

O CÍCLOTRON DO IPEN-CNEN/SP - ATIVIDADES RECENTES

Sumair G. Araujo, Valdir Sciani, Maria Helena O. Sampa,
Wanderley de Lima e Paulo Roberto Rela

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Caixa Postal 11049
05499-970, São Paulo, SP, Brasil

ABSTRACT

An isochronous and variable energy CV-28 cyclotron has been in routine operation at IPEN-CNEN/SP since 1982. In this type of machine, protons, deuterons, ^3He and alpha particles can be accelerated with variable energy up to 24, 14, 36 and 28 MeV respectively which allows a diversity of applications such as radioisotope production for medical diagnosis. In this work main characteristics, uses, recent activities and future prospects are presented.

INTRODUÇÃO

Com a instalação dos reatores nucleares, diversas aplicações da energia nuclear estão sendo desenvolvidas. Dentre estas aplicações, uma possui destaque especial pela sua crescente utilização pela sociedade: a produção de radioisótopos para uso na medicina em diagnósticos médicos, para uso como fontes de calibração na metrologia e como traçadores radioativos. Nos últimos quinze anos verificou-se um rápido crescimento no uso de aceleradores de partículas para este propósito, geralmente ciclotrons compactos [1,2,3,4,5].

O ciclotron CV-28 instalado no IPEN-CNEN/SP do tipo isócrono, compacto, de energia variável, é uma fonte de irradiação capaz de acelerar prótons, dêuterons, He-3 e partículas alfa a uma energia máxima de 24, 14, 36 e 28 MeV respectivamente. Trata-se de um equipamento de procedência americana, produzido pela The Cyclotron Corporation em 1976 e em operação desde 1982. Devido a sua versatilidade, tem grande aplicação nos campos de medicina nuclear, principalmente na produção de radioisótopos de meia vida curta, nas áreas de análise por ativação, em física nuclear, em estudos de danos de radiação de metais e ligas metálicas, etc.

Neste trabalho, são apresentadas as principais características do ciclotron do IPEN-CNEN/SP, suas aplicações, o estágio atual de desenvolvimento e as perspectivas futuras.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Na tabela 1 podem ser vistos os parâmetros dos feixes interno e externo produzidos pelo ciclotron CV-28, de acordo com dados nominais do fabricante.

TABELA 1

PARTICULA	VAR. DE ENERGIA(MeV)	CORRENTE EXT.(μ A)		CORRENTE INT.(μ A)
		E_{\min}	E_{\max}	
prótons	2 - 24	40	60	200
déuterons	4 - 14	50	100	300
$^3\text{He}^{++}$	6 - 36	5	50	135
$^4\text{He}^{++}$	8 - 28	6	40	90

TOLERÂNCIA: $\pm 0,5$ MeV em E_{\min} e ± 1 MeV em E_{\max}
RESOLUÇÃO: 0,5% ou 50 KeV (o que tiver maior valor)

O equipamento em si está localizado em quatro alas com paredes de concreto que servem de blindagem: a caverna, na qual está instalado o ciclotron propriamente dito e três salas experimentais onde são irradiados os alvos. A capacidade total é de sete linhas de feixe externo e um sistema para alvo interno. Atualmente estão operacionais duas linhas de feixe externo.

Conforme citado anteriormente o ciclotron CV-28 é do tipo isócrona, também chamado de variável, definido por três setores radiais incorporados às peças polares e possui quatro bobinas auxiliares para ajuste do perfil radial do campo, o que permite acelerar os quatro tipo de partículas mencionadas na tabela 1. Os íons são gerados por uma fonte do tipo "penning" e são acelerados por dois eletrodos em forma de "D", que estão conectados a um conjunto indutor localizado em um sistema de radio-frequência. A fonte de íons utiliza catodos aquecidos pelos próprios íons, eliminando assim a necessidade de um filamento. Os polos do eletroímã principal se fecham em duas partes formando uma câmara de vácuo, que permite a elevação da parte superior, dando acesso à região de criação e aceleração dos íons para manutenção. O feixe interno pode ser monitorado e otimizado em qualquer raio de aceleração através de uma ponta de prova, a qual é completamente retirada, permitindo que o feixe passe por um canal eletrostático e um magnético e seja extraído. A figura 1 mostra a região central do ciclotron. O sistema de transporte do feixe consiste de uma linha de feixe principal para o feixe externo extraído com um sistema de bobinas de centralização (steering) e focalização (quadrupolares). A deflexão do feixe para cada uma das sete linhas de feixe externo até atingir o alvo é feita através de um ímã distribuidor. Em cada uma destas linhas está também instalado um sistema de bobinas quadrupolares para focalização e um sistema de varredura que permite uma melhor uniformidade do feixe [6]. A figura 2 mostra uma vista geral da caverna.

Atualmente são acelerados prótons com energia de 24 MeV e correntes de feixe externo máximo no alvo de $30\mu\text{A}$.

UTILIZAÇÃO DO CÍCLOTRON DO IPEN-CNEN/SP

O ciclotron se destina prioritariamente à produção de radionuclídeos, que são incorporados a radiofármacos, para utilização na medicina nuclear em diagnósticos médicos. Neste caso, os materiais irradiados são posteriormente processados quimicamente na Supervisão de Radioisótopos e o radiofármaco em questão colocado em forma de um composto adequado para sua utilização. Dentre os radioisótopos produzidos podem ser destacados:

Produção Rotineira: são os radioisótopos enviados semanalmente a hospitais e clínicas.

a) Gálio-67: obtido a partir da irradiação com prótons de Zinco-68. É utilizado na detecção de tumores e lesões inflamatórias.

b) Iodo-123: obtido a partir da irradiação com prótons de Óxido de Telúrio-124. É utilizado no mapeamento da tireóide.

Produção não Rotineira: são os radioisótopos em fase de otimização do processo de separação química.

a) Índio-111: obtido a partir da irradiação com prótons de Cádmio natural. É utilizado na cintilografia da medula óssea e marcação de proteínas.

b) Cromo-51: obtido a partir da irradiação com prótons de Vanádio natural. É utilizado na marcação de componentes do sangue e proteínas.

Ainda no campo de radioisótopos duas atividades devem ser mencionadas:

a) com o intuito de operar com correntes de feixe maiores, visando a produção de ^{67}Ga e ^{111}In , foi modificado e otimizado o sistema de alvo interno, o que diminuirá significativamente os tempos de irradiação.

b) no caso de alvos líquidos o interesse está voltado para a produção de ^{18}F , pois ele possui um grande potencial como radionuclídeo para captação de imagens "in vivo", utilizando-se tomografia por emissão de pósitron. Em fase de desenvolvimento de porta-alvo, irradiações foram realizadas com prótons em água bidestilada e deionizada utilizando-se porta-alvo de grande volume (~60ml), mostrando a viabilidade de produção de ^{18}F [7].

Além da produção de radioisótopos, outras irradiações realizadas para pesquisa pura e aplicada podem ser destacadas:

a) estudo da fragilização de aços inoxidáveis, devido à presença do gás Hélio implantado com partículas alfa;

b) implantação de prótons no silício, para dopagem em semi-condutores;

c) criação de traços em Cr-39, para pesquisa básica no campo de detetores;

d) estudo das funções de excitações de reações nucleares, visando selecionar a melhor faixa de energia para produção de radioisótopos em geral;

e) análise de materiais através da ativação com partículas carregadas;

f) estudo do desgaste de materiais metálicos;

g) preparação de fontes de calibração e traçadores radioativos: ^{57}Co , ^{111}In e ^{109}Cd .

PERSPECTIVAS FUTURAS

Com o desenvolvimento de dispositivos que visam a otimização e o aprimoramento do ciclotron pode-se assegurar uma operação mais confiável. Para o futuro estão previstos diversas etapas, a saber:

a) projeto, montagem e instalação da caixa do ressonador, em substituição da atual;

b) instalação de duas novas linhas de feixe, que facilitarão as irradiações efetuadas atualmente, onde estão disponíveis apenas duas linhas de feixe das sete projetadas inicialmente para o ciclotron;

c) instalação do alvo interno, onde será possível operar com correntes de feixe no alvo maiores, diminuindo significativamente os tempos de irradiação;

d) desenvolvimento e nacionalização de componentes e/ou equipamentos para o ciclotron;

e) otimização de um porta-alvo de pequeno volume (~0,3ml) para irradiação de alvos líquidos visando a produção rotineira de ^{18}F , com a utilização de água enriquecida no isótopo ^{18}O ;

- f) desenvolvimento de porta-alvos para a irradiação de alvos gasosos;
g) irradiações para a produção de fontes de calibração e traçadores radioativos: ^{111}In , ^{57}Co e ^{109}Cd .

REFERÊNCIAS

- [1] WORKSHOP ON TARGETRY AND TARGET CHEMISTRY, 1., October 4-7, 1985. Proceedings..., Heidelberg, Germany: Deutsches Krebsforschungszentrum, 1985. 161 p.
- [2] WORKSHOP ON TARGETRY AND TARGET CHEMISTRY, 2., September 22-25, 1987. Proceedings..., Heidelberg, Germany: Deutsches Krebsforschungszentrum, 1987. 198 p.
- [3] WORKSHOP ON TARGETRY AND TARGET CHEMISTRY, 4., September 9-12, 1991. Proceedings..., Regin Weinreich (Ed.), Villigen, Switzerland: Paul Scherrer Institut, 1991. 275 p.
- [4] QAIM, S.M. Target development for medical radioisotope production at a cyclotron. Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. v.41, n.10/11, p.917-934, 1990.
- [5] CLAYTON, C.G. Some comments on the development of radiation and radioisotope measurement applications in industry. Int. J. Appl. Radiat. Isot. v.34, n.12, 917-934, 1990.
- [6] LUCKI, G., ZANCHETTA, A.A., GOUVEIA, S., KLEIN, H. Isochronous variable energy cyclotron of IPEN-CNEN/SP - Installation, uses and perspectives. In: IV Japan-Brazil Symposium on Science and Technology. Vol. IV - Application of Radiation and Radioisotopes (São Paulo, SP, Brazil, August 6-9, 1984), p.146-153.
- [7] SANTOS, L.L.M. Desenvolvimento de sistema de irradiação de água natural para a produção de ^{18}F no ciclotron do IPEN, 1994, Dissertação (Mestrado) IPEN-CNEN/SP.



FIGURA 1 - Região Central do Ciclotron

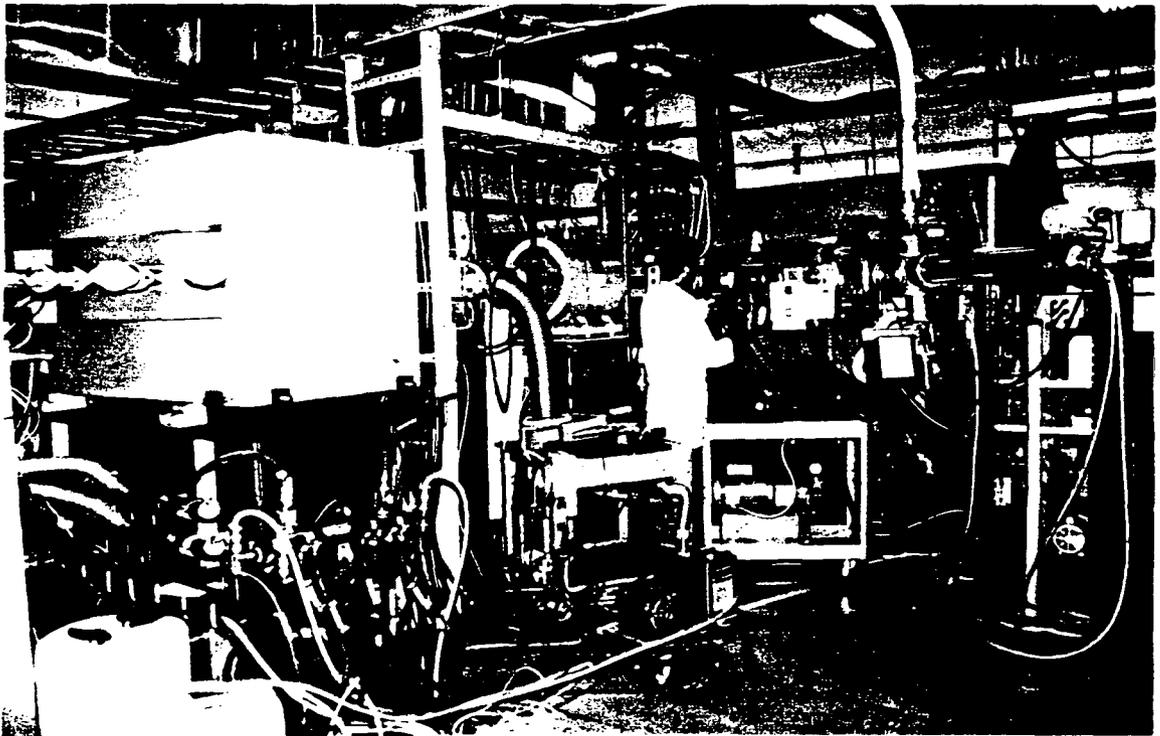


FIGURA 2 - Vista Geral da Caverna