LABORATÓRIO ABERTO

DE FÍSICA NUCLEAR

Proposta de Experimento

Período :

Título: Testes para Medidas junto ao limiar da secção de choque de SEU por nêutrons em dispositivos digitais.

Responsável: Odair Lelis Gonçalez
e-mail: odairlelisgoncalez@gmail.com

Participantes: Marcilei A. Guazzelli da Silveira, Odair Lelis Gonçalez, Nilberto H. Medina, Vitor A. P. de Aguiar, N. Added, Claudio Antonio Federico, Evaldo Carlos Fonseca Pereira Junior, Rafael Galhardo Vaz , Peterson Agostinho Ribeiro e Adriane Cristina Mendes Prado.

Porta Voz: Marcilei A. Guazzelli da Silveira
e-mail: marcilei@fei.edu.br
Número de dias solicitados: 8 dias
Datas preferidas:
Datas realmente impossíveis:
Canalização: 30B/0°

Feixe	Est. Carga	$I_{mínima}$ (alvo)	V_{min}	V_{max}	Pulsado?
Proton	1	400 nA	5	8	Não
Dêuteron	1	400 nA	5	8	Não

Alvos: LiF
Pastilhas:
Características de Feixe Pulsado:
Continuação da Experiência já Aprovada
Outras informações: Vide anexo

Testes para Medidas junto ao limiar da secção de choque de SEU por nêutrons em dispositivos digitais.

O. L. Gonçalez[a], M. A. G. Silveira[b], N.H. Medina[c], N. Added[c], V. A. P. Aguiar[c].
Claudio Antonio Federico[a], Evaldo Carlos Fonseca Pereira Junior[a], Rafael Galhardo Vaz[a] , Peterson Agostinho Ribeiro[a] e Adriane Cristina Mendes Prado[a].
[a] *Instituto de Estudos Avançados, S. José dos Campos, Brasil.*
[b] *Centro Universitário da FEI, S.B.Campo, Brasil.*
[c] *Departamento de Física Nuclear – Instituto de Física da USP.*

Resumo

As experiências consistem em determinar as melhores condições de obtenção de nêutrons monoenergéticos que serão utilizados nas irradiações de memórias SRAM, na região de energia até 14 MeV, para verificação das taxas de "bit-flip". Uma vez que nêutrons estão presentes nos chuveiros de radiação que se desenvolvem na atmosfera e podem afetar equipamentos embarcados em aeronaves, comprometendo a segurança de vôo, este estudo é de extrema importância na área estratégica de danos em dispositivos devido a radiação ionizante.

Introdução e Justificativa

Nêutrons quasi-monoenergéticos podem ser gerados pela incidência de prótons e dêuterons em diversos alvos finos (≈100 μg/cm^2), conforme exemplificado na figura 1, a seguir:

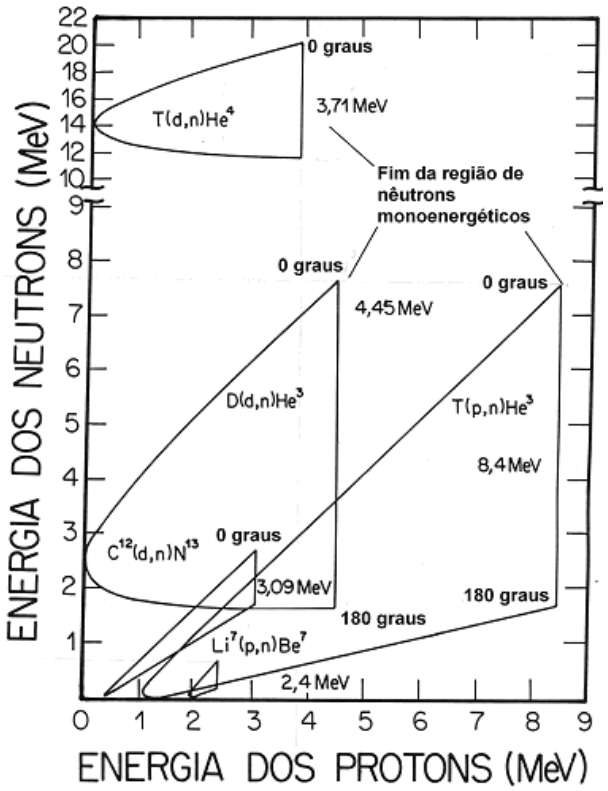

Figura 1 - Diagrama de algumas reações utilizadas com feixes de prótons e dêuterons para a geração de nêutrons monoenergéticos. [1,2]

Detalhes de algumas destas reações utilizadas no acelerador AMANDE do IRSN (França) podem ser encontradas na referência 3. Os nêutrons produzidos nesta instalação são empregados como padrões de metrologia para fins de dosimetria de nêutrons.

As radiações ionizantes causam efeitos indesejáveis na eletrônica pela formação de cargas livres nos elementos básicos dos circuitos eletrônicos (transistores e diodos). As cargas formadas pela ionização do meio, dependendo da região onde são formadas, podem ser coletadas pelo campo elétrico no interior do dispositivo, gerando um pulso elétrico no nó sensível do circuito, ocasionando um efeito transiente denominado SET (*Single Event Transient*) ou migrarem para as interfaces e serem aprisionadas nesta região do meio semicondutor do dispositivo, causando uma alteração das características elétricas do dispositivo, sendo este efeito acumulativo em função da dose total absorvida no meio (TID, do inglês, *Total Ionizing Dose*).

Nêutrons podem provocar estes efeitos de danos em materiais que compõem dispositivos eletrônicos, a partir das colisões e reações com núcleos do meio, sendo o produto de reação ou núcleo de recuo no espalhamento, as partículas que vão provocar a ionização do meio.

Nos dispositivos digitais, os efeitos transientes que ocorrem nos transistores de uma célula de armazenamento de dados, a partir de uma certa amplitude de corrente ou carga deste transiente, irá provocar uma mudança do estado lógico da célula ("*bit flip*"), fenômeno este conhecido por SEU ("*Single Event Upset*"). Esta mudança de um *bit* nos registros lógicos provocará uma corrupção no dado armazenado ou uma falha funcional, quando a unidade afetada é um registro de programa.

Nêutrons estão presentes nos chuveiros de radiação que se desenvolvem na atmosfera e podem afetar equipamentos embarcados em aeronaves, comprometendo a segurança de vôo. A previsão das falhas de dados ou falhas funcionais de dispositivos digitais é feita a partir da seção de choque de SEU do dispositivo, integrada no espectro de energia da radiação a qual o dispositivo está exposto.

Para partículas carregadas (prótons e íons pesados) a seção de choque é expressa em função da transferência linear de energia (LET) da partícula ao meio (Si). Esta seção de choque tem a forma aproximada de uma função degrau, onde o limiar depende da carga crítica gerada pela partícula na região de coleta de cargas do meio (região crítica), ou seja: depende do LET, das dimensões da região de coleta e do campo elétrico, entre outros parâmetros. Para partículas carregadas a amplitude da seção de choque é proporcional à soma da área da seção reta das regiões sensíveis na direção de incidência da partícula ionizante. Entretanto, para nêutrons, a forma da seção de choque não deve seguir exatamente este comportamento, em especial na região do limiar, pois o LET da partícula ionizante de recuo gerada pelos nêutrons no meio, não tem uma relação linear simples com a energia do nêutron. Desta forma, para o cálculo das taxas de SEU produzidos por nêutrons, é mais apropriado o conhecimento do valor da seção de choque do dispositivo em função da energia dos nêutrons incidentes.

As medidas da seção de choque realizadas com fontes não monoenergéticas de nêutrons ou em reações de *spallation* em aceleradores de alta energia, produzem valores integrados dessa seção de choque nos respectivos espectros de nêutrons, e só valem na prática para a previsão de SEU quando o dispositivo estiver exposto ao mesmo espectro.

Normas da IEC (uso aeronáutico) [4-8] recomendam que sejam utilizadas medidas de seção de choque de SEU para nêutrons de energia acima de 10 MeV, desprezando uma parte significativo do espectro dos nêutrons de radiação cósmica no solo e em altitudes de vôo [9].

Experimentos realizados recentemente no IEAv [10] com nêutrons proveniente de fonte de ^{241}Am-Be ($E < 10,5$ MeV) indicaram que memórias SRAM de 4 Mb na tecnologia de 0,130 μm apresentam apreciável valor de seção de choque para nêutrons nesta região de energia (na mesma ordem de grandeza dos valores reportados

para nêutrons com energia acima de 10 MeV [4]). Dessa forma, o limiar de SEU neste tipo de dispositivo digital está abaixo de 10 MeV de energia do nêutron incidente.

Medidas da dependência da seção de choque de SEU em dispositivos digitais com a energia do nêutron incidente podem melhorar significativamente a precisão dos cálculos das taxas (ou probabilidades) de "*bit flip*" nestes dispositivos quando empregados em ambientes onde existe um espectro de nêutrons conhecido. A região do limiar desta seção de choque é de particular interesse, uma vez que não se pode correlacionar de maneira simples o seu valor com o LET das partículas ionizantes produzidas pelos nêutrons aos interagir com o meio semicondutor. Tais medidas, portanto, são inéditas e de significativa importância para os diferentes segmentos que empregam instrumentos eletrônicos em ambientes sujeitos a nêutrons rápidos.

Uma grande vantagem na produção de SEE por nêutrons em vários circuitos eletrônicos é a simplicidade do mecanismo de irradiação do dispositivo, uma vez que o mesmo pode ser irradiado no ar e não necessita ser desencapsulado, como, muitas vezes é necessário para testes de SEE com íons. Apesar de não ser possível correlacionar de maneira simples a seção de choque de SEE de nêutrons com a seção de choque de SEE para íons, as irradiações com nêutrons são muito úteis nos experimentos e testes de mecanismos de mitigação dos efeitos de SEE em circuitos eletrônicos.

Cálculo do fluxo de nêutrons

O fluxo de nêutrons $\phi(r,\theta)$ ($n/cm^2.s^{-1}$) numa direção caracterizada pelo angulo θ relativo á direção do feixe de íons incidente no alvo e na distancia r (cm) do alvo gerador de nêutrons é dado por:

$$\phi(E,r,\theta) = k \times \frac{\sigma(E,\theta)}{r^3}$$

onde $\sigma(E,\theta)$ é a seção de choque diferencial angular da reação (em Barn) para a partícula incidente de energia E com nêutrons emitidos na direção θ. O parâmetro K depende apenas de características do alvo e do feixe de partículas incidente. Este parâmetro é dado por:

$$k = \frac{10^{-36} N_A}{nq} \times \frac{\alpha_p.\alpha_i}{M} \times \chi \times I$$

onde:
N_A é a constante de Avogadro ($6{,}023\times10^{23}$ Mol^{-1})
n é o estado de carga do ions (n=1,2,3,...)
q é a carga elementar ($1{,}602\times10^{-19}$ C)
α_p é a fração em peso do elemento de interesse no alvo (composto químico)
α_i é a fração do isótopo de interesse no elemento
M é a massa molecular do elemento de interesse ($g.Mol^{-1}$)
χ é a espessura do alvo ($\mu g/cm^2$) e
I é a corrente do feixe (μA)

Medidas no Pelletron

As medidas da secção de choque de SEU em sistemas digitais serão feitas através de uma placa contendo o sistema eletrônico necessário para detecção dos eventos que ocorrerão nos dispositivos expostos aos nêutrons (DUT: device under test). Os nêutrons serão gerados a partir de duas reações: prótons e dêuterons em LiF. A fluência de nêutrons será monitorada por um monitor de fluxo do tipo ***Long Counter de De Pangher***, calibrado no Laboratório Nacional de Metrologia de nêutrons do IRD (CNEN, Rio de Janeiro). A tabela 1, contendo os dados fornecidos por simulação usando o programa PACE é apresentada a seguir:

Tabela 1: Reações a serem testadas, que gerem nêutrons monoenergéticos, utilizados em testes de SEU em dispositivos de memórias SRAM [11].

Reação	Energia do feixe (MeV)	Seção de choque (mb)
$^{7}Li(p,n)^{7}Be$	8 MeV	~100mb*
$^{7}Li(d,xn)^{8}Be$	10-16 MeV	~300mb [11]

*Simulação utilizando o software PACE.

Solicitação de Dias de Máquina

- **3 dias** Para testes da eletrônica de aquisição e do arranjo experimental.

- **5 dias** Para cerca de 10^4 n/cm^2.s^{-1} , segundo a literatura, tem-se cerca de 100 eventos SEU por dia. Para fazer uma análise em diferentes energias, seriam necessárias pelo menos cinco diferentes energias. Desta forma, seriam necessários 5 dias de experimento.

Total de dias solicitados: 8 dias.

Conclusão

Considerando os valores de seção de choque já medidos no IEAv [10], este experimento é viável desde que se obtenha fluxos iguais ou superiores a 1×10^4 n/cm^2.s^{-1}. O tempo de irradiação para cada valor de energia do nêutron deverá ser de 24 horas para uma estatística da ordem de 100 SEU, para este valor de fluxo de nêutrons. O dispositivo de irradiação e de aquisição automática de dados já esta montado, testado e operacional [10]. Este experimento enquadra-se nas atividades do projeto CITAR (CTI/AEB/INPE/IEAv/IFUSP/FEI), onde está prevista a utilização do Laboratório Aberto de Física Nuclear em experimentos de SEE em componentes eletrônicos de uso aeroespacial (Área de Física Aplicada) pelas entidades participantes do projeto.

Referências

[1] J. De Pangher e Tochilin. Neutrons from accelerators and radioactive sources. In Radit. Dosimetry, Vol. III, Cap. 23, F. H. Atix and E. Tochilin (editors), Acdemic Press (1969).

[2] C. A. Uttley. Sources of monoenergetic neutrons, In Neutron sources for basic physics and applications, chap III, A. Michauden, S. ciejaks and R. Echrien (editors), Pergamon Press (1983)

[3] V. Gressier et al. Amande: A new facility for monoenergetic neutron fields production between 2 keV and 20 MeV. Rad. Prot. Dosimetry, v. 110, n. 1-4, pp. 49-52 (2004)

[4] International Electrotechnical Commission, Process management for avionics – Atmospheric radiation effects – Part 1: Accommodation of atmospheric radiation effects via single event effects within avionics electronic equipment, Technical Specification IEC/TS 62396-1, Reference number IEC/TS 62396-1:2006(E), First edition 2006-03, (2006).

[5] International Electrotechnical Commission, Process management for avionics – Atmospheric radiation effects – Part 2: Guidelines for single event effects testing for avionics systems, Technical Specification IEC/TS 62396-2, Edition 1.0 2008-08, (ISBN 2-8318-9958-3), (2008).

[6] International Electrotechnical Commission, Process management for avionics – Atmospheric radiation effects – Part 3: Optimising system design to accommodate the single event effects (SEE) of atmospheric radiation, Technical Specification IEC/TS 62396-3, Edition 1.0 2008-08, (ISBN 2-8318-9992-3), (2008).

[7] International Electrotechnical Commission, Process management for avionics – Atmospheric radiation effects – Part 4: Guidelines for designing with high voltage aircraft electronics and potential single event effects, Technical Specification IEC/TS 62396-4, Edition 1.0 2008-07, (ISBN 2-8318-9934-6), (2008).
[8] International Electrotechnical Commission, Process management for avionics – Atmospheric radiation effects – Part 5: Guidelines for assessing thermal neutron fluxes and effects in avionics systems. Technical Specification IEC/TS 62396-5, Edition 1.0 2008-08, (ISBN 2-8318-9959-1), (2008).
[9] C. A. Federico, O. L. Gonçalez, E. S. Fonseca, I. M. Martin, L. V. E. Caldas, "Neutron Spectra Measurements in the South Atlantic Anomaly Region", Radiat. Meas., Vol. 45, pp. 1526-1528, (2010).
[10] E. C. F. Pereira Junior and O. L. Gonçalez. The fast neutron SEU cross section of a 4 Mb SRAM memory. Sumeted do INAC 2013 (2013)
[11] J Davis1, G M Petrov1, Tz Petrova1, L Willingale2, A Maksimchuk2 andK Krushelnick2. Neutron production from 7Li(d,xn) nuclear fusionreactions driven by high-intensity laser–target interactions. Plasma Phys. Control. Fusion **52** (2010) .