

PRODUÇÃO DE COBALTO-57 A PARTIR DA IRRADIAÇÃO DE NÍQUEL COM PRÓTONS NO CÍCLOTRON CV-28 DO IPEN-CNEN/SP

Liliane Landini Mota Santos e João Alberto Osso Júnior

IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05508-900, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

O ^{57}Co é produzido no Cíclotron do IPEN-CNEN/SP pela irradiação de Níquel natural com um feixe de prótons de energia de 24 MeV. O objetivo deste trabalho foi medir o rendimento de produção de ^{57}Co e de suas principais impurezas radionuclídicas, em um alvo grosso, e a determinação das funções de excitação das reações nucleares provenientes da irradiação do Ni, para avaliar as melhores condições de produção do ^{57}Co . A técnica utilizada foi a de empilhamento de folhas, de Ni, Cu e Al, sendo as duas últimas como monitores de corrente e energia do feixe de prótons. O rendimento de produção de alvo grosso do ^{57}Co , por meio da somatória das reações direta e indireta, 11,31 dias após o E.O.B., foi 905,76 kBq/ $\mu\text{A}\cdot\text{h}$ (24,48 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$).

INTRODUÇÃO

O IPEN-CNEN/SP possui um acelerador de partículas carregadas, positivas (p, d, $^3\text{He}^{++}$, α), o cíclotron CV-28, que é capaz de produzir vários radioisótopos. Um deles é o ^{57}Co , com características físicas de decaimento convenientes para ser utilizado como: fonte de calibração de diversos instrumentos na área nuclear (detetores de radiação empregados no diagnóstico em Medicina Nuclear e na metrologia) e como traçador radioativo em diversas áreas.

O ^{57}Co tem meia-vida de 271,3 dias e decai por captura eletrônica para o ^{57}Fe . Neste decaimento, há a emissão de raios γ de energias de 14,4 keV (abundância de 7,8 %), 122 keV (84,8 %), 136 keV (11,4 %) e 690 keV (0,2 %), além do raio-X característico da camada K do Fe, com energia de 6,5 keV (48 %). Estas características permitem que o ^{57}Co seja amplamente utilizado como fonte de calibração dos detetores de radiação, usados no diagnóstico com radioisótopos dentro da Medicina Nuclear, nos calibradores de dose de radioisótopos de uso difundido na área de produção e aplicação de radioisótopos, e nos detetores de raios-X e raios γ utilizados em vários Institutos e Universidades no Brasil. Além disso, a emissão do raio γ de 14,4 keV torna o ^{57}Co o radioisótopo mais utilizado na técnica de Espectroscopia Mössbauer, que é bem estabelecida em Física e Química.

A produção de ^{57}Co é feita em cíclotrons, através de várias reações nucleares e, em menor escala, em reatores nucleares. Nas irradiações em cíclotron, é possível empregar as 4 partículas carregadas, para produzir ^{57}Co . O método que gera quantidades menores de impurezas radionuclídicas, para esta produção, é a irradiação de Co

com prótons. Contudo, necessita-se, no mínimo, de energia de 40 MeV. Entretanto, o Cíclotron do IPEN acelera somente prótons, atualmente, e com energia máxima (nominal) de 24 MeV. Assim, o método mais adequado para a produção deste radioisótopo no Instituto é a irradiação de Ni com este tipo de feixe.

Este trabalho teve como objetivo medir o rendimento de produção do ^{57}Co e das principais impurezas radionuclídicas que o acompanham, quando obtido através da irradiação de Níquel natural, em alvo grosso, com um feixe de prótons de 24 MeV de energia. Além disso, determinar funções de excitação das reações nucleares provenientes desta irradiação, para avaliar as melhores condições de produção deste radioisótopo.

EXPERIMENTOS

Folhas finas de Cu são muito utilizadas como um monitor auxiliar, para os integradores de corrente de feixe (Gaiola de Faraday) instalados nos cíclotrons em geral. De maneira ideal, as folhas usadas são finas e degradam muito pouco a energia das partículas incidentes. Um monitor é necessário em casos como: se o alvo é menor que o feixe; se o feixe está desalinhado; se partículas secundárias são medidas pelo monitor de corrente do cíclotron e se há perdas de elétrons no alvo.

Sugere-se o uso da técnica de empilhamento de folhas, além do integrador, para monitorar a corrente de feixe no cíclotron, ajudando na determinação da quantidade de feixe que realmente colide no alvo. [1]

Folhas de Al são usadas como degradadores da energia do feixe de prótons. A energia média dos prótons,

em cada folha, na pilha, é calculada pelo uso da expressão da taxa de perda de energia de partículas carregadas, que passam através da matéria. [2]

As irradiações foram feitas no Ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP, na linha de feixe externo nº 4, com prótons de 24 MeV de energia máxima (nominal). O feixe foi desfocalizado em uma área de diâmetro de 10 mm, utilizando-se um colimador. A técnica adotada foi, então, a do empilhamento de folhas. A redução das respectivas espessuras destas foi feita utilizando-se um laminador.

A radioatividade dos alvos (folhas) irradiados foi medida por Espectroscopia Gama, utilizando-se um detector de Ge(HP) acoplado a um sistema de aquisição e tratamento de dados, que foram processados, posteriormente, via microcomputador. Os cálculos foram realizados com a fórmula de ativação e a de eficiência do detector, em energia. A curva de eficiência foi obtida para cada prateleira utilizada nas análises.

Em uma irradiação, realizada para a determinação do rendimento de alvo grosso (isto é, a energia do feixe de prótons incidente é totalmente degradada no alvo) do ^{57}Co produzido, duas folhas de Níquel natural, ou seja, contendo ^{58}Ni - 68,27% de abundância; ^{60}Ni - 26,10% ; ^{61}Ni - 1,13%; ^{62}Ni - 3,59% e ^{64}Ni - 0,91% [3] (99,98% de pureza, da Goodfellow Metals) com 1 mm de espessura e área de 13 mm x 13 mm, cada, foram utilizadas. A corrente de feixe de prótons média foi de 1,5 μA , em um tempo de irradiação de 10 min.

Outra irradiação foi realizada, para serem determinadas as funções de excitação de algumas reações, em folhas de Níquel natural e a corrente de feixe de prótons foi avaliada, analisando-se folhas de Cobre natural ativadas, pois as reações nucleares $^{63}\text{Cu}(p,2n)^{62}\text{Zn}$ e $^{65}\text{Cu}(p,n)^{65}\text{Zn}$ originam espectros de raios γ identificados facilmente. Folhas de Alumínio foram usadas como degradadores da energia do feixe, pelo estudo teórico, estimando-se o ponto médio em cada folha. O número total de folhas utilizadas foi 19, sendo 8 delas de Níquel natural, com 99,98 % de pureza e com espessuras que variaram de 70 a 80 μm , cada; 4 de Cobre natural, com 99,99+ % de pureza e 20 μm de espessura (nominal do fabricante, Goodfellow Metals) e 7 de Alumínio (^{27}Al - 100 %), com pureza de 99,98 % e espessuras de 30 a 360 μm . A área das folhas era 13 mm x 13 mm, como na irradiação anterior. A corrente de feixe média, determinada pelo integrador de dose do ciclotron ($\mu\text{A.h}$), foi 0,588 μA e o tempo de irradiação, 17 min.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na primeira irradiação citada, foi verificada a presença de vários radionuclídeos: ^{55}Co ($t_{1/2} = 17,54$ h), ^{56}Co ($t_{1/2} = 78,76$ d), ^{57}Co ($t_{1/2} = 271,3$ d), ^{58}Co ($t_{1/2} = 70,78$ d), ^{56}Ni ($t_{1/2} = 6,1$ d) e ^{57}Ni ($t_{1/2} = 36$ h). O rendimento de produção de alvo grosso do ^{57}Co , por meio da somatória das reações direta e indireta (isto é, esta última somente pelo decaimento do ^{57}Ni), 11,31 dias após o "End of Bombardment" (E.O.B.- Fim do Bombardeamento), foi 905,76 kBq/ $\mu\text{A.h}$ (24,48 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A.h}$).

Este é o tempo no qual a atividade de ^{57}Co , produzido por reação indireta, é máxima. Isto contribui para o aumento do nível de impurezas radionuclídicas. O rendimento de produção do ^{57}Co , apenas por reação indireta, foi 174,64 kBq/ $\mu\text{A.h}$ (4,72 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A.h}$), neste mesmo período após o E.O.B. A Tabela 1 mostra o resultado dos outros rendimentos de produção dos radionuclídeos obtidos na primeira irradiação.

TABELA 1. Rendimentos de produção dos radionuclídeos formados, corrigidos para o E.O.B.

Radio-nuclídeo	$R_{\text{dir.}}$ kBq/ $\mu\text{A.h}$ ($\mu\text{Ci}/\mu\text{A.h}$)	$R_{\text{ind.}}$ kBq/ $\mu\text{A.h}$ ($\mu\text{Ci}/\mu\text{A.h}$)	$R_{\text{dir+ind.}}$ kBq/ $\mu\text{A.h}$ ($\mu\text{Ci}/\mu\text{A.h}$)
^{55}Co	1764,16 (47,68)	---	1764,16 (47,68)
^{56}Co	5,92 (0,16)	0,74 ^a (0,02) ^a	5,92 (0,16)
^{57}Co	734,82 (19,86)	174,64 ^a (4,72) ^a	905,76 ^a (24,48) ^a
^{58}Co	28,49 (0,77)	---	28,49 (0,77)
^{56}Ni	72,15 (1,95)	---	72,15 (1,95)
^{57}Ni	32503,76 (878,48)	---	32503,76 (878,48)

a. Após 11,31 dias do E.O.B., que é o tempo no qual a atividade de ^{57}Co é máxima, produzido somente pelo decaimento do ^{57}Ni .

Na segunda irradiação mencionada, 2 das 4 folhas de Cobre natural analisadas mostraram a presença de ^{65}Zn ($t_{1/2} = 244$ d; $E_{\gamma} = 1115,55$ keV - 50,75 %) [4]; uma, a presença de ^{65}Zn e ^{62}Zn ($t_{1/2} = 9,3$ h; $E_{\gamma} = 596,63$ keV - 25,70 %) e a última não mostrou a presença de nenhum radionuclídeo. As folhas de Níquel natural ainda estão sendo analisadas. A Tabela 2 mostra os primeiros resultados, para as folhas de Cobre natural, na produção de ^{65}Zn .

TABELA 2. Valores de funções de excitação ($\sigma \times E$), em folhas de Cobre natural, para a produção de ^{65}Zn , através da reação nuclear $^{63}\text{Cu}(p,n)^{65}\text{Zn}$.

folha #	σ (mb)	E (MeV)
2	45,70	22,9
7	336,56	16,5
12	174,87	9,8
17	0	1,8

CONCLUSÕES

O rendimento de produção de alvo grosso total, isto é, a soma das contribuições das reações direta e indireta, do ^{57}Co , obtido na irradiação de Níquel natural, foi de 905,76 kBq/ $\mu\text{A}\cdot\text{h}$ (24,48 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$), 11,31 dias após o E.O.B. Este resultado indica um valor muito superior, comparando-se com o obtido por Gillette [5], que estudou a produção deste radioisótopo irradiando Ni com prótons de 23 MeV. O valor encontrado foi de 111 a 185 kBq/ $\mu\text{A}\cdot\text{h}$ (3 a 5 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$), contendo até 1 % de ^{58}Co . O produto obtido em nosso trabalho, também não é livre de outros núclídeos de Co, principalmente ^{56}Co e ^{58}Co , como pode ser visto na Tabela 1. O nível destas impurezas radionuclídicas no ^{57}Co (considerado na soma das reações direta e indireta) é: para o ^{56}Co (também considerado pela soma destas reações), 0,65 % e para o ^{58}Co (possível de ser produzido somente por reação direta), 2,74 %.

Osso Jr. [6] descreveu a produção de ^{57}Co através da irradiação de Ni com feixe de prótons de 24 MeV. O rendimento de produção obtido foi de 1073 kBq/ $\mu\text{A}\cdot\text{h}$ (29 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$). Porém, o nível de impureza de ^{56}Co e ^{58}Co só cai a menos que 1 % (soma dos dois radioisótopos) após 60 dias de decaimento. O valor encontrado em nosso trabalho, comparado com este, indica uma concordância muito boa.

Os valores obtidos para as funções de excitação, em folhas de Cu, estão sendo analisados e comparados com os do integrador de corrente do ciclotron, para a confirmação da intensidade da corrente de feixe de prótons. Aqueles para as folhas de Ni ainda estão sendo calculados e analisados. Outras irradiações serão realizadas.

REFERÊNCIAS

- [1] GREENE, M.W. and LEBOWITZ, E., **Proton Reactions with Copper for Auxiliary Cyclotron Beam Monitoring**, International Journal of Applied Radiation and Isotopes, vol.23, p. 342-344, 1972.
- [2] KAUFMAN, S., **Reactions of Protons with ^{58}Ni and ^{60}Ni** , Physical Review, vol. 117, p. 1532-1538, 1960.
- [3] SEELMANN-EGGEBERT, W.; PFENNIG, G.; MUNZEL, H. and KLEWE-NEBENIUS, H. **Karsruher Nuklidkarte**, Auflage, 1981.
- [4] KOPECKÝ, P. **Proton Beam Monitoring via the $\text{Cu}(p,x)^{58}\text{Co}$, $^{63}\text{Cu}(p,2n)^{62}\text{Zn}$ and $^{65}\text{Cu}(p,n)^{65}\text{Zn}$ Reactions in Copper**, International Journal of Applied Radiation and Isotopes, vol. 36, p. 657-661, 1985.
- [5] GILLETTE, J.H. **Review of Radioisotope program, 1964**. ORNL-3802 UC-23, May 1965.
- [6] OSSO Jr., J.A. **Produção de Fontes de Calibração para Detetores de Raios-X: ^{55}Fe , ^{57}Co e ^{109}Cd** , ANAIS da X Reunião de Trabalho em Física Nuclear, 26 a 30 de agosto, p. 57-58, 1987.

ABSTRACT

The ^{57}Co is produced at the Cyclotron of IPEN-CNEN/SP through the irradiation of natural Nickel with a protons beam of 24 MeV energy. The aim of this work was to measure the thick target production yield of ^{57}Co and of its principal radionuclidic impurities and the determination of the excitation functions of the nuclear reactions on Ni, to evaluate the best conditions for the ^{57}Co production. The technique used was of the stacked-foil, of Ni, Cu and Al, being the two latter utilized as current and energy monitors of the protons beam, respectively. The thick target production yield of ^{57}Co , through the sumatory of indirect and direct reaction, 11,31 days after E.O.B., was 905,76 kBq/ $\mu\text{A}\cdot\text{h}$ (24,48 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$) and only by indirect reaction was 174,64 kBq/ $\mu\text{A}\cdot\text{h}$ (4,72 $\mu\text{Ci}/\mu\text{A}\cdot\text{h}$).