



# NUCLEOSSÍNTESE A FORMAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

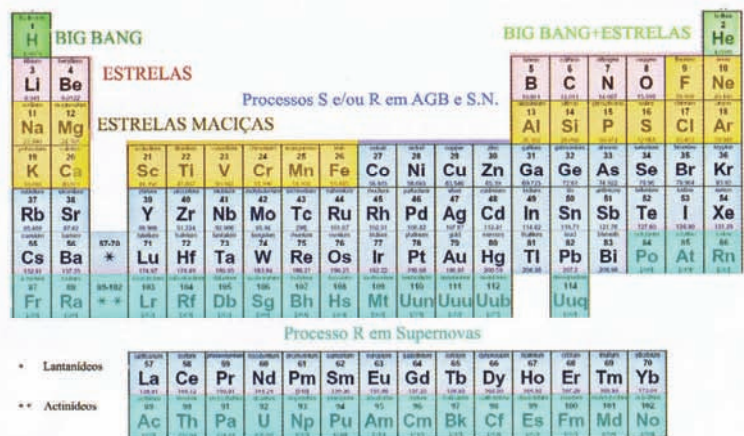
No nosso planeta existem na Natureza 92 elementos químicos e mais uns quantos sintetizados em laboratório

Texto José Ribeiro

**OS ELEMENTOS SÃO CONSTITUÍDOS** por átomos, que compreendem um núcleo com prótons e neutrões e uma nuvem de eletrões à sua volta. Os átomos de cada elemento são definidos pelo número de prótons Z, número atómico, e pelo número total de prótons e neutrões A, número de massa. No texto apresentaremos o elemento X por X(Z;A). Assim, por exemplo, o átomo de hidrogénio H(1;1) contém um único próton e nenhum neutrão, enquanto o átomo de urânio U(92;238) contém 92 prótons e 146 neutrões. A estabilidade dos átomos depende da proporção entre prótons e neutrões (nucleões) no núcleo. Os nucleões estão coesos pela força nuclear forte que atua a distâncias muito curtas, mas que prevalece sobre a força eletromagnética e sobre a força nuclear fraca. Prótons a mais enfraquecem a coesão do núcleo devido à repulsão electrostática (cargas de sinal igual repelem-se), e neutrões a mais tendem a decair em prótons, devido à força nuclear fraca. Em elementos até ao cálcio, Z = 20, a estabilidade reside em número igual de prótons e neutrões, aumentando a proporção de neutrões em átomos mais pesados. O átomo mais coeso, com maior energia de ligação, é o ferro, Fe(26;56). Átomos mais leves que o ferro revelam menor energia de ligação, pelo que libertam energia quando se fundem, e átomos mais pesados que o ferro libertam energia quando fissam (fig. 1). Do ponto de vista energético, toda a matéria mais leve tende a fundir-se em ferro e toda a matéria mais pesada tende a fissar até ao ferro.

Cada elemento pode ter vários isótopos, definidos pelo número de neutrões no seu núcleo. Excluindo a fissão, os processos de transmutação de elementos noutros elementos podem levar mais ou menos tempo, dependendo da estabilidade do isótopo. A transmutação pode processar-se dos seguintes modos:

Decaimento  $\beta^-$ :  $X(Z;A) \rightarrow Y(Z+1;A) + e^-$



■ Tabela periódica dos elementos e os processos da formação dos mesmos

+ antineutrino eletrão

Decaimento  $\beta^+$ :  $X(Z;A) \rightarrow Y(Z-1;A) + e^+$

+ neutrino eletrão

Captura de eletrões:  $X(Z;A) + e^- \rightarrow Y(Z-1;A)$

+ neutrino eletrão

Decaimento  $\alpha$ :  $X(Z;A) \rightarrow Y(Z-2;A-4) + He(2;4)$

Fissão:  $X(Z;A) \rightarrow Y(\approx Z/2; \approx A/2) + Z(\approx Z/2; \approx A/2)$

Na maior parte dos casos, o decaimento processa-se por  $\beta^-$ , «beta menos», quando um neutrão decai num próton, num eletrão e num antineutrino eletrão. O elemento transforma-se noutro elemento, mantendo o número de nucleões:

Por exemplo,  $C(6;14) \rightarrow N(7;14) + e^- + \text{antineutrino eletrão}$ . No decaimento  $\alpha$  é libertado um núcleo de hélio. Na fissão, um átomo divide-se normalmente em dois átomos, cujos números atómico e de massa se aproximam da metade dos números iniciais, além da libertação de outras partículas, como, por exemplo, a célebre reação da bomba atómica:  $U(92;236) \rightarrow Ba(56;144) + Kr(36;89) + 3n + 177\text{MeV}$ .

Um outro processo de transmutação nuclear é a fotodesintegração, em que um fóton de alta



energia pode fazer libertar um neutrão, próton ou partícula  $\alpha$  de um átomo.

### A formação dos elementos mais leves

Ainda hoje o hidrogénio e o hélio constituem 99% dos átomos de matéria bariónica do Universo e somente 1% se distribuem pelos outros elementos. Um segundo após o Big Bang, havia cerca de um neutrão por cada dez prótons. Três minutos após o Big Bang, o meio já tinha arrefecido o suficiente para que a nucleossíntese primordial tivesse lugar: prótons e neutrões deram origem ao átomo de hélio. No fim deste processo, a abundância era de um átomo de hélio para 10 a 11 prótons, ou seja, 75% da massa do Universo eram hidrogénio, 25%, hélio, e alguns vestígios de deutério e de lítio. Foram necessários mais mil milhões de anos para que a gravidade atuasse sobre estes elementos leves para despoletar a formação das primeiras estrelas. As estrelas menos maciças fabricam por fusão elementos até ao oxigénio, enquanto as mais maciças produzem até ao ferro.

### Os elementos mais pesados

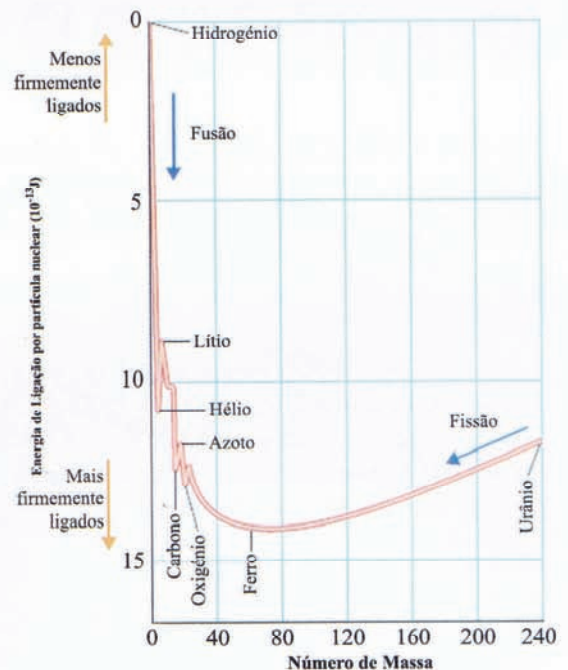
Os elementos mais pesados que o ferro são fabricados em processos violentos, em estrelas em fim de vida na fase do Ramo Assintótico das Gigantes (AGB) e nas violentas ondas de choque das supernovas. Uma estrela na fase AGB sofre uma série de pulsações, originando alguma nucleossíntese.

Em 1957, Geoffrey Burbidge *et al.* teorizaram o processo de produção dos elementos pesados: a captura lenta (processo s) ou rápida (processo r) de neutrões por átomos existentes, seguida de decaimento. Os neutrões são eletricamente neutros, pelo que não sofrem repulsão eletrostática, e assim se ligam mais facilmente aos núcleos atómicos.

No processo, os neutrões são capturados pelo núcleo até ao próximo isótopo instável, que então decairá no próximo elemento, antes de capturar outro neutrão.

No processo r, a captura de neutrões é tão rápida que não há tempo para o decaimento do próximo isótopo instável. O intenso aumento de neutrões no núcleo diminui drasticamente a energia de ligação. Quando o processo termina, o isótopo decai numa cascata de emissão de eletrões até chegar a um elemento estável. Devido ao enorme fluxo de neutrões, este processo só ocorre nas supernovas. Também existe outro processo (p) que origina isótopos raros ricos em prótons como o estanho e que não podem ter sido

■ Energia de ligação dos núcleos atómicos em função do número de massa. O ferro é o elemento com maior energia de ligação. (adaptado de "The Solar System", Seeds/Beckman, ISBN-10:1-4390-5036-8)



synetizados pela captura de neutrões. No entanto, é pouco provável que este processo se deva à captura de prótons. O processo pode dever-se à desintegração de isótopos durante processos r ou s em ambientes de alta temperatura que sofrem repentino arrefecimento, parando rapidamente o processo, originando, assim, núcleos ricos em prótons.

Elementos	#Prótons	Produção
H	1	Big Bang
He	2	Big Bang + estrelas
C-O	6-8	Estrelas
Ne-Fe	10-26	Estrelas maciças
Co-Bi	27-83	Processos s e/ou r em AGB e supernovas
Po-U	84-92	Processos r em supernovas

Caro(a) leitor(a), fique pois sabendo que o seu corpo foi fabricado nas estrelas, e que talvez alguns pedacitos seus já tenham feito parte de algum tiranossauro-*rex*! Quanto à sua aliança matrimonial, essa provém de uma brutal catástrofe! ■

jmscrib@gmail.com.