

- (5) KERST, D. W. and SERBER, R. — *Phys. Rev.*, **60**, p. 53 (1941),
- (6) KERST, D. W. — *Rev. Sci. Inst.*, **13**, p. 387 (1942).
- (7) WESTENDORP, W. F. and CHARLTON, E. — *Jour. Appl. Phys.* — **16**, p. 581(1945).
- (8) KERST, D. W. — *Phys. Rev.*, **68**, p. 233 (1945).
- (9) WESTENDORP, W. F. — *Jour. Appl. Phys.*, **16**, p. 657 (1945).
- (10) BALDWIN, G. and KOCH, H. W., — *Phys. Rev.*, **67**, p. 1 (1945).
- (11) MCMILLAN, E. M. — *Phys. Rev.* **68**, p. 143 (1945).
- (12) BALTA, J. — *Alfa*, **16 y 17**, p. 32 (1945).
- (13) BOSLEY, W. — *Jour. Sci. Ins.*, **23**, p. 277 (1946).
- (14) WILKINSON, K. — *Res. Lab. B. T. H.* (1948).

J. XAVIER DE BRITO  
 PROF. DO LICEU PASSOS MANUEL

## 7. FÍSICA NUCLEAR

### O QUE SÃO E COMO FUNCIONAM AS PILHAS ATÓMICAS

A Física dos nossos dias ressuscitou, para o primeiro plano das actualidades científicas, duas designações do século XVIII: a *máquina electrostática* e a *pilha*. A primeira está magnificamente representada na máquina de Van der Graff; a segunda, na pilha atômica, poderosa fonte de energia de cuja utilização se espera vir a tirar grande proveito.

Originariamente a designação de pilha explicava-se pelo empilhamento dos discos de cobre e de zinco, separados por rodela de pano embebidas em água acidulada, que Volta utilizou na realização do primeiro gerador hidroeléctrico. Na pilha atômica há também, como vamos ver, o empilhamento de certos materiais, o que justifica a designação de pilha.

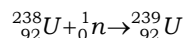
O urânio natural é formado por três tipos de átomos diferentes que podemos representar por  $U_{234}$ ,  $U_{235}$  e  $U_{238}$ . Em cada 100.000 átomos de urânio natural existem, em média, 6 do isótopo 234; 700 do 235 e 99294 do 238. O primeiro, que existe em quantidades ínfimas, não tem interesse prático. O segundo e o terceiro, embora aquele em pequena proporção, desempenham importantíssimo papel nas investigações de Física nuclear.

Quando se bombardeia o urânio natural com neutrões e os núcleos dos isótopos conseguem captar alguns, as consequências que resultam dependem do isótopo que fez a captação e da energia cinética do neutrão

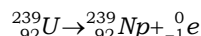
captado. Classifiquemos os neutrões em lentos e rápidos consoante o valor dessa energia. A dos lentos pode descer a valores tão baixos que se equipare à energia cinética das moléculas dos gases à temperatura ordinária e que é da ordem de grandeza de 0,025 electrões-volts. Foi a esta categoria de neutrões lentos que Fermi chamou neutrões térmicos.

Poder-se-ia duvidar que tão fraca energia tivesse algum efeito sobre os núcleos mas, na verdade, quanto mais lento for o neutrão mais tempo gasta a percorrer a vizinhança do núcleo e mais probabilidades tem, portanto, de ser captado. Para os neutrões rápidos a captação é mais difícil em consequência dos violentos choques elásticos que sofrem contra os núcleos.

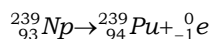
Os resultados conseguidos experimentalmente resumem-se deste modo: a) quando um núcleo dum isótopo 238 capta um neutrão lento (particularmente se a energia deste vale entre 10 e 100 eV) forma-se o isótopo 239:



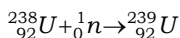
que é radioactivo  $\beta$ , de período 23 minutos, originando o neptúnio:



o qual, por sua vez, também é radioactivo  $\beta$ , de período 2,3 dias, originando o plutónio:

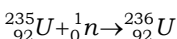


que também é radioactivo mas de período muito longo ( $24 \times 10^3$  anos). *b*) quando o núcleo dum isótopo 238 capta um neutrão rápido (de energia superior a 1 MeV), forma-se, em primeiro lugar, um núcleo complexo de urânio 239:



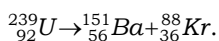
em tal estado de excitação que rapidamente se divide em dois fragmentos, que são dois novos núcleos, cada um dos quais leva consigo um certo número de electrões que o rodeiam.

No caso *a*) trata-se duma desintegração radioactiva; no caso *b*) duma bipartição vulgarmente designada por cisão nuclear. *c*) se o neutrão for captado pelo isótopo 235 podem observar-se fenómenos de cisão tanto com os neutrões rápidos como com os neutrões lentos. Em primeiro lugar forma-se também um núcleo complexo:



que depois se fragmenta em dois.

Os pedaços que resultam destas cisões podem ser vários. Tomando para exemplo o  ${}_{92}^{239}\text{U}$  os dois fragmentos obtidos serão tais que os seus números de massa somados prefacem 239 e os seus números de carga nuclear prefacem 92. Um exemplo entre muitos poderá ser:



Tem-se verificado, nestas cisões, o aparecimento de núcleos relacionados com átomos que vão desde o selénio ( $Z=34$ ) ao praseódimo ( $Z=59$ ).

Os fragmentos assim formados não correspondem a átomos estáveis pois, tomando o exemplo anterior, o número de massa do cripto ordinário é cerca de 83 e o do bário cerca de 137, o que dá um total de 220. Os dois fragmentos terão de reduzir o seu número total de massa ( $151 + 88 = 239$ ) para 220 afim de possuírem núcleos estáveis, isto é, terão de perder  $239 - 220 = 19$  neutrões.

A perda de neutrões, e portanto a estabilidade, pode ser conseguida por dois processos diferentes: por emissão  $\beta$  que trans-

forma neutrões em protões ou por expulsão dos próprios neutrões, entendendo-se que ambos os processos serão possíveis na explosão dum mesmo núcleo. Halban, Joliot e Kowarski chegaram à conclusão de que, em média, o número de neutrões libertados em cada cisão é de três, e que a energia que possuem quando são expulsos os coloca na categoria dos neutrões rápidos.

Este fenómeno, de importância excepcional, afirma-nos a possibilidade de provocar reacções nucleares sucessivas, espontâneas, a partir de uma, inicial, que se provoque. Realmente, se um neutrão captado por um núcleo der origem à expulsão de outro ou de outros neutrões, estes, se forem captados por novos núcleos, poderão repetir o fenómeno e até estender a sua acção a toda a massa inicial. O possível prosseguimento desta reacção em cadeia fica, portanto, dependente do destino que tiverem os neutrões expulsos.

O funcionamento da pilha atómica baseia-se exactamente numa reacção em cadeia que deverá ser progressiva mas lenta para evitar que adquira caracter explosivo. Este perigo existe e a ele se deve o poder destruidor das bombas atómicas pois a bipartição de cada átomo é acompanhada da libertação duma certa quantidade de energia cujo valor é da ordem dos 200 MeV.

Imaginemos então um bloco de urânio natural em cujo interior se provoca a emissão dos neutrões lentos que vão iniciar o fenómeno. Estes, ao serem projectados através da massa metálica, poderão sofrer três destinos diferentes: ou são captados pelos núcleos dos isótopos 235, provocam a sua cisão e, consequentemente, estarão em condições de permitir a reacção em cadeia; ou são captados pelos núcleos do isótopo 238 e darão origem a plutónio; ou não chegam a ser captados e escapar-se-ão através da massa total depois de percorrerem um caminho extremamente irregular ao sabor dos choques a que forem sujeitos. Por seu turno, os neutrões expulsos pelas subseqüentes cisões espontâneas terão também os mesmos três possíveis destinos. Assim, à medida que a

pilha funciona, o urânio natural empregado empobrece-se em isótopo 235 e enriquece-se em plutônio. A pilha é, portanto, uma fonte de energia e uma fábrica de plutônio.

Dissemos atrás que a cisão inicial deve ser provocada por neutrões lentos e também dissemos que os neutrões expulsos pelas cisões subsequentes são rápidos. Como nos interessa que uns e outros sejam lentos não é possível construir uma pilha atômica com um bloco de urânio mas com pequenos pedaços separados entre si por matérias que tenham o poder de enfraquecer a energia dos neutrões. As substâncias moderadoras mais utilizadas são a grafite e a água pesada.

Uma das pilhas atômicas primeiramente construídas nos Estados Unidos, foi montada no campo de «foot-ball» da Universidade de Chicago, em 2 de Dezembro de 1942 e era constituída pelo empilhamento (e daí o nome de pilha) de grande número de paralelepípedos de grafite formando um conjunto grosseiramente esférico que pesava toneladas. Alguns destes paralelepípedos tinham colocados nos seus vértices pedaços de urânio natural (os do centro) ou de óxido de urânio (os da periferia). Outros eram somente de grafite e estavam situados nos intervalos dos anteriores. Na parte central deste conjunto estava colocada a fonte dos neutrões que iriam iniciar o fenómeno: uma pequena porção de rádio misturada com pó de berílio que assim ficava sujeito ao bombardeamento das partículas alfa emitidas pelo primeiro.

A partir de 1943 a pilha passou a ser constituída por uma massa de grafite na qual se introduzem varetas de urânio. Ao fim de algum tempo de funcionamento retiram-se as varetas cuja superfície se encontra parcialmente transformada em plutônio que é separado delas por uma vasta série de operações delicadíssimas. O plutônio, à semelhança do urânio 235, tem a propriedade de sofrer a cisão ao captar neutrões lentos o que o torna também utilizável na construção de pilhas atômicas.

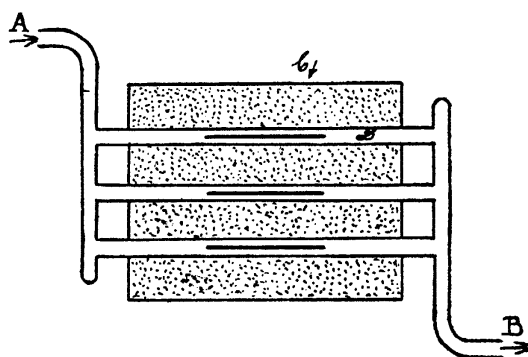
Quando se quer travar a pilha, isto é, impedir o desenvolvimento da reacção em cadeia, introduzem-se lâminas de cádmio ou de

ação-boro na sua massa, o que reduz enormemente o poder penetrante dos neutrões. Uma lâmina de cádmio com meio milímetro de espessura absorve praticamente todos os neutrões lentos que vão chocar contra ela.

O funcionamento da pilha atômica dá origem à libertação de grandes quantidades de calor. Uma pilha que produza, por exemplo, um grama de plutônio por dia fornece, sob a forma de calor, um potência da ordem de 1000 kW. Esta libertação de energia, que exige a instalação dum sistema apropriado de arrefecimento da pilha, faz-nos meditar sobre as extraordinárias possibilidades que o futuro nos reserva quando os físicos souberem tirar dela todo o proveito.

A figura junta representa esquematicamente a pilha atômica atravessada por tubos de canalização onde circulam ar ou água que saem quentes. As barras de urânio são envolvidas por alumínio e colocadas no próprio interior dos tubos que também são de alumínio.

Para avaliar o potencial energético que o Homem tem agora nas suas mãos basta dizer que, se fosse possível transformar em energia a totalidade da massa dum átomo, bastaria um grama de matéria para nos fornecer 25



C — Massa de grafite.

D — Barras de urânio introduzidas em tubos de canalização onde circula ar ou água

milhões de quilowatts-hora. A cisão dos núcleos de todos os átomos contidos em um grama de urânio libertariam 2,5 milhões de vezes mais energia do que a combustão dum grama de carbono.

RÓMULO DE CARVALHO  
PROFESSOR DOS LICEUS