LABORATÓRIO ABERTO

DE FÍSICA NUCLEAR

Proposta de Experimento

N°

Período :

Título: *Nossa caixa - Teste de um novo sistema de medidas de coincidência cinemática e raios gama e medida da reação inversa $^{28}Si+^{9}Be$*

Responsável: J.R.B. Oliveira, J.A. Alcantara-Núñez
e-mail: *zero@if.usp.br*, *prof_juan@hotmail.com*

Participantes:

J.R.B. Oliveira, L. Gasques, V. A. B. Zagatto , A. S. Freitas, C. Dantas, P.R.P. Allegro, L.C. Chamon, E.W. Cybulska, N.H. Medina, R.V. Ribas, E.S. Rossi Jr, W.A. Seale, V. Guimarães, J.A. Alcántara-Núñez, D.L. Toufen, M.A.G. Silveira, G.S. Zahn, F. A. Genezini, J.M.B. Shorto, R. Linares, J. Lubian, G.P.A. Nobre, Indu Bala.

Porta Voz: J.A. Alcántara-Núñez
e-mail: *prof_juan@hotmail.com*

Número de dias solicitados: 6
Datas preferidas: a partir de agosto/2014
Datas realmente impossíveis:
Canalização: 30A

Feixe	Est. Carga	$I_{mínima}$ (alvo)	V_{min}	V_{max}	Pulsado?
28Si	4,5,6	2nA	5,5	6,5	

Alvos: ^{9}Be
Pastilhas: ^{28}Si
Características de Feixe Pulsado:
Continuação da Experiência já Aprovada N°:
Outras informações:

Nossa Caixa - Teste de um novo sistema de medidas de coincidência cinemática e raios gama e medida da reação inversa ^{28}Si + ^{9}Be

J.R.B. Oliveira, J.A. Alcántara-Núñez, L. Gasques, V. Zagatto , A. S. Freitas, C. Dantas , P.R.P. Allegro, L.C. Chamon, E.W. Cybulska, N.H. Medina, V.A.P. Aguiar, R.V. Ribas, E.S. Rossi Jr, W.A. Seale, V. Guimarães, Indu Bala
Instituto de Física da USP, São Paulo, SP, Brazil
D.L. Toufen
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Guarulhos, SP, Brazil
M.A.G. Silveira
Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, SP, Brazil
G.S. Zahn, F. A. Genezini, J.M.B. Shorto
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP, Brazil
R. Linares, J. Lubian
Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brazil
G.P.A. Nobre
Lawrence Livermore National Laboratory, CA, USA

Resumo

Pretende-se desenvolver um novo sistema para medidas de coincidência gama-partícula utilizando fotomultiplicadoras de Si (SiPM) com cintiladores plásticos (*phoswich*) e uma geometria de alta granularidade e cobertura angular, possibilitando a medida simultânea dos diversos produtos de reação em coincidência cinemática. O sistema será utilizado inicialmente para a medida da reação inversa de ^{28}Si + ^{9}Be ao redor da barreira (30 - 45 MeV), interessante para a investigação da quebra do alvo fracamente ligado com ou sem a transferência de um nêutron, bem como de diversos outros processos.

1. Introdução

A técnica de medidas de coincidências gama-partícula foi recentemente implantada no LAFN [1,2], através de uma adaptação de colimadores ao sistema Saci [3] de detecção de partículas carregadas. Diversos experimentos foram realizados e outras propostas estão sendo enviadas ao CAP com descrições detalhadas desta técnica e que não serão repetidas aqui. Cabe ressaltar apenas um aspecto da técnica que ainda talvez não tenha sido suficientemente enfatizado, que se refere às informações a respeito do alinhamento de momento angular dos estados excitados na reação que podem ser obtidas da correlação angular das partículas carregadas com os raios gama. Através de razões de intensidade, entre as diversas combinações de detectores de partícula e raios gama, também é possível testar os modelos teóricos utilizados para a descrição do mecanismo de reação. A utilização de um sistema de partículas de alta granularidade, como o que está sendo projetado, possibilitará medidas precisas destas correlações angulares. Pretende-se projetar um sistema de detectores versátil, para ser utilizado não somente neste tipo de experimento, mas também em diversos outros com outras configurações, como será descrito nas próximas secções. A escolha da reação de ^{28}Si + ^{9}Be como primeira experiência a ser realizada também será discutida.

2. Descrição geral do sistema de detectores

A geometria escolhida para o sistema de detectores tem a forma de uma caixa aproximadamente cúbica de cerca de 20cm de lado. Os cintiladores serão dispostos na superfície interna da caixa e o alvo será localizado próximo a uma das faces. A forma quadrada das faces é apropriada para a disposição das SiPM (que consistem de um quadrado de ~16 mm de lado com 16 *pixels* quadrados de 3 mm de lado). Os detectores gama de GeHP, com (ou eventualmente sem) supressão Compton, serão dispostos o mais próximo possível dos lados da caixa, a 90 graus com a direção do feixe, e alguns destes detectores poderão ser dispostos em ângulos traseiros.

Com esta geometria, será possível realizar medidas de coincidência cinemática da reação inversa, cobrido-se praticamente todo o intervalo cinemático possível, sendo as partículas semelhantes ao feixe (Si) detectadas principalmente na face dianteira, e as semelhantes ao alvo, nas laterais. No caso da quebra em partículas alfa pode ser necessário detectar também partículas na face traseira da caixa. A assimetria da posição do alvo deve-se à anisotropia da taxa de contagens que será predominante em ângulos dianteiros, sendo necessário afastar os detectores nesta direção. O uso da reação inversa facilitará a detecção das partículas mais pesadas, que desta forma terão maior energia. A coincidência cinemática entre os diversos produtos da reação permitirá eliminar ambiguidades na identificação das partículas, por exemplo, dispensando a utilização de sistemas de tempo de voo para seleção de massa.

Os detectores plásticos tipo phoswich serão utilizados por sua alta resistência a radiação e alta velocidade de resposta temporal. Serão utilizados detectores ΔE mais finos (0,05 mm) em comparação com o sistema Saci existente, para permitir a identificação do Z das partículas mais pesadas. O uso de telescópios é importante para separar o fundo de partículas leves provenientes de reações de fusão-evaporação.

Outras reações inversas poderão ser medidas futuramente com este sistema, como com feixes de Ti ou V, ou ainda mais pesados com uso do LINAC.

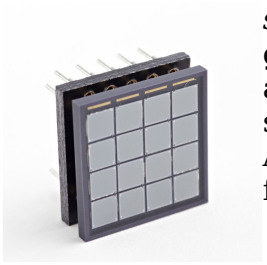
O uso de fotomultiplicadoras de Si, insensíveis à presença de campo magnético, permitirá a utilização do sistema mesmo nas proximidades do solenóide supercondutor RIBRAS para produção de feixes radioativos, em outros experimentos, além de serem muito mais compactos que fotomultiplicadoras usuais.

3. Fase 1 do sistema

Inicialmente pretende-se testar uma versão simplificada do sistema com menor número de detectores. Estes seriam dispostos somente ao longo de um plano, no interior da caixa . Isto evitará a necessidade de um investimento muito grande desde o início do projeto, tanto em detectores como na eletrônica associada. Com esta configuração será possível realizar as mesmas medidas, somente que com muito menor eficiência, particularmente nos processos de mais de 2 corpos, como quando há a quebra do ^{8}Be em duas partículas alfa. Com o aprendizado obtido ao longo do desenvolvimento será possível detalhar melhor e otimizar o projeto do sistema completo. Conta-se também com a evolução da eletrônica de digitalização de pulsos, atualmente em franca evolução, e das SiPM, que também poderão se tornar inteiramente digitais e auto-suficientes, em termos de eletrônica.

4. As fotomultiplicadoras de Si (SiPM)

A figura abaixo apresenta uma fotografia de uma SiPM (ArraySM-4 da Sensl). Cada pixel (quadrado de 3 mm por 3 mm) contém um grande número (mais de 4700) de



subpixels consistindo de fotodiodos de avalanche (APD). O pulso gerado pela SiPM, pela soma da contribuição dos APDs, é semelhante ao de uma fotomultiplicadora usual. O total dos pixels pode ser somado ou adquirido separadamente no sistema de aquisição. Atualmente o custo deste dispositivo é comparável ao de uma fotomultiplicadora usual.

5. Outras possíveis configurações do sistema de SiPMs

Os detectores cintiladores serão utilizados em outras configurações para diversos tipos de experimentos:

1- Alvo ativo para utilização com feixes radioativos

Planeja-se a construção de um alvo/detector ativo a gás (semelhante ao MAIA de Ganil) para uso com os feixes radioativos produzidos pelo sistema RIBRAS. Na face dianteira deste sistema é necessário um sistema de alta granularidade para detectar as partículas leves ou cujo alcance ultrapassa o volume gasoso. O sistema de detectores com SiPM seria utilizado com esta finalidade.

2- Experimentos de espectroscopia gama e gama-partícula usuais (como o Saci)

Os detectores com SiPM serão utilizados para substituir as fotomultiplicadoras usuais no sistema Saci, procurando-se explorar sua maior granularidade e insensibilidade a campos magnéticos, o que será interessante também para medidas de fator g pela técnica de campo transiente (TF).

3- Medidas de fator g pela técnica de recuo em vácuo (RIV)

Planeja-se a construção de um sistema em forma de anel com os detectores com SiPM para medida de fator g pela técnica de recuo em vácuo (RIV). Nesta técnica a atenuação da correlação angular gama-partícula é usada para inferir a intensidade do momento de dipolo magnético dos estados nucleares de meia vida curta – importantes para verificação de sua configuração. Os detectores devem ser dispostos em um anel cujo eixo coincide com o da direção do feixe, de modo a determinar o ângulo azimutal (ϕ) entre a partícula e o raio gama, para um mesmo ângulo de espalhamento (θ).

6. A reação de ^{28}Si + ^{9}Be

Esta reação é interessante em um contexto de medidas de reações com núcleos fracamente ligados, como outras propostas que estão sendo apresentadas ao CAP, que envolvem outras regiões de massa. A reação direta de ^{9}Be + ^{28}Si já foi relatada em diversos trabalhos (por exemplo na ref. [4], a mais recente) ao redor e acima da barreira. No entanto as medidas não foram feitas em coincidência cinemática e nem coincidência com raios gama.

A medida da reação inversa permitirá examinar todos os mecanismos de reação envolvidos, com a particularidade adicional de, a partir do espectro gama, inferir a região de população dos estados nucleares excitados que são produzidos, e verificar o alinhamento do momento angular previsto pelos modelos nucleares que visam a descrição dos diferentes processos. Este tipo de medidas é completamente inédito e possivelmente a mais completa a ser realizada com núcleos fracamente ligados.

6. Tempo de uso do acelerador

Estamos solicitando 6 dias de uso do acelerador para realizar testes e iniciar as medidas da reação proposta, preferencialmente no final de 2014 quando espera-se ter sido possível a construção do sistema na fase 1.

Referências

[1] J.R.B. Oliveira *et al.*, AIP Conf. Proc. 1139, 172 (2009).
[2] J.R.B. Oliveira *et al.*, Journal of Physics: Conference Series 205 (2010) 012046 .
[3] J.A. Alcántara-Núñez, J.R.B. Oliveira *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A 497, (2003) 429.
[4] M. Hugi et al. Nucl. Phys. A368 (1981) 173-188 8