

UMA INTERFACE ELETRÔNICA PARA AQUISIÇÃO DE 12 ESPECTROS DE COINCIDÊNCIAS GAMA-GAMA ATRASADAS

Cláudio Domienikan, Rajendra N. Saxena, Artur W. Carbonari

Centro do Reator de Pesquisas (CRPq)
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05422-970, São Paulo, Brasil

RESUMO

Foi desenvolvida uma interface eletrônica para ser utilizada em conjunto com o analisador multicanal ORTEC ADCAM-920, acoplados a um espectrômetro de correlação angular gama-gama perturbada diferencial no tempo (CAPDT) com quatro detectores de BaF₂. Esta interface permite a aquisição simultânea de 12 espectros de coincidências gama-gama atrasadas, propiciando diminuição do tempo de aquisição dos dados experimentais e aumento na precisão dos resultados finais das medidas de CAPDT.

I. INTRODUÇÃO

A correlação angular gama-gama perturbada diferencial no tempo (CAPDT) é uma técnica que permite medidas de campo hiperfino magnético ou gradiente de campo elétrico nas vizinhanças de um núcleo de prova radioativo implantado no meio sólido, e fornece informações sobre propriedades eletrônicas do ambiente local[1]. Os núcleos radioativos são introduzidos no material hospedeiro onde eles decaem para um estado excitado dos núcleos filhos e, subsequente, desexcitam-se através da emissão de dois raios gama sucessivos γ_1 e γ_2 via um estado intermediário. A interação entre os momentos nucleares (do estado intermediário) e os campos eletromagnéticos extranucleares perturbam a correlação angular entre os raios gamas γ_1 e γ_2 de uma forma característica. A correlação angular gama-gama perturbada pode ser utilizada para determinar as propriedades do material hospedeiro numa escala microscópica.

Um espectrômetro de CAPDT típico gera espectros de coincidências atrasadas entre γ_1 e γ_2 detectadas por dois detectores diferentes, em função do ângulo formado entre os detectores. O arranjo mais comum de espectrômetro consiste de 4 detectores, usualmente os cintiladores de BaF₂, em uma configuração planar com 90° entre si. Neste tipo de arranjo é medida a distribuição no tempo dos eventos de coincidências para cada combinação de γ_1 (designado “start”) e γ_2 (designado “stop”) detectadas por cada par de detectores.

Como 12 combinações de coincidências gama-gama são possíveis com 4 detectores, uma interface de endereçamento é necessária para identificar a combinação de detectores que originou uma coincidência gama-gama, e possibilitar o acúmulo simultâneo de 12 espectros distintos de coincidências.

Este trabalho apresenta o aperfeiçoamento do espectrômetro de CAPDT, existente no laboratório de interações hiperfinas do Centro do Reator de Pesquisas (CRPq) do IPEN, através do desenvolvimento de uma interface eletrônica denominada roteador que permita o acúmulo simultâneo de 12 espectros de coincidências gama-gama. Conseguimos, assim, uma maior rapidez no tempo de aquisição dos dados experimentais com redução dos erros sistemáticos e maior estatística de contagens, proporcionando um aumento na precisão dos resultados finais das medidas de CAPDT.

O desempenho do roteador foi comprovado através de uma série de medidas e testes, incluindo linearidade e resolução em tempo, do sistema. O conjunto espectrômetro-roteador foi também testado através de medidas de interação quadrupolar e interação magnética em sistemas metálicos Cd e Ni, respectivamente, utilizando o ¹¹¹Cd como núcleo de prova. Os resultados são apresentados neste trabalho.

II. DESCRIÇÃO GERAL DO ESPECTRÔMETRO

O espectrômetro de CAPDT é apresentado na figura

1, enquanto a figura 2 mostra, na forma de um diagrama de blocos, o sistema eletrônico associado ao espectrômetro. O espectrômetro consiste de quatro detetores (cintiladores de BaF₂ acoplados à fotomultiplicadoras Philips XP2020Q) posicionados em um plano e separados em 90°. Para cada detetores são utilizados dois analisadores monocanal de marca de tempo (TSCA) para selecionar as energias de γ_1 e γ_2 no ramo denominado “lento” (pulso obtido do dinodo), e um discriminador de fração constante (CFD) para fornecer o sinal de marca de tempo (pulso obtido do anodo) no ramo denominado “rápido”.

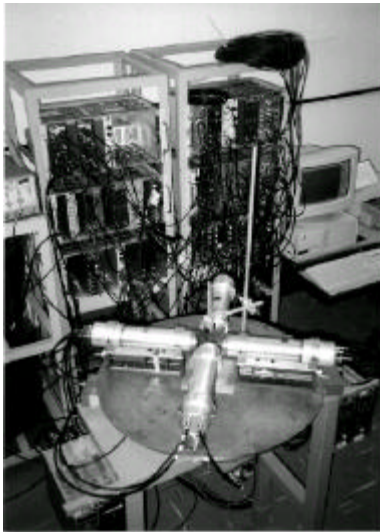


Figura 1. Vista do Espectrômetro CAPDT.

O pulso lento é utilizado para validar o sinal rápido. Após um determinado atraso de $\sim 2,7 \mu\text{s}$ o pulso rápido e o pulso lento passam por uma unidade de coincidência (AND). Através da sobreposição dos dois sinais (lento-

rápido) define-se o pulso de marca de tempo correspondente à detecção de γ_1 (“start”) ou γ_2 (“stop”).

Os pulsos de marca de tempo “start” e “stop”, correspondentes aos quatro detetores, são misturados separadamente em duas unidades (OR) e conectados à um conversor de tempo em amplitude (TAC) como mostrado na figura 2. O sinal de saída do TAC é processado pelo conversor analógico digital (ADC) do analisador multicanal (MCA). A informação resultante é endereçada pela unidade roteador (ROT) para uma determinada região de memória do MCA, correspondente ao par de detetores que originou os sinais em coincidência (por exemplo $A\gamma_1-B\gamma_2$, $B\gamma_1-A\gamma_2\dots$).

Todos os módulos eletrônicos utilizados no espectrômetro de CAPDT são comerciais, inclusive o MCA ORTEC modelo 920-16 com 16k de memória e 16 canais multiplexados. Somente a unidade que endereça os 12 espectros de coincidência para os determinados segmentos de memória não é disponível comercialmente, tendo sido necessário o seu desenvolvimento.

III. A INTERFACE DE ENDEREÇAMENTO

Os roteadores típicos para espectrômetros multidetetores utilizam as vias de endereçamento do MCA para selecionar as regiões de memória que armazenarão as informações dos espectros de coincidências (ver, por exemplo, referências 2 e 3). A interface de endereçamento desenvolvida por nós parte de um princípio diferente, uma vez que ela direciona o sinal de saída do TAC para uma das doze entradas analógicas do analisador multicanal ORTEC-ADCAM-920 através de um circuito demultiplex analógico controlado por uma unidade lógica. Este recurso permite aproveitar uma característica do MCA escolhido, a de armazenar as informações dos espectros nos segmentos de

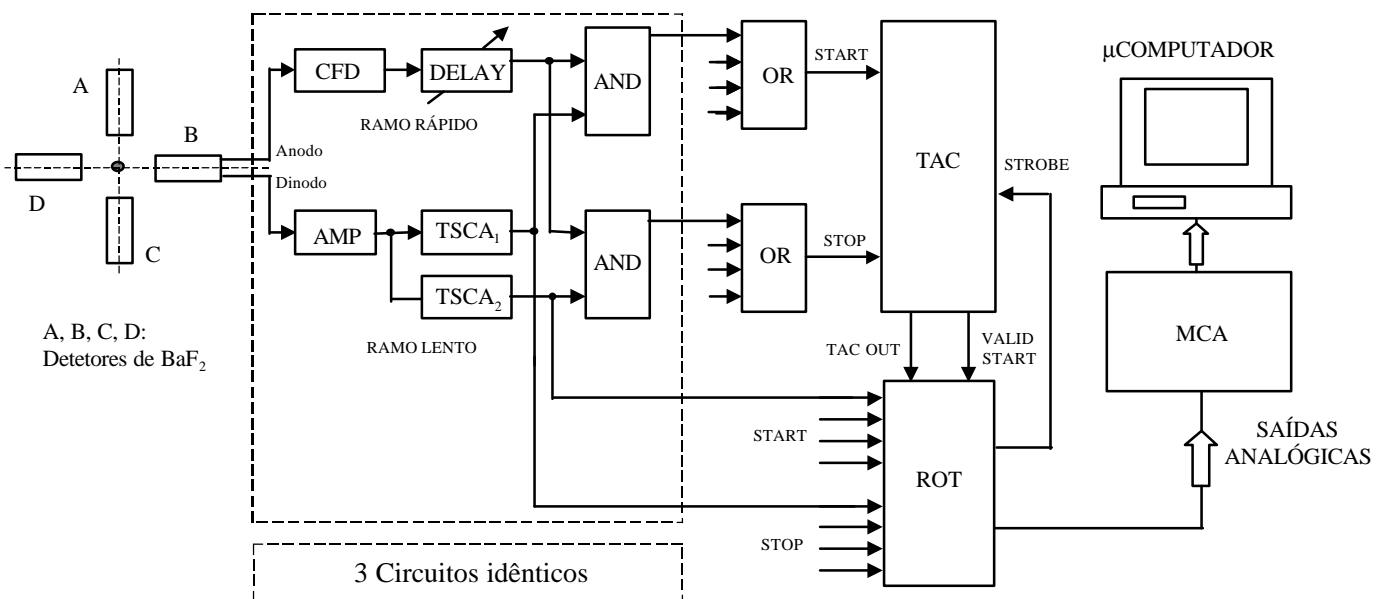


Figura 2. Diagrama em blocos do espectrômetro de correlação angular perturbada com quatro detetores. (AMP: pré-amplificador Ortec 113 + amplificador Ortec 572; TSCA: analisador monocanal de marca de tempo Ortec 511; CFD: discriminador de fração constante Camberra 2126; TAC: conversor tempo-amplitude Camberra 2125; ROT: roteador; MCA: analisador multicanal Ortec ADCAM 920-16).

memória pré-determinados de acordo com a entrada que recebeu o sinal do TAC (por exemplo: 1º espectro – entrada 1, 2º espectro – entrada 2...). Os dois circuitos que constituem o roteador foram construídos em placas de circuito impresso distintas e são apresentados no diagrama em blocos da figura 3.

O demultiplex analógico é constituído basicamente por um conjunto de canais (s1 a s12) idênticos ao da figura 4, que utilizam amplificadores operacionais de alto desempenho, AD713JN e AD847JN[4], e chaves analógicas rápidas do tipo ADG201A[5]. Este circuito recebe o sinal de saída do TAC (“tac out”) e direciona-o, através de um dos canais, para uma das 12 entradas do MCA (San1 a San12). A seleção do canal de saída é efetuada pela unidade lógica através de um sinal digital de controle. Ao assumir nível lógico “0”, o sinal de controle habilita a chave S1 que permite a passagem do sinal “tac out” para uma das entradas do MCA, através do amplificador operacional isolador U1. Assumindo nível lógico “1”, o sinal de controle aciona a chave S2 que desativa o canal. Apenas um canal pode ser acionado em um intervalo de tempo; dois ou mais canais acionados simultaneamente tornarão inválidas as medidas.

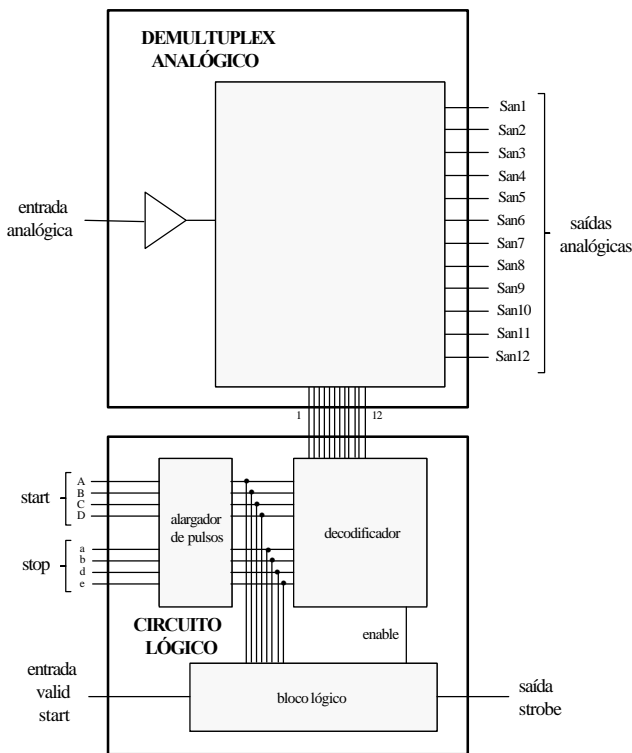


Figura 3. Diagrama em blocos do roteador.

A unidade lógica, constituída basicamente por circuitos integrados da família HCT[6], realiza um alargamento dos sinais de “start” e “stop” provenientes dos TSCA’s, através de multivibradores monoestáveis clássicos 74HCT123. O mesmo tratamento é dado ao sinal “valid start”, que é gerado pelo TAC ao ser aceito um sinal de start. É efetuado um teste de coincidência entre estes três tipos de sinais e, em caso positivo, o bloco lógico emite o sinal “enable” ativando o decodificador interno. Este bloco

é constituído por circuitos integrados decodificadores e, essencialmente, uma simples EPROM 2732. Após um tempo de amostragem, o decodificador interno converte a informação da combinação dos detetores para um código que acionará um dos canais do demultiplex analógico. O sinal resultante corresponde à combinação implementada entre os detetores que deram origem à coincidência. Adicionalmente, o bloco lógico gera o sinal “strobe” em sincronismo com o TAC, permitindo que seja emitido o sinal “tac out”. Assim, o sinal “tac out” é transmitido para o canal correspondente do ADCAM-920, onde é convertido pelo ADC e armazenado numa região de memória definida do MCA.

Caso o decodificador interno da unidade lógica verifique que ocorreu uma combinação não permitida entre os detetores (por exemplo, “start” e “stop” correspondentes ao mesmo detetor) ou que foi detectado mais do que um pulso de “start” ou “stop” durante a amostragem, o sinal “strobe” deixa de ser gerado e os canais do demultiplex analógico são desabilitados. Na ausência do sinal “strobe”, o TAC é reinicializado e o sinal “tac out” deixa de ser emitido.

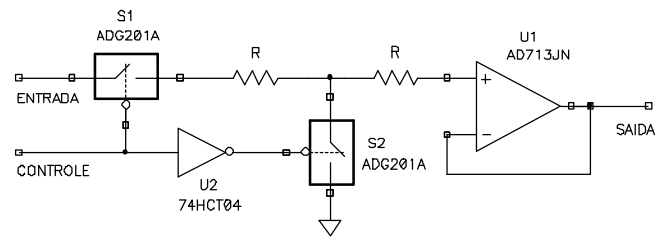


Figura 4. Circuito de um canal do demultiplex analógico.

Um “led” instalado no painel frontal indica a taxa de coincidências aceitas pelo roteador, que pode operar numa frequência máxima de 160 kHz. Um helipot permite ajustar entre 200 ns e 2 µs o tempo de teste de coincidência entre os sinais de “start” e “stop” alargados, feito pela unidade lógica. Esse ajuste varia de acordo com a meia-vida do estado intermediário do isótopo escolhido como núcleo de prova, permitindo redução do tempo morto do roteador. A figura 5 mostra a interface de endereçamento construída.

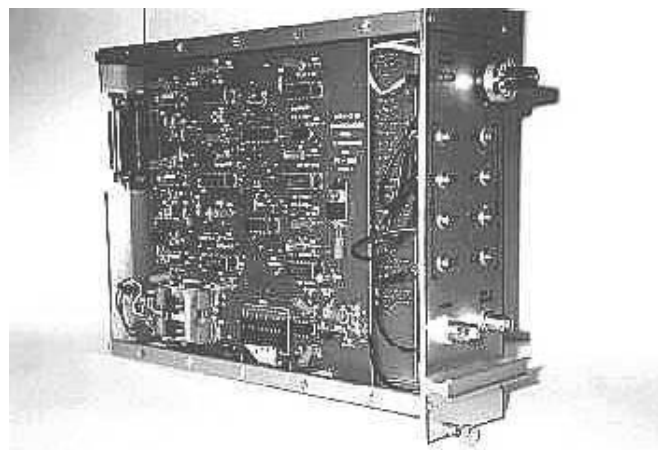


Figura 5. Vista do roteador para 12 espectros.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Resolução em tempo. Para determinação da resolução em tempo do sistema, foi utilizada uma fonte de ^{60}Co para gerar um espectro de coincidências instantâneas (“prompt”). As energias dos raios gama foram previamente ajustadas em 328 keV (γ_1) e 487 keV (γ_2), correspondentes à cascata gama do $^{140}\text{La} \rightarrow ^{140}\text{Ce}$ com meia vida do estado intermediário de 3,4 ns.

Foram efetuadas medidas com o roteador adaptado ao espectrômetro e, posteriormente, sem o roteador. No segundo caso, a aquisição dos espectros foi feita de modo individual, com tempo de contagem de 50000 s. O mesmo tempo foi aplicado à aquisição simultânea dos espectros, efetuada com o uso do roteador. O sistema foi calibrado em 0,109 ns/canal para um “range” do TAC de 100 ns.

De acordo com a figura 6 os resultados obtidos indicam uma largura à meia altura (FWHM) de 781 ± 2 ps para o espectrômetro com o roteador acoplado. Sem a utilização do roteador a resolução determinada foi de 795 ± 2 ps. A partir destes resultados concluímos que a interface de endereçamento praticamente não interfere na resolução em tempo do espectrômetro de CAPDT.

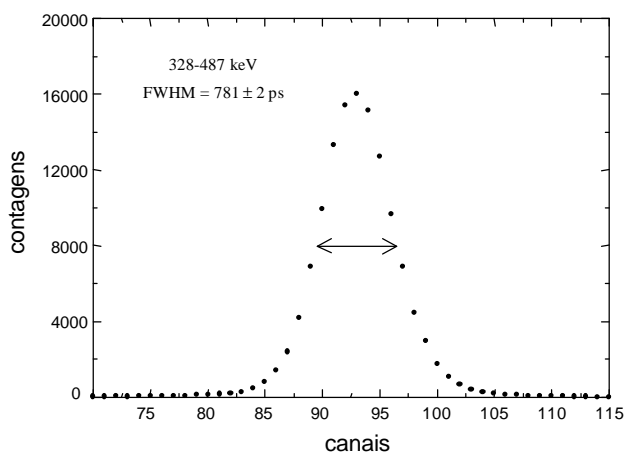


Figura 6. Curva “prompt” obtida com uma fonte de ^{60}Co com janelas em energia para a cascata 328-487 keV do ^{140}Ce . A resolução em tempo é de 781 ± 2 ps (FWHM).

Teste de linearidade. O teste de linearidade do roteador foi efetuado através da inserção de um calibrador de tempo Ortec 462 no sistema de medidas, conforme ilustrado na figura 7. O endereçamento dos espectros foi conseguido através da utilização de uma fonte de ^{111}Cd . O objetivo do teste de linearidade é verificar se cada espectro “prompt” gerado pelo calibrador de tempo permanece separado do espectro seguinte em número constante de canais.

Os resultados foram obtidos com o “range” e o “period” do calibrador ajustados em 320 ns e 40 ns, respectivamente. O “range” do TAC foi ajustado em 500 ns. O sistema foi calibrado em 0,5202 ns/canal. Foi verificado que a não-linearidade apresentada pelo roteador é menor que 1% para toda faixa espectral.

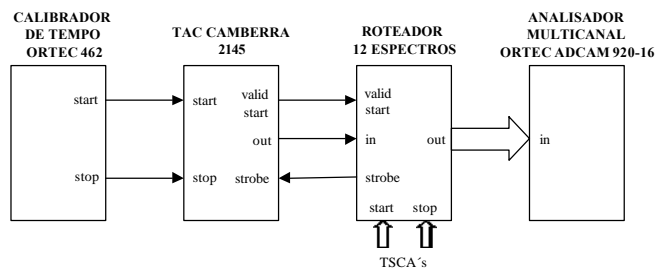


Figura 7. Arranjo experimental para teste de linearidade do roteador

Medidas de interação quadrupolar do ^{111}Cd em Cd e campo hiperfino magnético do ^{111}Cd em Ni. De modo a comprovar o funcionamento eficiente do conjunto espectrômetro-roteador, apresentamos, como exemplos, os resultados de algumas medidas de CAP efetuadas. Os detalhes experimentais sobre a confecção das amostras $^{111}\text{In}(\text{Cd})$ e $^{111}\text{In}(\text{Cd})$ e a análise dos resultados são descritos na referência 7. As figuras 8 e 9 mostram os espectros de $A_{22}G_{22}(t)$ obtidos para casos de interação quadrupolar do ^{111}Cd em cádmio metálico e de campo hiperfino magnético do ^{111}Cd em matriz de níquel, respectivamente. Os pontos experimentais são indicados com seus respectivos erros. As curvas de $A_{22}G_{22}(t)$ são resultados de um ajuste por mínimos quadrados às expressões teóricas de $G_{22}(t)$ para interações estáticas quadrupolares e magnéticas[1].

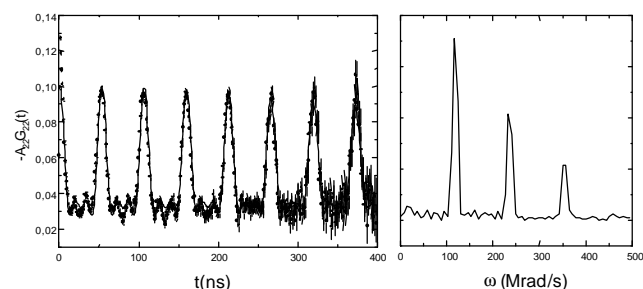


Figura 8. Espectro de $A_{22}G_{22}(t)$ para ^{111}Cd em cádmio metálico obtido utilizando o roteador de 12 espectros acoplado ao espectrômetro de CAPDT. O correspondente espectro de Transformada de Fourier é mostrado no lado direito.

A frequência quadrupolar (ν_Q) determinada é 125,7(2) MHz (com $\eta = 0$). O respectivo valor obtido da referência 8 é 124,7(5) MHz (com $\eta = 0$).

Através da figura 8 podemos notar a presença de uma única interação quadrupolar, e o aparecimento de três frequências com razão de 1:2:3, uma vez que o cádmio possui estrutura cristalina hexagonal ($\eta = 0$) e o spin nuclear é $I=5/2$.

O valor do campo hiperfino magnético (B) obtido a partir deste experimento é 66,84(3) kG. O respectivo valor obtido da referência 9 é 66,23(5) kG.

A figura 9 mostra a presença de uma única interação magnética e o aparecimento de frequências de Larmor (ω_L). No espectro de transformada de Fourier são apresentadas a componente fundamental e a primeira harmônica de ω_L .

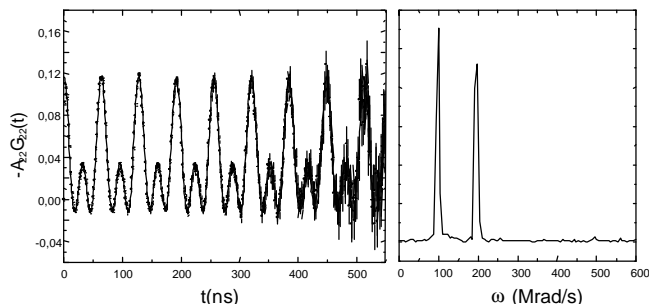


Figura 9. Espectro de $A_{22}G_{22}(t)$ para ^{111}Cd em níquel obtido utilizando o roteador de 12 espectros acoplado ao espectrômetro de CAPDT. O correspondente espectro da transformada de Fourier é mostrado no lado direito.

Observamos que os valores obtidos estão plenamente de acordo com as referências, o que comprova o correto funcionamento do roteador.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma interface de endereçamento (roteador) para ser utilizada em um espectrômetro de CAPDT do tipo “lento-rápido”, permitindo a aquisição simultânea de coincidências gama-gama atrasadas.

Estamos desenvolvendo várias outras unidades eletrônicas objetivando o aperfeiçoamento do nosso espectrômetro de CAPDT. Podemos citar, como exemplo, a construção de módulos de atraso eletrônico de modo a substituir os rolos de 650 m de cabo coaxial que, atualmente, são utilizados para atrasar o sinal “rápido” antes da coincidência com o sinal “lento”. Estamos, também, empenhados na construção de circuitos de polarização para as fotomultiplicadores e na implementação de modernos discriminadores de fração constante. Na prática, estas novas unidades deverão melhorar a eficiência do espectrômetro e ao mesmo tempo torná-lo mais compacto, com um custo consideravelmente baixo.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que parcialmente financiou este trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] FRAUENFELDER, H. and STEFFEN, R. M. Angular distribution of nuclear radiation. In: SIEGBAHN, K. ed.

Alpha, Beta and Gamma ray spectroscopy. Amsterdam, North-Holland, 1965. V. 2, p. 997-1198.

[2] BAUDRY, A., BOYER, P., CHOULET, C., GAMRAT, C., PERETTO, P., PERRIN, D. and ZURK, R. V. A Six-Detector High-Resolution PAC Spectrometer. Nucl. Instr. Meth. A 260, p. 160-164, 1987.

[3] MARQUES, J. J. G. Tese de Doutorado, Univ. Lisboa, 1996.

[4] Designer's Reference Manual, Analog Devices, 1997/1998.

[5] Designer's Reference Manual, Harris Semiconductors, 1997.

[6] Designer's Guide and Databook Logic, Texas Instruments, 1997.

[7] DOMIENIKAN, C. Dissertação de mestrado em fase de elaboração, IPEN, São Paulo.

[8] LINDGREN, B., KARLSSON, E., JOHNSON, B. Hyperfine Interactions. V1, p. 505, 1976.

[9] ALDER, K., ALBERS-SHÖNBERG, H., HEER, E., NOVEY, T. B. The measurement of nuclear moments of excited states by angular correlation methods, I. Helv. Phys. Acta, 26:761-84, 1953.

ABSTRACT

An electronic interface has been constructed to be used together with the multichannel analyser ORTEC ADCAM-920, in a time differential perturbed gamma-gamma angular correlation (TDPAC) spectrometer with four BaF_2 detectors. The interface allows the simultaneous acquisition of 12 delayed gamma-gamma coincidences spectra, permitting a considerable decrease in the experimental data acquisition time and as a consequence an improvement in the precision of the final results of the hyperfine parameters deduced from the TDPAC measurements.