

## RESULTADOS PRELIMINARES DO ESTUDO DOS EFEITOS DA RADIAÇÃO CÓSMICA EM MATERIAIS SEMICONDUTORES

Marcelo Renato Santos Alves - Engenharia Aeroespacial, UFMG  
 Maritza Rodriguez Gual (NUCLIG-CDTN e DEN-UFMG)  
 Claúbia Pereira (DEN-UFMG)

marceloxtp@gmail.com, maritzargual@gmail.com, claubia@nuclear.ufmg.br

### RESUMO

Os materiais semicondutores constituem a base da microeletrônica, possibilitando a construção dos Circuitos Integrados (CI's), os chamados chips, que contêm milhares de transistores, diodos, resistores e capacitores, essenciais em equipamentos eletrônicos usados no dia a dia das pessoas bem como em equipamentos altamente sofisticados utilizados nas telecomunicações e no setor aeroespacial. Tais materiais quando submetidos à radiação podem sofrer sérios danos que podem alterar seu funcionamento.

O objetivo geral desta pesquisa é fazer um estudo sobre o efeito da radiação cósmica em materiais semicondutores desenvolvidos na atualidade. Se usa o código de transporte de partículas nucleares baseado no método de Monte Carlo MCNPX (Monte Carlo N-Particle eXtended) para estudar a deposição de energia em tais materiais quando são submetidos à irradiação.

### INTRODUÇÃO

Os semicondutores são cruciais para o funcionamento dos dispositivos elétricos que são usados em todos os ramos da vida moderna.

Existem dois processos básicos que geram danos em semicondutores:

- Ionização, e
- Deslocamento dos átomos

As principais fontes de radiação espacial são as seguintes:

- prótons e elétrons presos nos cinturões de Van Allen
- íons pesados presos na magnetosfera
- prótons e íons pesados dos raios cósmicos
- prótons e íons pesados de explosões solares
- radiação secundária produzida em naves espaciais (nêutrons, prótons, elétrons, raios X, raios gama).

A energia da radiação espacial varia desde algumas centenas de keVs até alguns GeVs. A presença da radiação no espaço pode interferir no funcionamento de sistemas espaciais, e, em alguns casos, ameaçam a sobrevivência de tais sistemas. A radiação de baixas energias pode também ter efeitos nocivos em dispositivos eletrônicos no espaço. Por isso, a importância de desenvolver este trabalho.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo escolheu-se o semicondutor Arseniuro de Gálio (GaAs) de densidade 5,32 g/cm<sup>3</sup> por estar sendo desenvolvido no ITEX da UFMG. Se considerou uma composição material de 50% de Ga e 50% de As.

Foi usado o código de simulação baseado no método de Monte Carlo MCNPX v 6.0 por ser uma poderosa ferramenta para modelar a interação da radiação de baixas e altas energias com os materiais usados no espaço.

O cálculo da deposição de energia por unidade de massa foi realizado através da simulação com o *tally* f6. Se transportaram simultaneamente as partículas secundárias induzidas da interação.

A fim de entender o efeito da radiação cósmica, pesquisamos as possíveis reações nucleares que se produzem nos isótopos Ga-71 e As-79. Ditas reações junto com a energia da reação e a mínima de produção, respectivamente se apresentam na Tabela I.

Tabela I- Possíveis reações nucleares entre nêutrons, prótons, alfa e gamas e os isótopos de Ga e As.

Reação	Energia da reação(Q) (keV)	Energia mínima(KeV)
<sup>71</sup> Ga (n, p) <sup>71</sup> Ge	-1014.988	1029.406
<sup>79</sup> As(p,n) <sup>79</sup> Se	1499.01	0.0
<sup>71</sup> Ga (γ,n) <sup>70</sup> Ga	-9300.28	9300.93
<sup>79</sup> As(γ, n) <sup>78</sup> As	-8890.4	8891.0
<sup>71</sup> Ga(α, γ) <sup>75</sup> As	5320.01	0.0
<sup>71</sup> Ga(α, α) <sup>71</sup> Ga	0.0	0.0
<sup>79</sup> As(α, γ) <sup>83</sup> Br	7802.25	0.0
<sup>79</sup> As(α, α) <sup>79</sup> As	0.0	0.0
<sup>71</sup> Ga (n, γ) <sup>72</sup> Ga	6520.48	0.0
<sup>71</sup> Ga (n, α) <sup>68</sup> Cu	1074.34	0.0
<sup>71</sup> Ga (n,n) <sup>71</sup> Ga	0.0	0.0
<sup>79</sup> As(n, γ) <sup>80</sup> As	6649.71	0.0
<sup>79</sup> As(n, n) <sup>79</sup> As	0.0	0.0
<sup>71</sup> Ga(n,d) <sup>70</sup> Zn	-5638.79	5719.01
<sup>79</sup> As(n,d) <sup>78</sup> Ge	-6838.42	6925.84
<sup>71</sup> Ga(n,t) <sup>69</sup> Zn	-8599.99	8722.32
<sup>79</sup> As(n,t) <sup>77</sup> Ge	-9301.7	9420.6
<sup>71</sup> Ga(n,2n) <sup>70</sup> Ga	-9300.28	9432.58
<sup>79</sup> As(n,2n) <sup>78</sup> As	-8890.4	9004.1
<sup>71</sup> Ga (n,3n) <sup>69</sup> Ga	-16953.93	17195.1
<sup>79</sup> As(n,3n) <sup>77</sup> As	-15862.38	16065.16
<sup>71</sup> Ga (α, p) <sup>74</sup> Ge	-1580.71	1669.914
<sup>79</sup> As(α,p) <sup>82</sup> Se	-906.21	952.17
<sup>71</sup> Ga(n,4n) <sup>68</sup> Cu	-27267.31	27655.19
<sup>79</sup> As (n,4n) <sup>76</sup> As	25558.66	25885.39
<sup>71</sup> Ga(n, <sup>3</sup> He) <sup>69</sup> Cu	-11262.79	11423.0

Fonte: <http://www.nndc.bnl.gov/qcalc/>

Se observa da tabela que existe um umbral para que ocorram algumas dessas reações.

As seções de choque para os diferentes tipos de reações se apresentam na Figura 1.

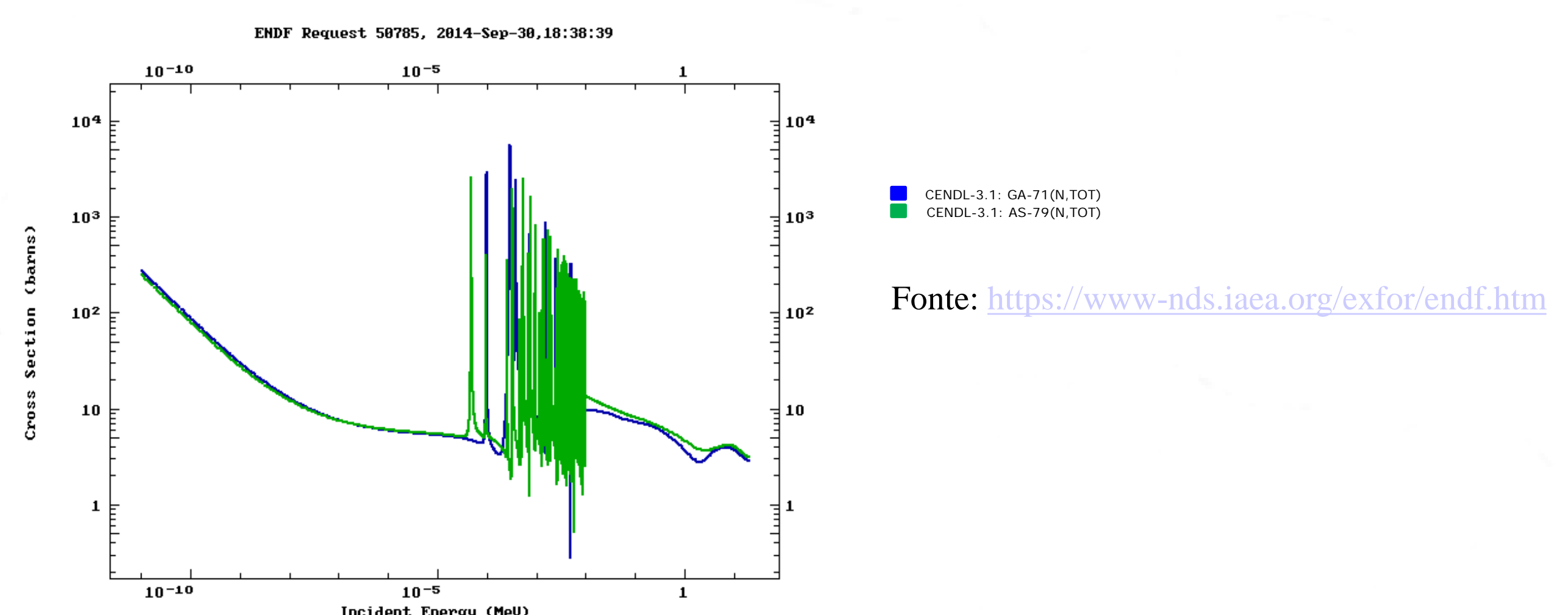


Figura 1 – Comparação entre as seções de choque total dos nêutrons de baixa energia dos isótopos Ga-71 e As-79.

Em todas as simulações, foram escolhidos os modelos físicos de Bertini e Isabel para a cascata intranuclear que se produz com partículas incidentes de altas energias, segundo a opção padrão do código MCNPX

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Se observa da Figura 1 que não existem diferenças significativas entre as seções de choque dos isótopos Ga-71 e As-79.

Na Figura 2 se apresenta o modelo usado para analisar o efeito da radiação cósmica na placa do semicondutor.

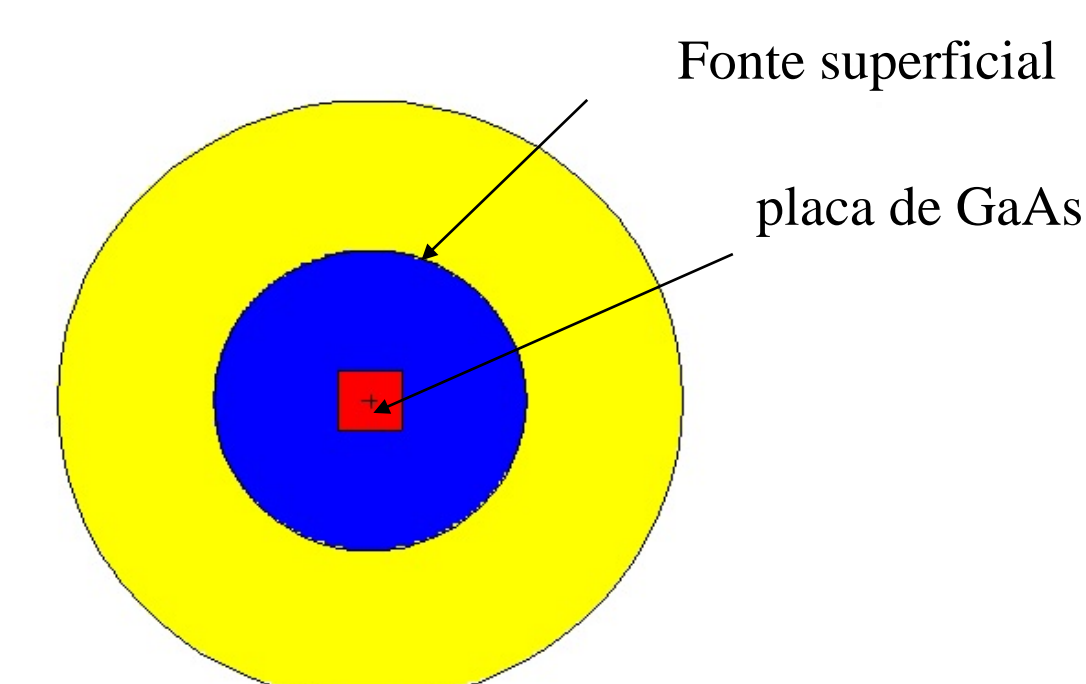


Figura 2 – Vista do plano XY da simulação feita com o MCNPX

Os valores obtidos da simulação são mostrados na tabela II.

Tabela II- Resultados da deposição de energia em (MeV/g) usando o *tally* f6 do MCNPX.

Energia da partícula incidente	Nêutrons	Fótons	Prótons	Alfa
Nêutrons E=150 MeV	1.5968E-08	1.6095E-07	1.4873E-14	1.1554E-05
Prótons E=1.5 GeV	7.5282E-09	2.1671E-14	-	-
Fótons E=150 MeV	-	4.3683E-07	-	-

Se observa que quando um nêutron de 150 MeV incide sobre a placa, a maior deposição de energia se produz pela partícula alfa gerada na reação pois é uma partícula altamente ionizante. Entretanto, quando a partícula incidente é um próton de 1,5 GeV os nêutrons produzidos são os que maior energia depositam.

### CONCLUSÕES

Como resultado inicial se apresentou um estudo da possíveis interações dos nêutrons, prótons, alfa e gamas com os isótopos de Ga e As.

Se compararam as seções de choque de interação de diferentes reações que serão estudadas.

Como continuação deste trabalho, serão calculadas as taxas de reações nucleares que se produzem neste semicondutor GaAs e outros com o código de Monte Carlo MCNPX.

Com este trabalho inicia-se uma área de pesquisa no Departamento de Engenharia Nuclear(DEN) da UFMG.