diferentes: o elétron é o mais leve e o táon o mais pesado. As partículas associadas são o neutrino eletrônico ( $\nu_e$ ), o neutrino muônico ( $\nu_\mu$ ) e o neutrino taônico ( $\nu_t$ ). Cada um dos seis léptons tem seu antilépton de mesma massa, mas carga elétrica oposta.

As partículas subnucleares sensíveis à força forte constituem os hádrons ('forte', 'robusto', em grego). Essa categoria inclui o próton e o nêutron, além de centenas de partículas efêmeras, produzidas em colisões de alta energia em aceleradores. Os hádrons não são elementares, pois ocupam certo volume do espaço e, segundo a teoria de partículas, são formados por objetos mais básicos: os *quarks*. Os *quarks* individuais são tão pequenos que devem ser simples e pontuais como os léptons.

### Observações curiosas

No início dos anos 50, em seu primeiro trabalho importante, Gell-Mann procurou explicar por que algumas das novas partículas produzidas na época em aceleradores só ocorriam em associação com outras. Por exemplo, uma partícula conhecida como káon ( $K^0$ , onde o índice superior indica o valor da carga elétrica em unidades da carga do próton) era produzida com outra chamada lambda ( $\Lambda^0$ ), mas não junto com um nêutron, por exemplo. Verificou-se que a reação  $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$  ocorria; mas não se observava o processo  $\pi^- + p \rightarrow n + K^0$ , embora não fosse proibido por qualquer lei de conservação conhecida até então.

Outro fato interessante é que os káons são produzidos em relativa abundância e de forma quase instantânea, indicando uma interação forte. Mas tanto  $K^0$  quanto  $\Lambda^0$  decaem em outras partículas em tempo relativamente longo, da ordem de  $10^{-10}$ s, típico da interação fraca (se fosse pela forte, deveria ocorrer em menos de  $10^{-22}$  segundos, um tempo trilhões de vezes menor). Assim, o decaimento devia ser devido

à interação fraca, embora todas as partículas envolvidas fossem hádrons. Se um hádron pode decair em outro hádron de massa menor, isso certamente ocorre via interação forte, a menos que uma lei de conservação impeça esse decaimento.

Esse fato estranho levou Gell-Mann a lançar em 1953 o conceito de estranheza, uma nova lei de conservação para a interação forte. Assim, um número chamado de estranheza (denotado por S) foi designado para todas as partículas que interagem fortemente. Tal número é igual a zero para o pión, o nêutron e demais partículas 'não estranhas'. Já as 'estranhas' compõem uma nova classe de partículas com S diferente de zero, um número inteiro que pode ser positivo ou negativo. Foi atribuído  $S = -1$  para a partícula lambda e  $S = +1$  para o káon, por exemplo.

A conservação da estranheza explica por que processos como  $\pi^- + p \rightarrow n + K^0$  não ocorrem (pois  $S = 0$  do lado esquerdo e  $S = +1$  do lado direito) e impede o decaimento, via interação forte (em tempo muito curto) de processos como  $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ . Mas tal decaimento pode ocorrer via interação fraca, em um tempo longo, e nesse caso a estranheza não se conserva. Assim, a interação forte conserva S, mas a fraca não. A idéia de um número quântico aditivo (a estranheza), conservado nas interações forte e eletromagnética, passou por vários testes e é sem dúvida correto.

### Caminho óctuplo

Nos anos seguintes, muitos físicos teóricos tentaram encontrar novas simetrias que permitissem um relacionamento das partículas entre si. Em 1961, Gell-Mann mostrou que uma simetria estudada antes em matemática pura (teoria de grupos) permitia classificar todas as partículas que interagiam fortemente. Ele chamou essa classificação de *eightfold way* (algo como 'caminho óctuplo'). Em 1962 ele predisse, usando sua teoria, uma nova partícula, ômega menos ( $\Omega^-$ ), descoberta em 1964.

Ainda em 1964, Gell-Mann verificou que seu sistema de classificação poderia ser descrito de modo simples, supondo que todos os hádrons fossem compostos de apenas três tipos de partículas, que chamou de *quarks*. Mais tarde, outros tipos de *quarks* foram propostos, e sabemos hoje da existência de seis, que costumam ser designados por sabores e receberam ainda nomes não tradicionais: *up* (u), *down* (d), *strange* (s), *charm* (c), *bottom* (b) e *top* (t).

Os *quarks* d, s e b têm carga elétrica  $-1/3$  (em unidades da carga do próton); os outros, carga  $2/3$ . O s é um dos *quarks* que constituem uma partícula 'estranha'. A existência de cargas com valores fracionários foi um resultado assustador, pois até então não havia evidência experimental de cargas isoladas menores que a do próton. Associados

aos *quarks*, existem os *antiquarks* ( $\bar{u}$ ,  $\bar{d}$ ,  $\bar{c}$ ,  $\bar{s}$ ,  $\bar{t}$ ,  $\bar{b}$ ). A carga fracionária não é observada porque os *quarks* sempre se juntam em combinações com carga elétrica total inteira.

### Cor e sabor

Em 1964 o físico norte-americano Oscar W. Greenberg sugeriu que cada 'sabor' dos *quarks* podia existir em três estados diferentes, que chamou de vermelho, verde e azul (a 'cor' dos *quarks*, como o 'sabor', é um nome arbitrário, que nada tem a ver com as cores reais). Hoje há evidências de que as forças que unem os *quarks* devem-se à interação entre suas cores. Assim, a cor pode ser vista como uma espécie diferente de carga. A força forte seria, portanto, uma interação entre cores. A regra é similar à eletrostática: cores iguais se repelem, cores opostas (cor e anticor) se atraem.

Os *quarks* podem se combinar de dois modos para formar um hádron: ou três *quarks* são reunidos (um de cada cor), ou um *quark* de uma dada cor é unido a um *antiquark* da anticor correspondente. Para evitar redundância no número de partículas, foi proposto que a união dos *quarks* só pode ocorrer em combinações de cores que deixam o hádron incolor (se a quantidade total de cada cor for zero ou as três cores estiverem presentes em quantidades iguais). Nesse caso, há uma analogia com a luz: sabe-se que as três cores primárias ou uma cor e sua cor comple-

mentar se combinam para dar o branco. Nos *quarks*, a anticor equivale à cor complementar. Essa hipótese estabelece ainda que todas as combinações possíveis de cores dos *quarks* são igualmente prováveis, desde que a partícula composta seja incolor.

No primeiro tipo de combinação (três cores), é produzido um bárion. O próton é composto pelos *quarks* *uud*, e o nêutron por *udd*. Já a partícula  $\Omega^-$  é formada pelos *quarks* *sss*. No segundo tipo, forma-se um méson (como as partículas  $\pi^+ = u\bar{d}$ ,  $\pi^- = d\bar{u}$ ,  $K^0 = d\bar{s}$ ). Os mésons são instáveis porque o *quark* e o *antiquark* podem aniquilar-se mutuamente, produzindo elétrons e outras partículas.

As cores explicam naturalmente as combinações de *quarks* e *antiquarks* que formam os mésons e bárions e a ausência de outras combinações na natureza. A força forte atua entre cargas de cor e não entre cargas elétricas. Uma partícula incolor não está sujeita à força forte. Embora nenhum *quark* livre tenha sido observado até hoje, evidências experimentais mostram que dentro do próton existem constituintes com todas as propriedades atribuídas a eles.

**Antônio Sérgio Teixeira Pires**

Departamento de Física,

Universidade Federal de Minas Gerais

## Dê um brilho especial a suas aulas.

### Use os livros desta coleção.

*Ciência Hoje na Escola* é uma série de 12 livros paradigmáticos que abordam temas da atualidade e abrangem diversas áreas do conhecimento. Cada volume é composto por artigos escritos por alguns dos melhores pesquisadores do país. Todos os livros contêm índice por palavra-chave e um caderno especial para auxiliar o trabalho do professor em sala de aula. Bem ilustrados, os volumes trazem ainda experimentos que apóiam as atividades curriculares.



**CIÊNCIA HOJE**  
na escola

A MELHOR DA SALA  
*Ela não pode faltar*

CONHEÇA OS TÍTULOS DA COLEÇÃO

Céu e Terra  
Bichos  
Corpo Humano e Saúde  
Meio Ambiente e Águas  
Ver e Ouvir  
Química do dia-a-dia  
Tempo e espaço  
Matemática  
Evolução  
Geologia  
Sexualidade  
Eletricidade

NA INTERNET: [www.ciencia.org.br](http://www.ciencia.org.br) PELO TELEFONE: 0800-264846