

Aplicações do Eletromagnetismo na Engenharia Nuclear — CÍCLOTRON

*Maria Teresa N. Bastos**
*Orlando F. L. Junior***

INTRODUÇÃO

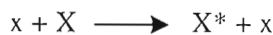
A natureza ofereceu somente como fontes de emissão nuclear: os emissores naturais de partículas alfa e beta e as radiações gama e cósmica.

No início do século, só era possível obter partículas radioativas de materiais encontrados na natureza. Era preciso obter energias mais altas e variá-las de acordo com cada experiência. Tornou-se importante, por conseguinte, desenvolver dispositivos de laboratório geradores de partículas carregadas com grande energia cinética. Com a disponibilidade de aceleradores de partículas, uma grande variedade de reações nucleares pode ser realizada.

Para um determinado núcleo alvo e uma partícula incidente com um certo valor de energia, existirá uma certa probabilidade para que ocorra uma determinada reação. O termo usado para descrever esta probabilidade é *Seção de Choque*.

A relação entre a variação da seção de choque de uma reação específica, com a energia da partícula incidente é chamada de *Função de Excitação*.

As reações nucleares, de diferentes tipos, podem ser representadas pelas seguintes equações:



O MOVIMENTO DE PARTÍCULAS CARREGADAS SOB A AÇÃO DE CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO UNIFORMES

A função do campo elétrico em aceleradores cíclicos é de aumentar a energia das partículas

* Engenheira Eletrônica, Mestre em Ciências pelo IME.

** Engenheiro Eletrônico, Doutor em Ciências da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

carregadas. Uma partícula de carga q e velocidade v , movendo-se em um plano perpendicular à direção do campo magnético B , sofre uma força:

$$F = qvB$$

Pode-se achar, também, uma relação entre a energia cinética, E_k , campo magnético e raio da curvatura.

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} q^2 B^2 \frac{r^2}{m}$$

A frequência de revolução dos íons é dada por:

$$f = \frac{w}{2\pi} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{qB}{2\pi m}$$

No ciclotron, a frequência do campo elétrico alternado, aplicada aos eletrodos é igual à frequência de revolução dos íons. A relação entre a frequência aplicada e um campo magnético é a equação fundamental do ciclotron.

APLICAÇÕES DO ELETROMAGNETISMO

Na década de 30, cientistas iniciaram a construção de dispositivos nos quais o necessário grau de controle das condições experimentais poderia ser atingido. Estes dispositivos foram chamados de *aceleradores*.

Teoricamente, todas as partículas carregadas podem ser aceleradas em máquinas adequadas, porém a maioria dos aceleradores dedica-se àquelas que podem ser produzidas em quantidade, tais como:

- elétrons, prótons, dêuterons e partículas alfa; e
- íons de elementos pesados (altamente carregados).

Dá-se maior ênfase à aceleração de partículas

positivamente carregadas, devido à sua importância em reações nucleares. Os elementos radioativos produzidos em aceleradores têm sido usados em várias áreas científicas, tais como: na Física, Química, Biologia, Medicina, Metalurgia e Agricultura, dentre outras.

O marco do início dos aceleradores de partículas foi a idéia de “acúmulo de energia”. Nos aceleradores lineares de partículas, a trajetória dos íons é quase retilínea, entretanto tal como em aceleradores circulares, o princípio de aceleração múltipla é utilizado. Existem vários tipos de aceleradores lineares: para elétrons, para prótons e para íons pesados.

Em 1929, o professor Ernest Orlando Lawrence, da Universidade da Califórnia, idealizou o uso de um campo magnético para fazer partículas carregadas moverem-se em uma espiral de raio crescente, tal que o comprimento da trajetória automaticamente crescesse com a velocidade da partícula acelerada, surgindo, assim, o ciclotron.

Como os íons devem se manter na vizinhança do plano médio, deve haver forças que os façam retornar cada vez que forem desviados. Portanto, a focalização no ciclotron convencional é o resultado da combinação dos campos elétrico e magnético.

Inúmeras são as aplicações de ciclotron. O uso de radioisótopos em Medicina Nuclear, mas preferem-se aqueles de meia-vida curta, aos de meia-vida longa, sendo que alguns dos primeiros só são produzidos por partículas carregadas em ciclotron.

Para experiências em Física, estes aceleradores são adequados por apresentar feixes com ótima qualidade, alta corrente e flexibilidade de operação.

São usados em pesquisa em Física dos sólidos, Testes de Materiais e Danos por Irradiação.

EXPERIMENTO NO CÍCLOTRON DO IEN

Após a descoberta da radioatividade, no início do século, a existência de isótopos foi reconhecida, e o termo isótopo foi introduzido por Soddy, em 1913. Em 1919, Aston e Lindermann identificaram quatro princípios distintos, em que a separação de isótopos poderia ser baseada: destilação, difusão, densidade e métodos eletromagnéticos.

A separação obtida por um processo particular é representada convenientemente pelo fator de separação definido como a razão entre a abundância de um dado isótopo no estado enriquecido e aquela do estado inicial.

O processo mais simples de separação é aquele em que átomos ou moléculas isotópicas poderiam ser coletados um a um e “colocados”, separadamente, em “amontoados” de fácil manipulação. O espectrômetro de massa funciona, desta maneira, à base do método de separação isotópica de uma só vez.

O separador eletromagnético, ou CALUTRON é um aparelho que separa núclídeos de massas diferentes pela ação de campo magnético. Como os isótopos de um elemento têm idênticas propriedades químicas, recorre-se a processos físicos para separá-los, tais como: difusão gasosa, centrifugação, gradiente de temperatura e gradiente eletromagnético.

O método de separação eletromagnética tem vantagens sobre o de separação estatística, por ser capaz de separar todos os tipos de isótopos existentes, estáveis e radioativos. Neste processo, o fator de separação é maior, requerendo um único estágio. Ao contrário, os métodos estatísticos requerem diversos estágios sucessivos ou cascatas, reciclando o material para que seja obtido um valor razoável do fator de separação.

O primeiro separador eletromagnético, idealizado por E. O. Lawrence, recebeu o nome de CALUTRON (*California University Cyclotron*) pelo fato de ter sido usado o ímã de um dos cíclotrons da Universidade da Califórnia.

No fim da década de 40, diversos pesquisadores iniciaram estudos de comportamento de aniquilação de pósitrons em sólidos. Atualmente, a aniquilação de pósitrons está sendo aplicada intensamente a estudos em Ciências dos Materiais e na Medicina.

A partir do estudo sobre a aniquilação de pósitrons, é possível a análise de danos por irradiação. Reações nucleares são usadas para produzir fontes de β^+ . Com medidas das características da radiação de aniquilação obtidos, pode-se determinar falhas no material e, portanto, avaliar a sua vida útil (em reatores nucleares), quando submetido com frequência aos efeitos da radiação.

A interação da radiação gama com a matéria é bem diferente daquela com partículas carregadas, como partículas alfa e beta. Os raios gama têm maior poder de penetração e as partículas carregadas perdem sua energia ao colidir com elétrons até parar completamente.

A produção de pares ocorre quando a energia da radiação gama excede o dobro da energia de repouso do elétron, ou seja, acima de 1,02 MeV. Esta energia é capaz de elevar um elétron de um estado negativo para um estado positivo de energia. O desaparecimento do elétron no estado negativo de energia resulta em um “buraco”, o que ocasiona a aparição de um pósitron, enquanto que no estado positivo de energia surge um elétron, criando assim um par pósitron-elétron.

O pósitron tem o efeito ímpar de se combinar com um elétron (negativo), em uma interação na qual a massa de repouso de ambos deixa basicamente de existir para formar radiação eletromagnética. Isto é, o pósitron é aniquilado, e a radiação subsequente é chamada de radiação de aniquilação. Cada pósitron basicamente “morre” em um encontro com um elétron, na qual cerca de $2mc^2$ de radiação eletromagnética é emitida.

O processo de produção de pares está intimamente relacionado com o processo reverso, ou seja, a aniquilação, pois após a formação, o pósitron colide com vários átomos até ficar

praticamente em repouso e então interage com um elétron também praticamente em repouso. Com a interação, o pósitron e o elétron desaparecem, deixando em seu lugar dois fótons com energia de 0,511 MeV cada, que se movem em sentidos opostos.

A aniquilação pode ser vista como uma transição em que o elétron cai no “buraco”, que constitui o pósitron. Geralmente, a aniquilação acontece quando o pósitron está se movendo devagar, quando a probabilidade de se chocar com um elétron é maior.

A fim de se realizarem testes não destrutivos para estudos de danos por irradiação, foi produzida uma fonte de pósitrons com o Cíclotron CV-28 do IEN. Para se obter o espectro de tempo e conseqüentemente, o tempo de vida do pósitron, utilizou-se o método tempo vivo.

CONCLUSÕES

Aceleradores têm contribuído intensamente para os estudos da estrutura da matéria.

O uso de isótopos separados — em Calutron — tem aumentado sistematicamente.

Foi preparada uma fonte de pósitrons utilizando-se feixes de prótons do cíclotron. A figura mostra o Espectro — Medida do tempo de vida de pósitrons em TEFLON. Estas fontes de pósitrons têm sido usadas para análise não destrutiva de materiais de aplicabilidade na Engenharia Nuclear.

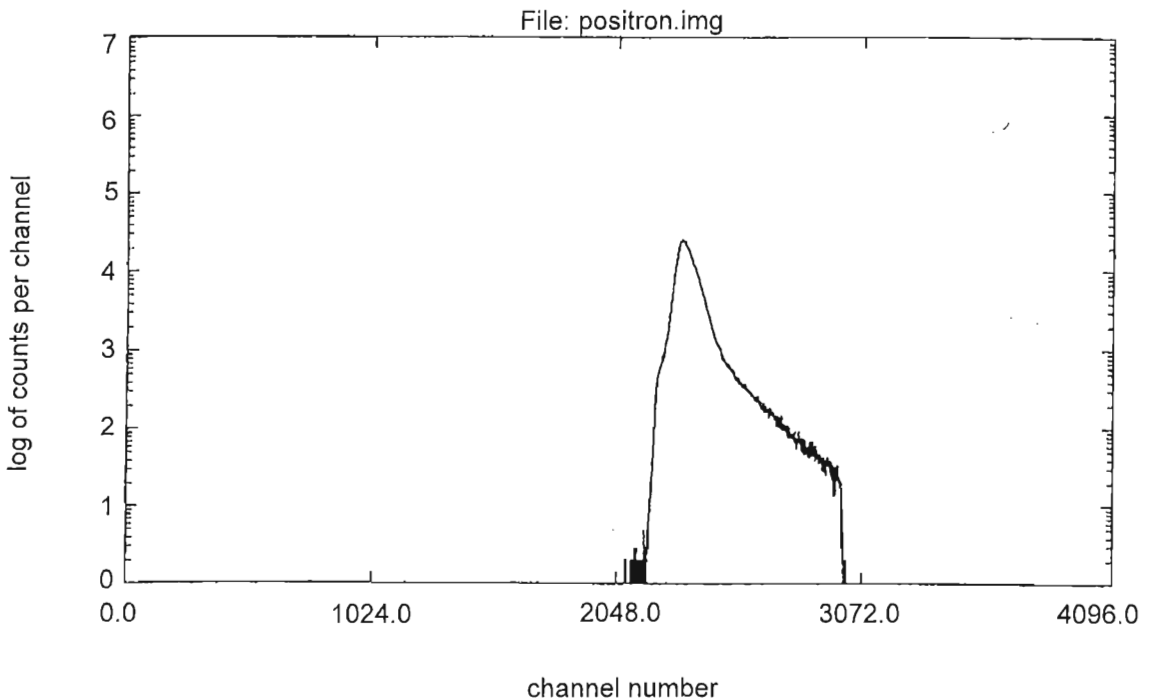


FIGURA: Espectro — Medida do tempo de vida de pósitron em TEFLON

Vê-se na figura que há duas inclinações, ou seja, dois valores distintos de t . Estes valores distintos de tempo médio de vida do pósitron são explicados pelo fato da aniquilação ter se dado em pontos diferentes do material, isto é, existem pontos em que o material tem mais falhas do que em outros. □

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – KOLATH, R. *Particle Accelerators*. Sir Isaac Pitman and Sons Ltda. London, 1967.
- 2 – U. S. ATOMIC ENERGY COMMISSION / Division of Technical Information — *Accelerators*, 1964.
- 3 – ROSENBLATT, J. *Particle Accelerators*. Nederlandse. Boekdrukk Industrie N. V. The Netherlands, 1968.
- 4 – LIVINSTON, M. S. & BLEWETT, J. P. *Particle Accelerators*. McGraw Hill Book Company, Inc., 1966.

O que é Imbel?

A Indústria de Material Bélico do Brasil - IMBEL é uma empresa vinculada ao Ministério do Exército, que comanda direta e indiretamente um complexo fabril responsável pela produção de diversificados produtos de emprego militar e semelhantes.

Justificando o seu sucesso empresarial, a IMBEL mantém as suas fontes produtoras em permanente pesquisa e desenvolvimento de produtos, criando tecnologia própria, aprimorando tecnologia adquirida, promovendo o intercâmbio com fontes empenhadas no desenvolvimento de material bélico, incluindo quatro empresas associadas e, principalmente, pesquisando o mercado comprador no Brasil e exterior.

Como resultado, a IMBEL oferece produtos de nível e competitividade internacionais.

Na linha militar da IMBEL constam explosivos, acessórios e artefatos, cabeças de guerra para todos os tipos de munições, propelentes para mísseis e foguetes, armamento individual de porte e portátil, aparelhos eletrônicos de comunicação em campanha, aparelhos de aferição e medição de desempenho balístico, terminal portátil programável para coleta de dados através de leitura de códigos de barras ou digitação e outros itens.

A linha de produção química compreende TNT, RDX, NITROPENTA, HMX (em implantação) e suas composições, Nitrocelulose e Linter Purificado, Pólvoras de Base Simples e Dupla, Dinamites, Espoletas, Cordões e demais produtos correlatos.

IMBEL - a mais antiga indústria de material bélico da América Latina é a maior fornecedora de armamentos leves para as Forças Armadas do Brasil. Por sua tradição e capacitação técnica, tem contribuído para a manutenção do País entre os mais importantes produtores e fornecedores mundiais de material de emprego militar.

Dentre os produtos citados destacamos, o Fuzil Automático Leve (FAL) que juntamente com a Pistola 9mm M973, são fornecidos para as Forças Armadas do Brasil e das Nações amigas, e exportados para o mercado civil, em especial dos Estados Unidos da América.

A tradição e experiência da IMBEL na fabricação de produtos militares, resultou no desenvolvimento de variada gama de produtos civis de tecnologia similar. Dada à sua amplitude de pesquisas, a IMBEL oferece produtos de qualidade apurada, a partir de princípios e matérias-primas de sua produção.

A operação de rádios e telefones de campanha forneceu tecnologia útil e aplicável às comunicações entre canteiros de obras, redes de reparos, unidades navais, veículos de inspeção e outras situações.

Armas de caça e cutelaria, de tratamento metalúrgico especial, são produtos em que a experiência de fabricação de armas militares resultou em produtos sem similar.



Indústria de Material Bélico do Brasil - IMBEL
Vinculada ao Ministério do Exército

Av. das Nações Unidas, 13.797 - Bloco III - 1º andar - CEP 04794
Tel.: (011) 531-5055 - Telex. (011) 37481 IMBL BR
Caixa Postal 21167 - São Paulo - SP - Brasil