

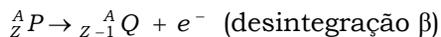
Transmutação por captura electrónica

Os estudos de radioactividade natural puseram em evidência a existência de dois tipos de transmutação: por emissão nuclear de uma partícula α ou de um electrão (partícula β). Em qualquer dos casos é a saída do núcleo de um corpúsculo (α ou β) que caracteriza a transmutação.

Se designarmos pelo símbolo P o núcleo emissor de um elemento de número atómico Z e de um isótopo desse elemento de número de massa A , e por Q o do núcleo resultante, os dois tipos de transmutação podem ser representados simbolicamente da maneira seguinte:

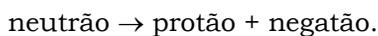


e



em que ${}^4_2 He^{--}$ e e^- representam respectivamente a partícula α e o electrão negativo. Admitindo que o núcleo é constituído exclusivamente por protões e neutrões, a emissão α corresponde à saída de dois protões e de dois neutrões (associação que constitui um núcleo de átomo de hélio de número de massa 4) e a emissão β corresponde à transformação de um neutrão num protão e num electrão negativo (negatão) com expulsão, para fora do núcleo, deste último corpús-

culo (¹). A emissão será assim a segunda etapa de um fenómeno que se inicia na transformação:

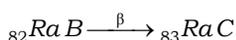


Em qualquer dos tipos de transmutação, α ou β , o núcleo resultante Q pode ficar excitado, isto é, com um excesso de energia em relação ao seu estado fundamental; se assim acontecer, o núcleo Q emitirá esse excesso de energia sob a forma de radiação γ , ou de electrões de conversão ou ainda, raramente, atribuindo essa energia ao corpúsculo emitido por Q ao desintegrar-se, por sua vez, num novo núcleo (caso das partículas α de longo percurso).

Como o número atómico Z varia em qualquer dos dois tipos de transmutação, isto é, como o número de electrões do cortejo electrónico é diferente no átomo que se transmuta e no resultante da transmuta-

(¹) De facto, razões de ordem teórica levam a admitir que o fenómeno é mais complexo havendo formação simultânea de um *neutrino* que é expulso ao mesmo tempo que a partícula β . É por um critério de simplicidade que nesta descrição, bem como nas que se seguem, faremos sistematicamente abstracção da existência do neutrino.

ção, ocorre imediatamente perguntar se o rearranjo do cortejo electrónico se efectua antes ou depois do núcleo Q ter emitido o excesso de energia que possui. A experiência mostrou, ainda que indirectamente que o rearranjo electrónico se efectuava num tempo muito mais curto do que o tempo de desexcitação do núcleo Q . Um exemplo facilitará a explicação da forma como foi possível chegar a esta conclusão; considere-se a transmutação, por emissão β , do rádio B em rádio C :

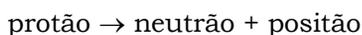


Se o núcleo de $Ra C$ fica, após a desintegração, num estado excitado, uma das formas de emitir a energia de excitação é expulsando um electrão do cortejo (fenómeno de conversão interna). Assim, um núcleo de rádio C ao desexcitar-se expulsará um electrão da órbita K , outro núcleo de rádio C um electrão da órbita L , etc.; se for possível medir com suficiente rigor a diferença de energia destes dois electrões ver-se-á se esta diferença corresponde à diferença dos trabalhos de extracção $W_K - W_L$ do elemento de número atómico 82 ou à do elemento de número atómico 83; a primeira é de 72,1 e a segunda de 74,2 keV . A experiência mostrou, neste caso da transmutação $Ra B \rightarrow Ra C$, que a diferença era de 74,6 keV , isto é, que a conversão interna se produzia já quando os electrões do cortejo electrónico tinham tomado as posições correspondentes a $Z = 83$.

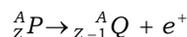
Por outro lado, como do fenómeno de conversão interna resulta que electrões profundos, por exemplo da órbita K , são expulsos, o átomo em que tal expulsão se deu encontra-se em circunstâncias perfeitamente idênticas às de um átomo de um anticatódio de uma ampola de raios X que, por bombardeamento electrónico, tenha perdido um electrão K ; seguir-se-á, pois, a emissão de um espectro K de raios X e a experiência confirmou que as riscas deste espectro têm

o mesmo comprimento de onda das do espectro K de raios X do bismuto ($Z = 83$). A conversão interna é assim acompanhada de um espectro de raios X (chamado de fluorescência ou de emissão própria) característico do número atómico do elemento *resultante* da transmutação.

Mais tarde, a descoberta da radioactividade artificial e consequente preparação de novos radioelementos, veio mostrar a existência de um novo tipo de transmutação em que a partícula emitida pelo núcleo ao desintegrar-se é um electrão positivo. Este novo tipo de transmutação corresponde à transformação nuclear de um protão num neutrão e num electrão positivo:

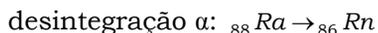


ou seja

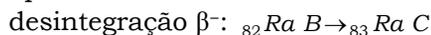


Igualmente neste novo tipo de transmutação, o núcleo resultante pode ficar excitado e dar assim lugar à emissão de fotões γ ou de electrões de conversão; neste último caso observou-se que o espectro de fluorescência era o correspondente ao número atómico do átomo resultante da transmutação tal como acontecia para as desintegrações α e β^- .

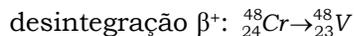
Exemplificando, ter-se-á, pois para os três tipos de transmutação:



(espectro de fluorescência de $Z = 86$)



(espectro de fluorescência de $Z = 83$)



(espectro de fluorescência de $Z = 23$).

Há alguns anos descobriu-se que certos elementos emitiam um espectro de raios X correspondente a um número atómico inferior de uma unidade ao seu próprio número atómico (tal como na desintegração β^+) mas sem que houvesse emissão de electrões positivos, nem de *electrões de conversão*, nem

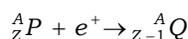
de radiação gama. Interpretou-se este fenómeno como devido à entrada no núcleo de um electrão do cortejo electrónico e consequente neutralização de um protão; é a este fenómeno de absorção de um electrão do cortejo pelo núcleo que se dá o nome de *captura electrónica*. Por exemplo, o isótopo de número de massa 59 do níquel transforma-se em cobalto por captura electrónica:

captura electrónica: ${}_{28}^{59}\text{Ni} \rightarrow {}_{27}^{59}\text{Co}$
(espectro de fluorescência de $Z = 27$).

Este novo tipo de transmutação corresponde, pois, à união de um protão com um electrão para produzir um neutrão

protão + negatão \rightarrow neutrão

ou



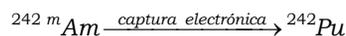
e é assim o inverso da transmutação β^- em que um neutrão se transforma num protão e num electrão que é expulso (partícula β^-).

É evidente, que, neste caso, como há captura de um electrão do cortejo, este dá origem, ao rearranjar-se, a um espectro de fluorescência mesmo sem necessidade de o núcleo resultante ficar excitado e se produzir a emissão de electrões pelo fenómeno da conversão interna.

Supos-se inicialmente que o electrão capturado era sempre um electrão da órbita K , pelo que se deu ao fenómeno o nome de captura K , mas a teoria mostrou que sendo a probabilidade de captação de um electrão pelo núcleo função do tempo durante o qual o electrão se mantém *próximo* do núcleo, deveria haver uma probabilidade apreciável para que os electrões L , M , etc., fossem igualmente capturados. A experiência confirmou esta previsão teórica, e há, com efeito, de uma maneira geral, captura K , L , M ,...; este facto justifica que se abandone a designação inicial de captura

K para se adoptar a mais geral de captura electrónica.

A captura electrónica só é energeticamente possível quando a massa nuclear do átomo que se transmuta adicionada da massa e da energia do electrão capturado é igual ou superior à massa do núcleo resultante no seu estado fundamental. É evidente que a energia fornecida ao núcleo e transformável em massa pela entrada nele do electrão do cortejo é tanto maior (como no caso da queda dos graves) quanto mais exterior é o nível ao qual pertence o electrão capturado; isto é, a captura de um electrão da órbita L fornece mais energia ao núcleo do que a captura de um electrão do nível K . Nestas condições pode suceder que a entrada no núcleo de um electrão de uma órbita exterior torne possível uma transmutação por captura electrónica enquanto que um electrão de um nível profundo não traria a quantidade de energia necessária. Conhece-se um exemplo deste tipo. O amerício de número de massa 242 (no estado metastável cujo período é de 16 horas) transforma-se em plutónio por captura electrónica de um electrão L , M ,... mas a captura de um electrão K não se verifica por falta de energia (o electrão L traz ao núcleo uma energia superior de 100 keV àquela que seria fornecida por um electrão do nível K). Assim na transmutação



haverá emissão de espectros de fluorescência L , M ,... sem haver emissão de espectro K . Este exemplo reforça a razão que há de preferir a designação geral de captura electrónica àquela, inicialmente proposta, de captura K .

Acrescente-se que este caso é um exemplo limite. Com efeito, nos últimos tempos, tem-se encontrado várias espécies nucleares em que a energia trazida ao núcleo pela captura de um electrão K é suficiente para produzir a transmutação, mas como ela ultrapassa de muito pouco o mínimo indis-

pensável, a captura L predomina sobre a captura K ; é o caso da transmutação, por captura electrónica, do neptúnio 235 em urânio, em que 90 % das transmutações se realizam por captura L e só 10 % por captura K .

Um dos problemas que mais interessou os físicos desde a descoberta da radioactividade natural foi o de procurar acelerar ou retardar a velocidade de desintegração de dado elemento radioactivo; todos os esforços dispendidos neste sentido resultaram vãos e o período radioactivo dos radioelementos naturais é ainda hoje uma grandeza que o homem não é capaz de influenciar. Logo após a descoberta do tipo de transmutação por captura electrónica surgiu a ideia que este seria um tipo de transmutação particularmente favorável de influenciar visto que este é o único caso em que a transmutação se realiza pela entrada de uma partícula do cortejo electrónico no núcleo, ao passo que em todos os outros casos é o núcleo que emite um corpúsculo. Levando o raciocínio até ao caso limite de um núcleo completamente «despido» do seu cortejo electrónico, é evidente que este núcleo não se pode transformar por captura electrónica e que nestas circunstâncias o seu período de semi-desintegração será infinito. Não é possível, para nenhuma das espécies nucleares que se transmutam por captura electrónica, atingir este caso ideal de tirar todos os electrões que envolvem o núcleo e por isso pensou-se tornar simplesmente mais «difícil» a captura; entre os vários processos encarados o único ao qual se saiba ter-se recorrido é o das ligações químicas.

O caso que se estudou foi o do berílio de número de massa 7 que se transmuta, por captura electrónica, em lítio; mediu-se o período de semi-desintegração do berílio 7 sob a forma de metal e sob a forma de composto (óxido e fluoreto). Embora os resultados dos diferentes experimentadores (Berkeley e Paris) apresentem certas diferenças pode afirmar-se que o berílio 7 metálico se transmuta *mais rapidamente* do que o óxido ou fluoreto de berílio 7. Foi este assim o primeiro caso de velocidade de transmutação que foi possível diferenciar.

O fenómeno de captura electrónica não é, como a sua descoberta tardia poderia levar a supor, um fenómeno raro; se é certo que nenhum radioelemento natural se transmuta por este mecanismo, entre as espécies nucleares creadas artificialmente contam-se já hoje mais de uma centena que se transmutam por captura electrónica. Designadamente, nos elementos transurânicos, numerosas são as espécies nucleares que se transmutam simultaneamente por captura electrónica ou emissão α , apresentando assim uma bifurcação semelhante àquela conhecida de há muito para os elementos C (rádio C , tório C , actínio C) das famílias radioactivas naturais em que a transmutação se pode realizar por via α ou β . Assim, por exemplo, numa massa de plutónio 234 há núcleos que se transmutam, por emissão α , em núcleos de urânio 230, e outros núcleos que se transmutam, por captura electrónica, em núcleos de neptúnio 234.

MANUEL VALADARES

Maitre de recherches au Centre National de la Recherche Scientifique — (França)

A Gazeta de Física, ao iniciar o seu III volume, proclama, mais uma vez, a necessidade de se criar um curso independente de Física nas Universidades portuguesas