



CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

AUTARQUIA ASSOCIADA A UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

ESTUDO DO DECAIMENTO β^- DO NÚCLEO DE ^{76}As

Sonia Pompeu de Camargo

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Tecnologia Nuclear.**

**Orientador:
Dra. Cibele Bugno Zamboni**

**São Paulo
1993**

À meus pais

Wilma e

Francisco (in memoriam)

meus irmãos

Antonio e Vera

Francisca Paula e Claudio

Wilma e Guilherme

Elsa e Claudio



Sobrinhos
André, Marina, Roberta,
Fernanda e Renato.

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que tiveram, de alguma forma, uma participação especial na realização deste trabalho, em particular:

À Cibele B. Zamboni pela sua dedicada orientação, pelo apoio, estímulo, paciência e acima de tudo pela amizade.

Ao Garabed Kenchiam, co-autor deste trabalho, pela inestimável colaboração.

Ao Prof. Paulo Pascholati pela oportunidade de realizar este trabalho no Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP

Ao Prof. Vito R. Vanin pelo incentivo e discussão dos resultados

Ao Prof. Max Cohenca por recuperar meus dados

Ao Tony e Laurindo pela presteza na irradiação das amostras

À Proteção Radiológica pela cuidadosa monitoração das amostras irradiadas

Ao André, Agostinho e Eduardo, companheiros de grupo, pela colaboração e proveitosas discussões.

À Marly Moura, pela revisão bibliográfica.

À Maria, Ineide e Lourdes, pelos serviços prestados junto à secretaria da Divisão de Física Nuclear do IPEN e do laboratório do Acelerador Linear do IFUSP.

Ao IPEN pela oportunidade de se realizar a pós-graduação.

IFUSP pelo uso da impressora lazer.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

A todos os companheiros da Divisão de Física Nuclear do IPEN e do Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP pela amizade e apoio mútuo por sentirmos de perto as dificuldades em se fazer ciência neste país.

À minha mãe, pelo apoio, dedicação, paciência e companhia durante todos esses anos.

Às amigas de sempre, Claudia, Angela, Tonia e Terezinha.

À Tirza e Cintia pela amizade e as inúmeras caronas.

À família Santanda pelo apoio de sempre.

Aos amigos, Sonia, Mara, Wladimir e Roberto que acompanharam com carinho e estímulo as etapas finais deste trabalho.

Sonia.

ESTUDO DO DECAIMENTO β^- DO NÚCLEO DE ^{76}As

Sonia Pompeu de Camargo

RESUMO

O espectro de raios- γ do ^{76}Se foi estudado através das técnicas de espectroscopia simples e de coincidência $\gamma\gamma$, acompanhando-se o decaimento β^- do ^{76}As (26 hs).

As medidas de espectroscopia foram realizadas com um detetor de HPGe (50 cm^3) de alta resolução. Foram determinadas as energias e intensidades de 45 transições- γ sendo duas delas, com energias de 528,15 keV e 1232,40 keV, observadas pela primeira vez. Nove transições com energia de 466,5 keV, 639,5 keV, 665 keV, 797,0 keV, 1030,6 keV, 1130 keV, 1393 keV, 1805 keV e 1881,3 keV, anteriormente atribuídas a este decaimento não foram observadas.

As medidas de coincidência $\gamma\gamma$ foram realizadas usando o espectrômetro HPGe - Ge(Li), com o objetivo de estabelecer os níveis excitados do ^{76}Se . No esquema de decaimento proposto, os 45 raios- γ observados foram distribuídos em 14 níveis de energia, entre eles está sendo incluído um novo nível com energia 1791,491 keV.

THE β^- -DECAY OF ^{76}As

Sonia Pompeu de Camargo

ABSTRACT

The gamma ray spectrum of ^{76}Se following the β decay of ^{76}As (26 hs) has been studied using both single and coincidence spectroscopy techniques.

The gamma ray spectroscopy has been carried out using a high-resolution 50 cm³ HPGe detector. The energies and intensities of 45 γ -rays have been determined, two of them with energies 528.15 keV and 1232.40 keV were observed for the first time in the decay of ^{76}As . Nine transitions with energies 466.5 keV, 639.5 keV, 665 keV, 797.0 keV, 1030.6 keV, 1130 keV, 1393 keV, 1805 keV and 1881.3 keV, earlier attributed to this decay were not observed.

Extensive $\gamma\gamma$ coincidence experiments were performed with a HPGe - Ge(Li) spectrometer. These measurements were used to identify the levels of ^{76}Se . Of the total number of γ -rays observed, 45 have been placed in a proposed level scheme containing 14 levels. This includes one new level with energy 1791.491 keV.

Índice

Introdução	1
1 Espectroscopia-γ no núcleo de ^{76}Se acompanhando o decaimento β^- do ^{76}As	4
I.1 Introdução	4
I.2 Instrumentação	4
I.2.1 Espectrômetro- γ	4
I.2.2 Sistema Eletrônico e de Aquisição	6
I.3 Técnica Experimental	6
I.3.1 Preparação da Fonte Radioativa de ^{76}As	6
I.3.2 Calibração	16
a Curva de calibração em energia	16
b Curva de eficiência do detetor	16
I.3.3 Medida de Espectroscopia Simples	17
I.4 Análise de Dados	17
a Cálculo da energia	17
b Cálculo da Intensidade	18
I.5 Resultados	18
I.5.1 Transições observadas pela primeira vez	21
I.5.2 Transições confirmadas	21
2 Medida de Coincidência $\gamma\gamma$	29
II.1 Introdução	29
II.2 Instrumentação	29
II.2.1 Espectrômetro $\gamma\gamma$	29
II.2.2 Eletrônica de Coincidência	30
II.3 Técnica Experimental	35
II.3.1 Fontes de ^{76}As para Medidas de Coincidências $\gamma\gamma$	35
II.3.2 Aquisição em modo biparamétrico	35

	iv
II.4 Análise dos Dados	37
II.5 Resultados	37
II.5.1 Outros resultados	40
3 Análise dos Resultados	42
4 Conclusão	71
Apêndice	73
Bibliografia	77

Lista de Figuras

I.1	Armadilha de espalhamento (referência [14])	5
I.2	Diagrama de blocos do arranjo eletrônico de espectroscopia simples	7
I.3.a	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 300 a 400 keV	8
I.3.b	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 400 a 500 keV	9
I.3.c	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 500 a 540 keV	9
I.3.d	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 540 a 600 keV	10
I.3.e	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 600 a 700 keV	10
I.3.f	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 700 a 820 keV	11
I.3.g	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 820 a 900 keV	11
I.3.h	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 900 a 990 keV	12
I.3.i	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 990 a 1100 keV	12
I.3.j	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1100 a 1250 keV	13
I.3.k	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1250 a 1420 keV	13
I.3.l	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1420 a 1650 keV	14
I.3.m	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1650 a 1880 keV	14

I.3.n	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1930 a 2300 keV	15
I.3.o	Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 2300 a 2700 keV	15
I.4	Ajuste da gaussiana para o fotopico de 528 keV	22
I.5	Ajuste da gaussiana para o fotopico de 1232 keV	23
I.6	Ajuste da gaussiana para o fotopico de 358 keV	24
I.7	Ajuste da gaussiana para o fotopico de 438 keV	25
I.8	Ajuste da gaussiana para o fotopico de 863 keV	26
I.9	Ajuste da gaussiana para o fotopico de 954 keV	27
I.10	Ajuste da gaussiana para o fotopico de 2669 keV	28
II.1	Esquema do espectrômetro $\gamma\gamma$	31
II.2	Diagrama de blocos do arranjo eletrônico das medidas de coincidência $\gamma\gamma$	32
II.3	Resolução em tempo da eletrônica de coincidência $\gamma\gamma$	34
II.4	Matriz de coincidência (2048 + 2048) canais \times 4096 canais \times contagem.	36
II.5	Esquema de níveis do ^{76}Se proposto neste trabalho	41
III.1	Esquema do decaimento do ^{76}As compilado pelo NDS[6]	43
III.2	Espectro de coincidência da janela 665 keV apresentando a coincidência de 1122 keV	46
III.3	Espectro de coincidência da janela 657 keV apresentando a transição- γ com energia de 575 keV	47
III.4	Espectro de coincidência da janela 1216 keV apresentando a transição- γ com energia de 575 keV	48
III.5	Espectro de coincidência da janela 740 keV apresentando a transição- γ com energia de 358 keV	50
III.6	Espectro de coincidência da janela 771 keV apresentando a transição- γ com energia de 358 keV	51
III.7	Espectro de coincidência da janela 358 keV	52
III.8	Espectro de coincidência da janela 1232 keV	54
III.9	Espectro de coincidência da janela 575 keV	55
III.10	Espectro de coincidência da janela 1100 a 1200 keV	57
III.11	Espectro de coincidência da transição de 301 keV apresentando a transição γ com energia de 438 keV	59

III.12 Espectro de coincidência da transição de 1129 keV apresentando a transição- γ com energia de 438 keV	60
III.13 Espectro de coincidência da transição de 438 keV	61
III.14.a Espectro de coincidência da transição de 863 keV	66
III.14.b Espectro de coincidência da transição de 863 keV	67
III.15.a Espectro de coincidência da transição de 528 keV	68
III.15.b Espectro de coincidência da transição de 528 keV	69
III.16 Espectro de coincidência da transição de 1568 keV apresentando a transição γ com energia de 528 keV.	70

Lista de Tabelas

I.1	Energias e Intensidades relativas dos raios γ do ^{76}Se	18
II.1	Relação de coincidências $\gamma\gamma$, obtidas neste trabalho	37
II.2	Valores das energias dos níveis do decaimento do ^{76}As , obtidos neste trabalho	39
III.1	Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [10, 11, 12] de espectroscopia- γ foram realizados, juntamente com as condições deste trabalho	44
III.2	Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [10, 11, 12] de coincidência $\gamma\gamma$ foram realizados, juntamente com as condições deste trabalho	45

Introdução

O conhecimento e a interpretação das propriedades nucleares trata-se de um problema fundamental da física nuclear e portanto de grande interesse na compreensão da estrutura nuclear.

A realização de um trabalho experimental voltado ao estudo da estrutura nuclear baseia-se em medir parâmetros que servem para testar modelos e consequentemente elucidar as características da estrutura nuclear.

O objetivo do presente trabalho foi o estudo experimental do decaimento β^- do núcleo de ^{76}As .

A estrutura nuclear do ^{76}Se conhecida atualmente foi praticamente definida durante as décadas de 60 e 70, período em que se realizaram estudos a partir do decaimento β^- do ^{76}As . Estas informações permitiram uma descrição bastante simples para sua estrutura nuclear. Por se tratar de um isótopo leve do Selenio ($Z=34$ e $N=42$), portanto afastado da camada fechada de 28 e 50, tanto para prótons como para nêutrons, foi considerado quasi-esférico. De acordo com dados experimentais, até então obtidos, este núcleo é caracterizado por um tripleto de estados com spin e paridade 0^+ , 2^+ , 4^+ (correspondente às energias de 1122 keV, 1216 keV e 1330 keV) cuja energia é aproximadamente o dobro do primeiro estado excitado 2^+ (isto é 559 keV), portanto descrito pelo modelo vibracional puro[1]. Entretanto, estudos mais recentes envolvendo reações nucleares, tais como: $^{76}\text{Se}(p,p')$ [2], $^{76}\text{Se}(n,n)$ [3], $^{76}\text{Ge}(\alpha,2n\gamma)$ [4] e $^{71}\text{Ga}(^7\text{Li},2n\gamma)$ [5] trazem informações de níveis de mais alta energia e evidenciam suas propriedades coletivas. Isto sugere que a estrutura destes níveis seja bem mais complexa e precise ser ainda mais apreciada experimentalmente.

No que diz respeito a estudos que envolvem os níveis de energias mais baixas (até 2700 keV) um grande número de investigações envolvendo o decaimento β^- do ^{76}As e β^+/EC do ^{76}Br , relacionados no Nuclear Data Sheets [6], foram realizados, visando esclarecimento quanto a estrutura do núcleo de ^{76}Se . Os primeiros trabalhos, envolvendo espectroscopia γ foram realizados com o uso de detectores de $\text{NaI}(\text{Tl})$ [7, 8, 9], enquanto trabalhos mais recentes, realizados por Nagahara[10]

e Kaur e outros[11], utilizaram detectores de Ge(Li) e uma combinação de NaI(Tl) com Ge(Li) para as medidas de coincidências $\gamma\gamma$. De acordo com nosso levantamento bibliográfico, o trabalho mais recente, referente a este decaimento, foi realizado por Peikun e outros[12] usando só detectores de Ge(Li), de grande volume e boa resolução, associados a um sistema eletrônico biparamétrico. No entanto, essas medidas foram realizadas com baixa estatística, além disso, a medida de coincidência $\gamma\gamma$ foi analisada apenas por quatro janelas, referentes as transições- γ mais intensas (559, 657, 1212 + 1216 e 1228 keV).

Desta forma, apesar de todas as informações já existentes os esquemas de níveis propostos nesses estudos mostram certas discrepâncias. Existem várias transições γ que, devido à baixa intensidade ($< 10^{-3}$ %), ainda estão por ser confirmadas e outras que, embora observadas nos diferentes trabalhos, não foram posicionadas no esquema de níveis. Além disso, nesses trabalhos, o cálculo das intensidades relativas foi feito com o uso de absorvedores na face dos detectores, para reduzir a intensidade da transição de 559 keV, conseqüentemente esse cálculo apresenta maior incerteza além da não observação das transições γ de mais baixa energia.

Com base nisto, no presente trabalho foram feitas medidas de espectroscopia- γ de alta resolução e de coincidências $\gamma\gamma$ no núcleo de ^{76}Se , a partir do decaimento β^- do ^{76}As , utilizando um espectrômetro- γ de HPGe (50 cm³) para medidas de espectroscopia- γ e uma combinação de detectores de HPGe (89 cm³) com Ge(Li) (60 cm³) para medidas de coincidências. Essas medidas foram realizadas no Laboratório do Acelerador Linear (IFUSP), que proporciona medidas com baixos limites de observação de intensidade de transição γ , que podem chegar a um decaimento em 10^6 decaimentos do núcleo. Estas condições experimentais bem como o uso de detectores de melhor resolução motivaram a realização destas medidas, que devem levar a um esquema de níveis bem estabelecido para o núcleo de ^{76}Se .

A apresentação dessas medidas é abordada no texto em quatro capítulos. No capítulo I é apresentada a medida de espectroscopia γ onde são discutidas as condições experimentais, o método de análise, a aquisição de dados e os resultados. Da mesma forma, o capítulo II refere-se à medida de coincidências $\gamma\gamma$. No capítulo III é apresentada a análise de ambas as medidas, onde a discussão é feita nível a nível e finalmente no capítulo IV são apresentadas as conclusões do presente trabalho. Nos apêndices são descritos os programas desenvolvidos para o aprimoramento da análise de dados.

As referências bibliográficas são numeradas independentemente dos capítulos, sendo dadas de acordo com a citação no texto. Já as tabelas, bem como as figuras,

são numeradas para cada capítulo em romano, precedendo o número de ordem.

Capítulo I

Espectroscopia- γ no núcleo de ^{76}Se acompanhando o decaimento β^- do ^{76}As

I.1. Introdução

Neste capítulo será descrita a medida de espectroscopia- γ , que constitui-se na tomada de espectros diretos dos estados excitados do ^{76}Se , visando o reconhecimento de seu espectro em energia e intensidade relativa dos raios- γ associados ao decaimento β^- do ^{76}As ($T_{1/2} = 26$ hs)[13].

I.2. Instrumentação

A instrumentação nuclear utilizada na tomada dos espectros diretos constitui-se de um espectrômetro- γ , um sistema eletrônico associado e um sistema de aquisição de dados que serão descritos a seguir.

I.2.1. Espectrômetro- γ

O espectrômetro- γ é constituído de um detetor coaxial de HPGGe de 50 cm^3 de volume, com resolução de 1.82 keV para transição de 1332 keV do ^{60}Ni , acoplado a uma blindagem anular de ferro cujas dimensões são 11 cm de diâmetro interno, 31 cm de diâmetro externo e 45 cm de comprimento, como mostra a figura I.1. A blindagem possui em seu interior quatro meniscos de chumbo cujos orifícios, os ângulos de corte e a distância entre os mesmos foram calculados de forma a minimizar a incidência de fótons espalhados no volume sensível do detetor. Detalhes deste arranjo, que é denominado de armadilha de espalhamento, são apresentados na referência [14].

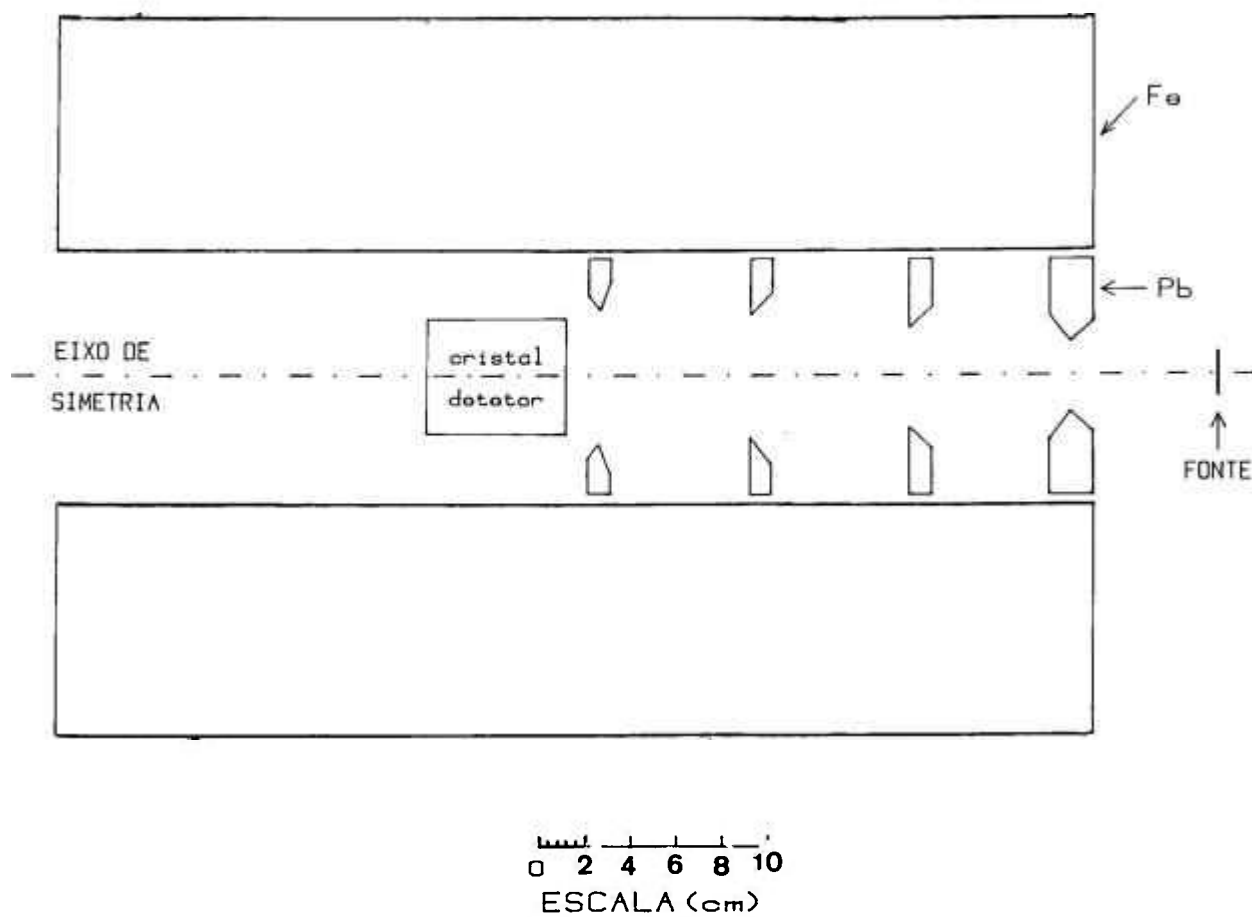


Figura I.1 : Armadilha de espalhamento (referência [14])

A uma distância de 25 cm do detetor, em um plano perpendicular ao eixo do detetor, é posicionada a fonte. Entre a fonte e o detetor não há nenhum tipo de absorvedor, o que minimiza os efeitos de absorção e espalhamento.

I.2.2. Sistema Eletrônico e de Aquisição

Para obtenção dos espectros diretos a eletrônica associada ao espectrômetro- γ , descrito em I.2.1, é a convencional em energia. Um diagrama de blocos deste sistema é apresentado na fig. I.2.

O pulso eletrônico produzido no detetor é pré-amplificado e transmitido ao amplificador ORTEC-572. Este amplificador gera, em sua saída unipolar um pulso analógico de altura proporcional a energia e um pulso lógico em uma saída própria "INHIBIT" (sinal de empilhamento) que detecta a ocorrência de sobreposição de sinais em virtude das altas taxas de contagens utilizadas. Os pulsos amplificados são convertidos em 8192 canais por um conversor analógico digital (ADC - Conversor Analógico Digital) ND583 em anticoincidência com os sinais de empilhamento.

A aquisição de dados é realizada através de uma interface CAMAC, usando um microprocessador programável MBD para armazenar os dados em modo multi-canal na memória do computador PDP11/84 do Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP.

I.3. Técnica Experimental

Neste item é feita a descrição da técnica utilizada no preparo da fonte radioativa de ^{76}As , bem como a descrição das calibrações em energia e eficiência do espectrômetro- γ .

I.3.1. Preparação da Fonte Radioativa de ^{76}As

As fontes radioativas de ^{76}As foram obtidas por meio da reação $^{75}\text{As}(n,\gamma)^{76}\text{As}$. Para tanto selou-se cerca de 10 mg de Arsênico metálico, quimicamente puro (99,99%), em um tubo cilíndrico de sílica de 2cm de comprimento e 2 mm de diâmetro interno e irradiou-se com nêutrons térmicos no reator IEA-R1 do IPEN, num fluxo de $10^{13}\text{n/cm}^2\text{s}$, durante um período de 3 minutos produzindo-se assim o ^{76}As . O posterior decaimento β^- do núcleo de ^{76}As , com $T_{1/2} = 26,3$ hs [13], popula os estados excitados do ^{76}Se .

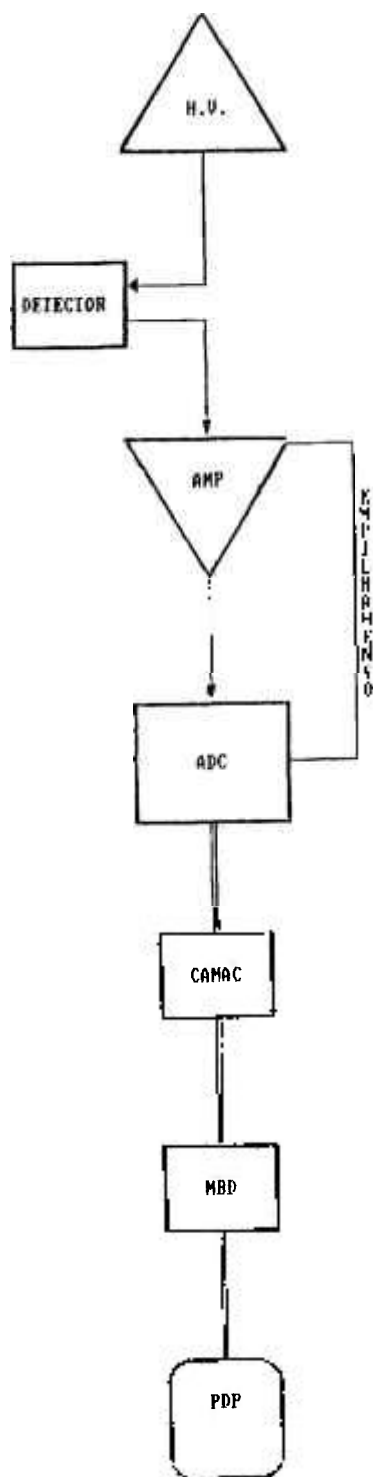


Figura I.2 : Diagrama de blocos do arranjo eletrônico de espectroscopia simples

Após a irradiação a fonte era posicionada no espectrômetro- γ , descrito em I.2.1, onde foram realizadas as medidas de espectroscopia.

Cada fonte foi submetida a um tempo de contagem de 26 hs, correspondente a aproximadamente uma meia-vida. No total foram feitas 10 fontes, resultando num tempo de aquisição de 260 horas. As fontes eram suficientemente ativas ($\sim 15 \mu\text{Ci}$) para medidas de espectroscopia simples.

O espectro direto de raios- γ do ^{76}As , correspondente à aquisição de 260 horas (denominado espectro SOMA), observado pelo detetor HPGe de 50 cm^3 de volume é apresentado na figura I.3.

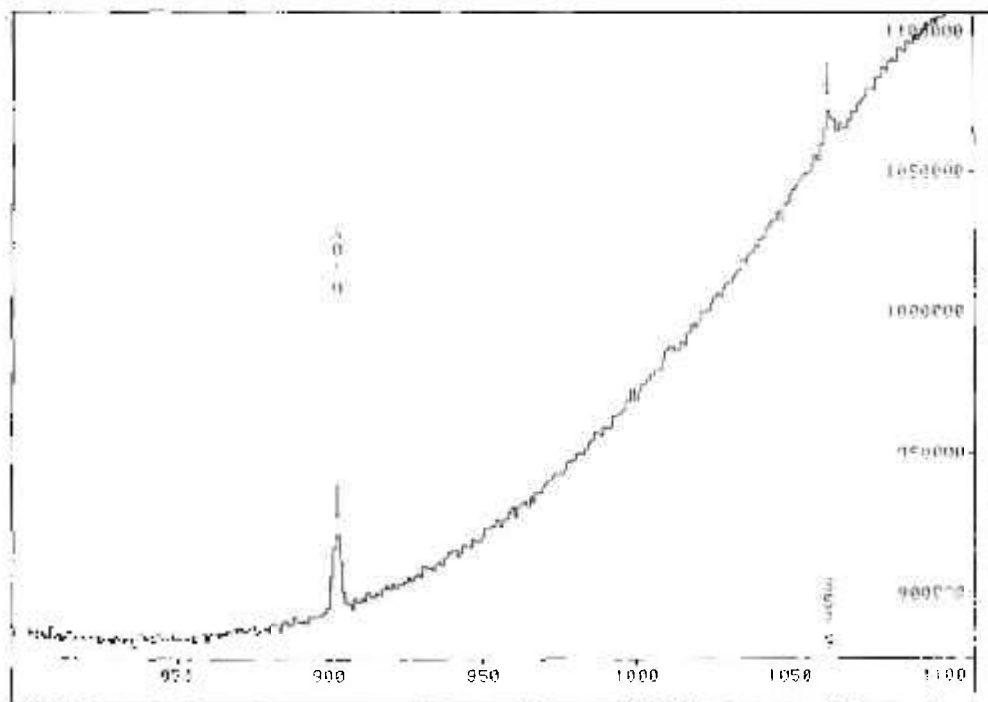


Figura I.3.a: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 300 a 400 keV

SE = Simples escape

DE = Duplo escape

F = Radiação de fundo

S = Pico soma

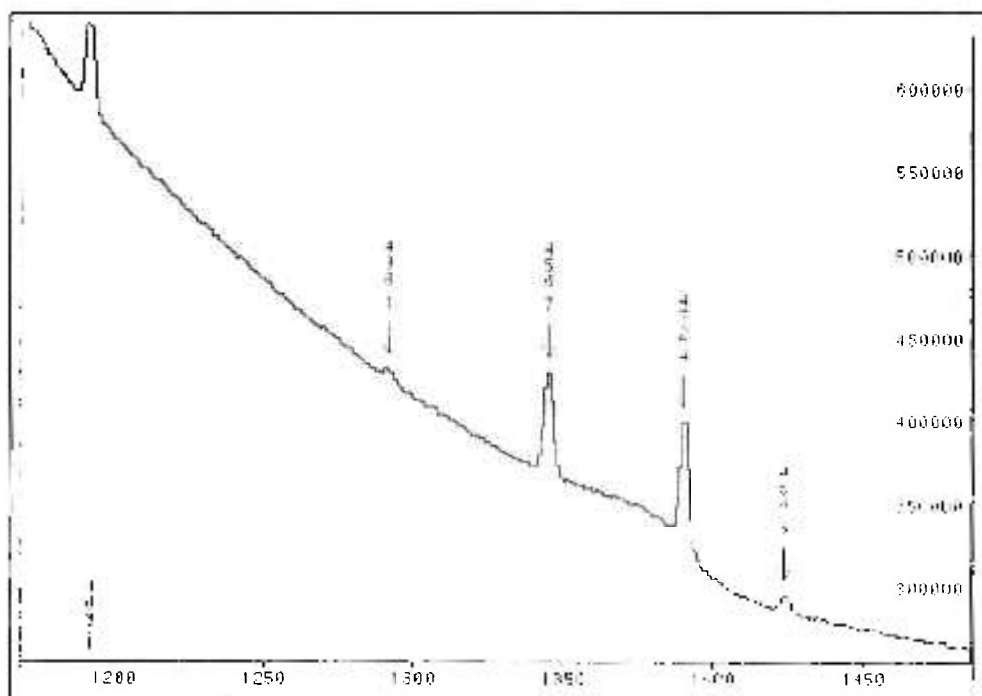


Figura I.3.b: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 400 a 500 keV

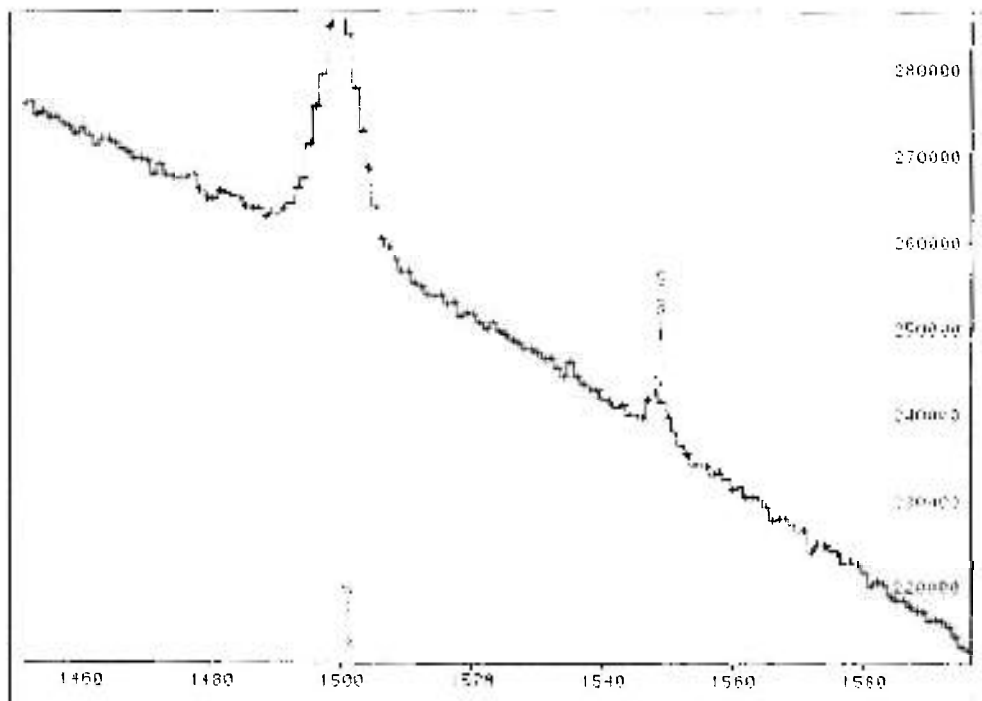


Figura I.3.c: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 500 a 540 keV

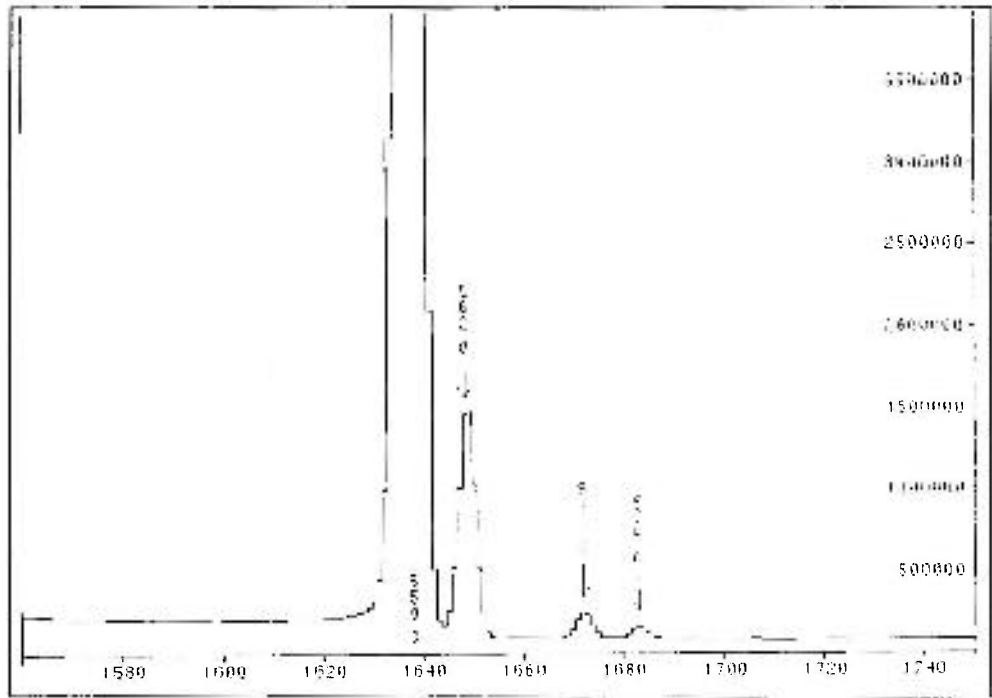


Figura I.3.d: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 540 a 600 keV

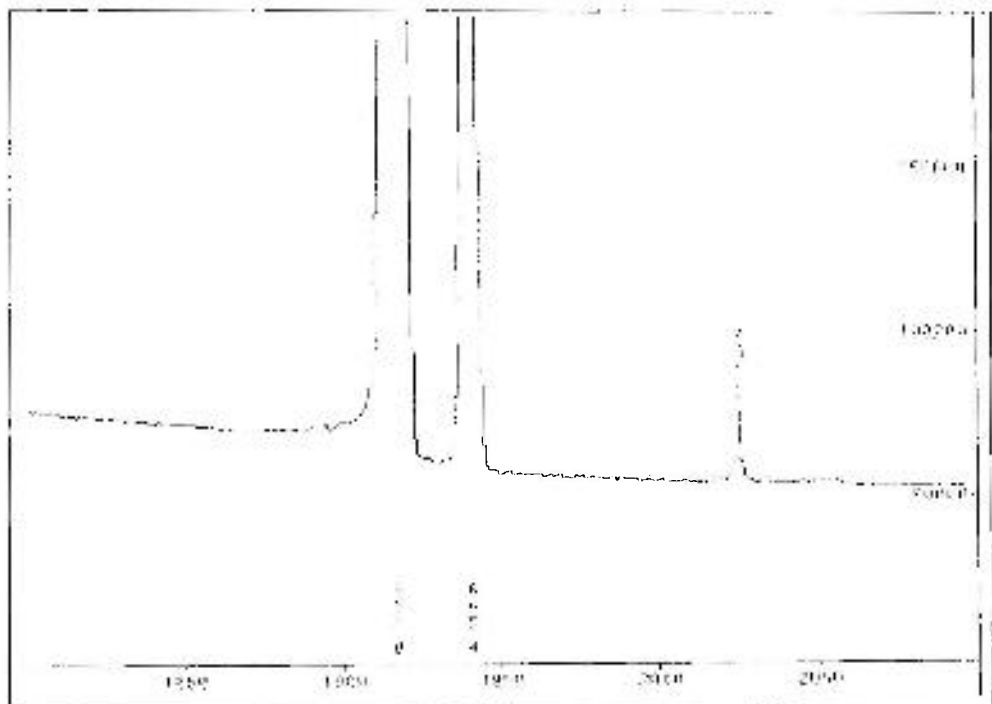


Figura I.3.e: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 600 a 700 keV

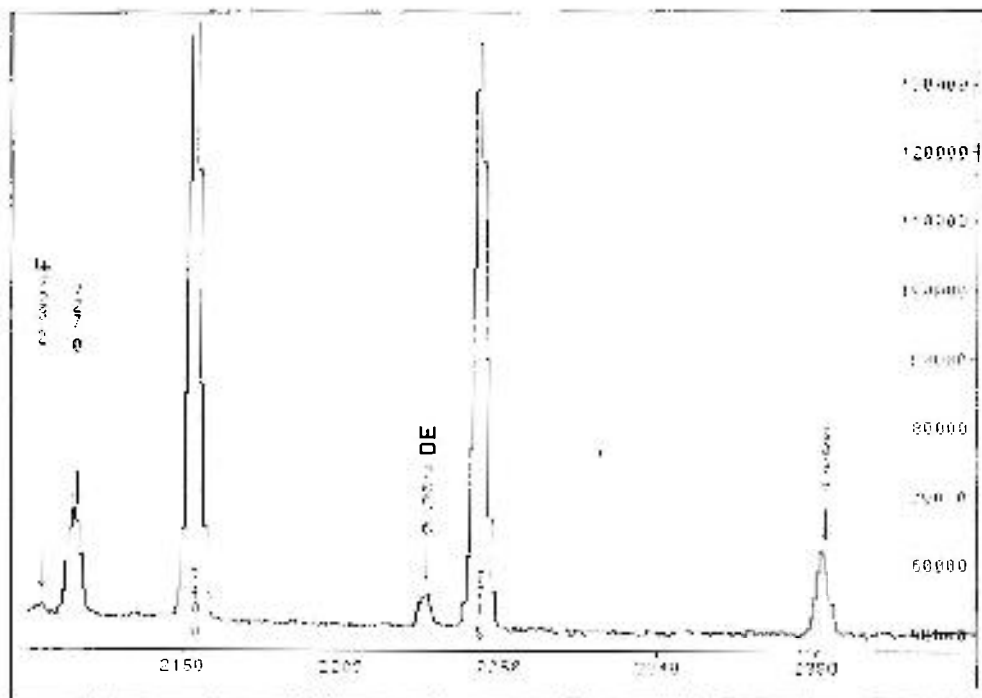


Figura I.3.f: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 700 a 820 keV

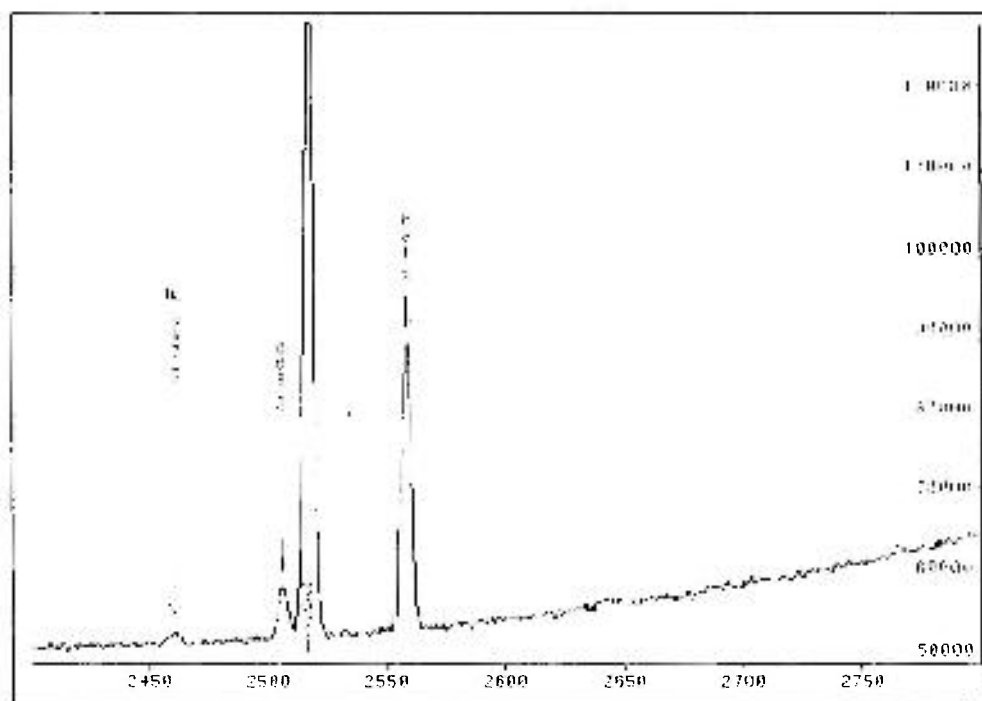


Figura I.3.g: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 820 a 900 keV

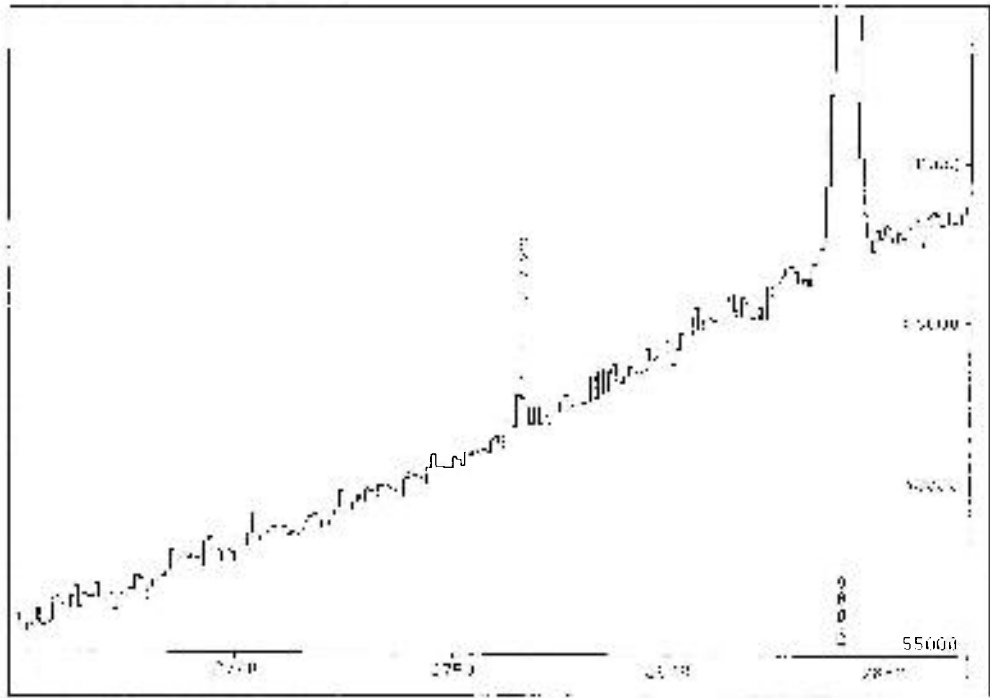


Figura I.3.h: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 900 a 990 keV

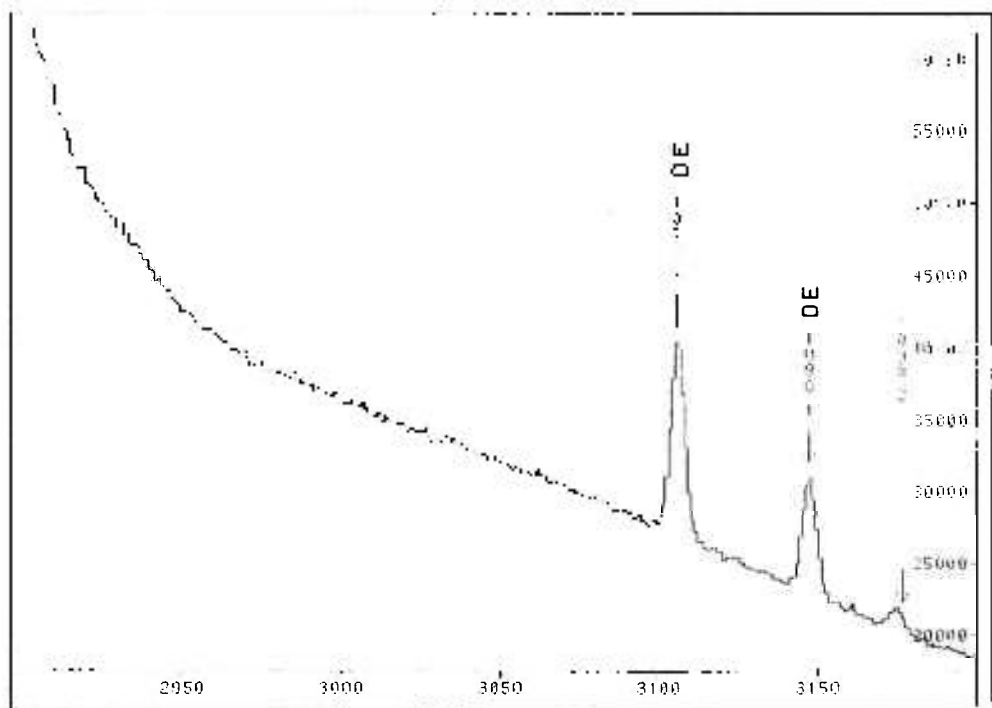


Figura I.3.i: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 990 a 1100 keV

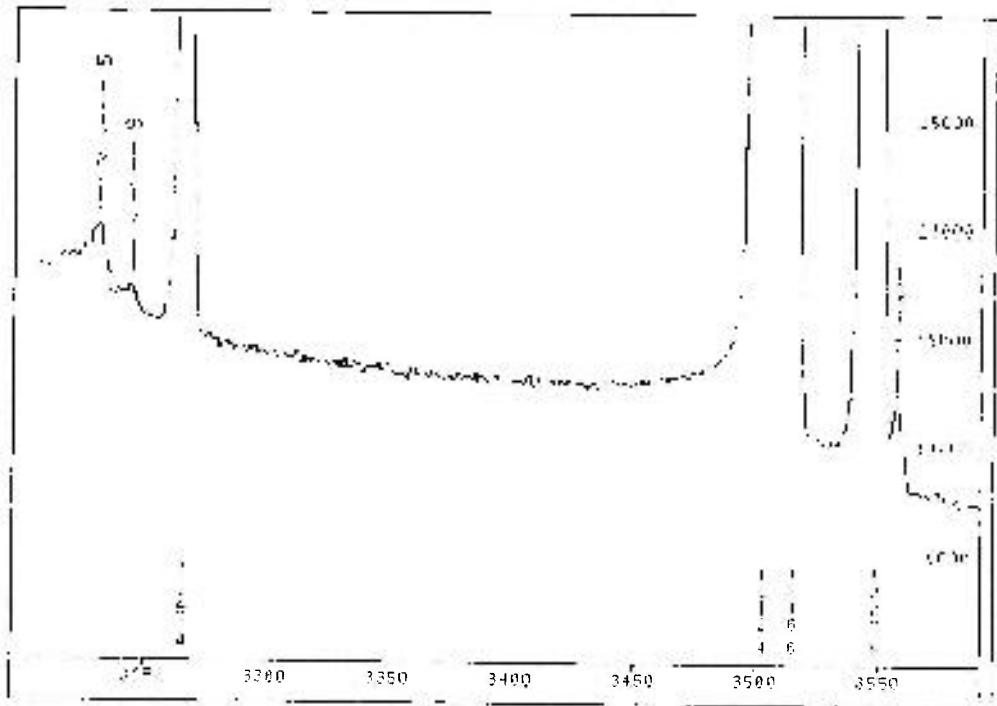


Figura I.3.j: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1100 a 1250 keV

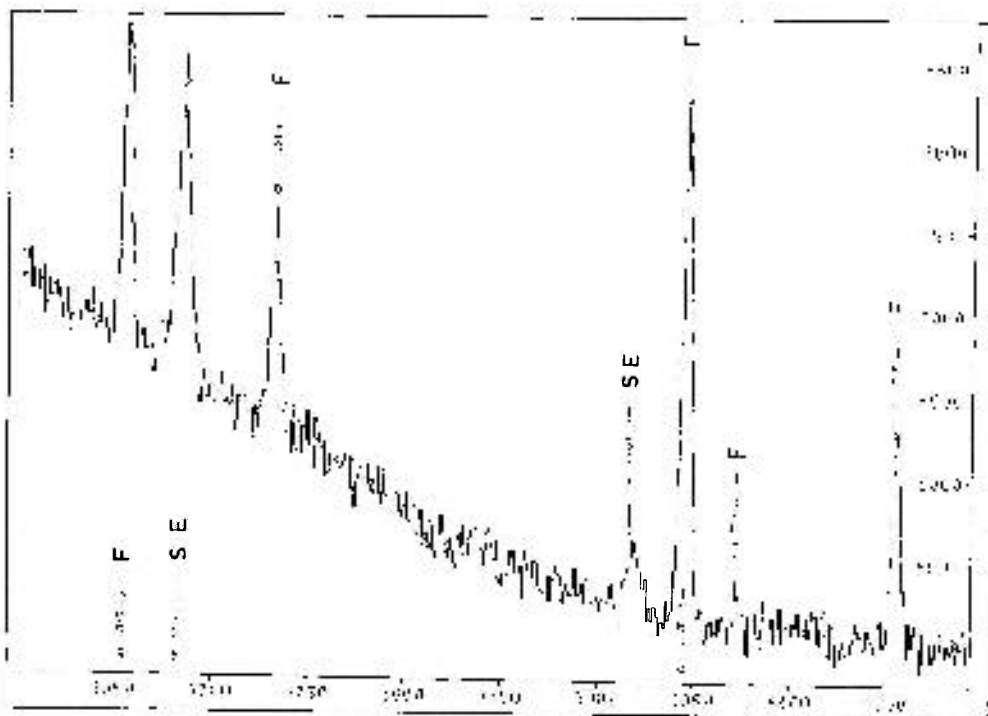


Figura I.3.k: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1250 a 1420 keV

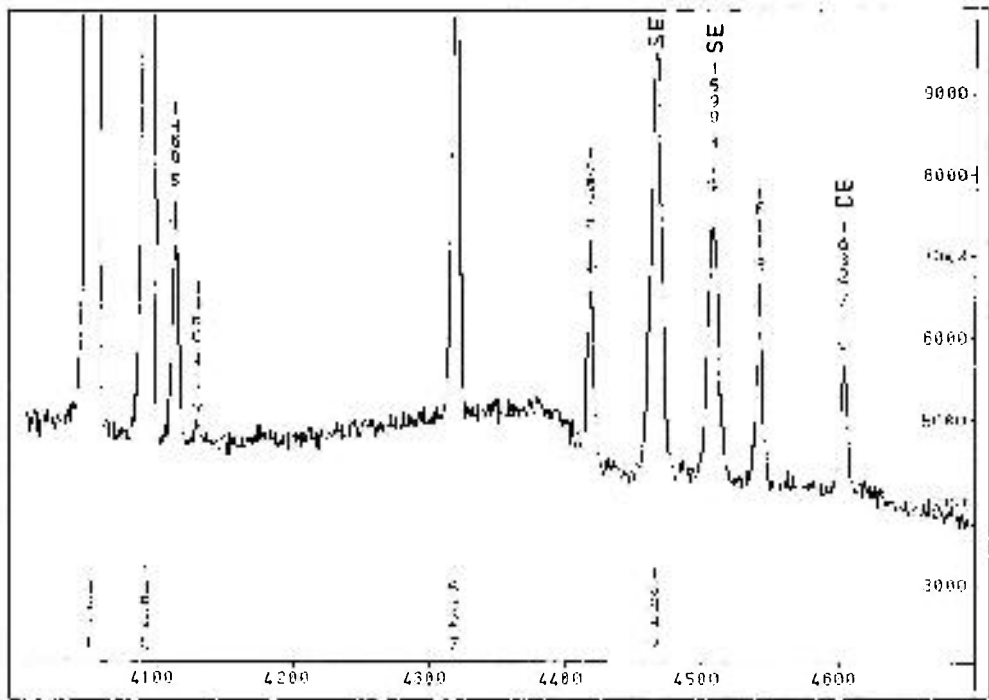


Figura I.3.l: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1420 a 1650 keV

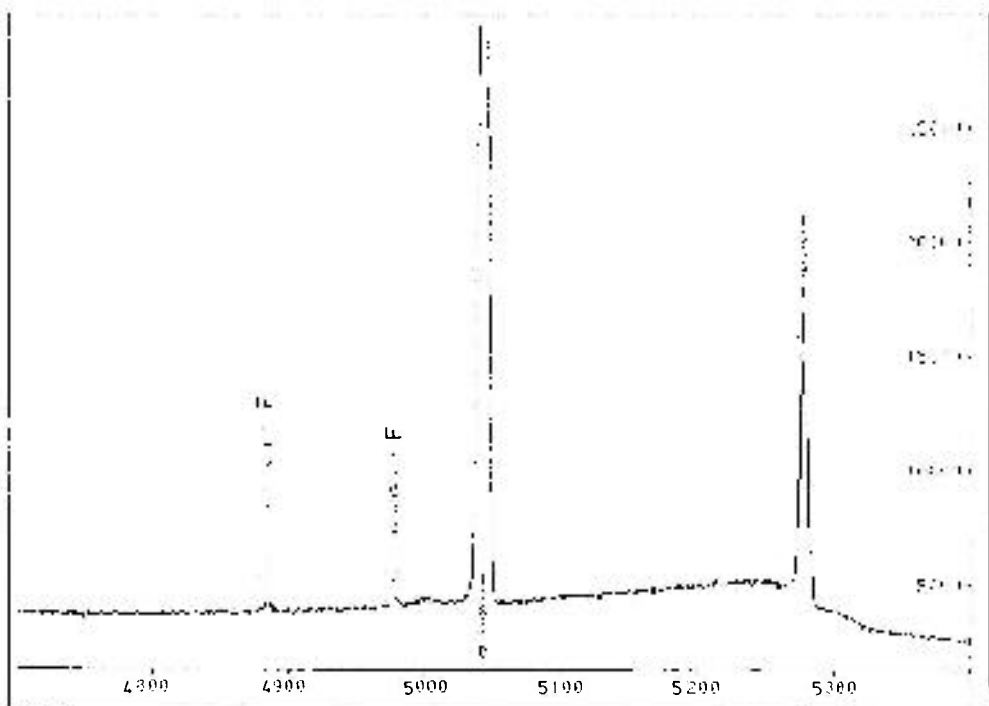


Figura I.3.m: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1650 a 1880 keV

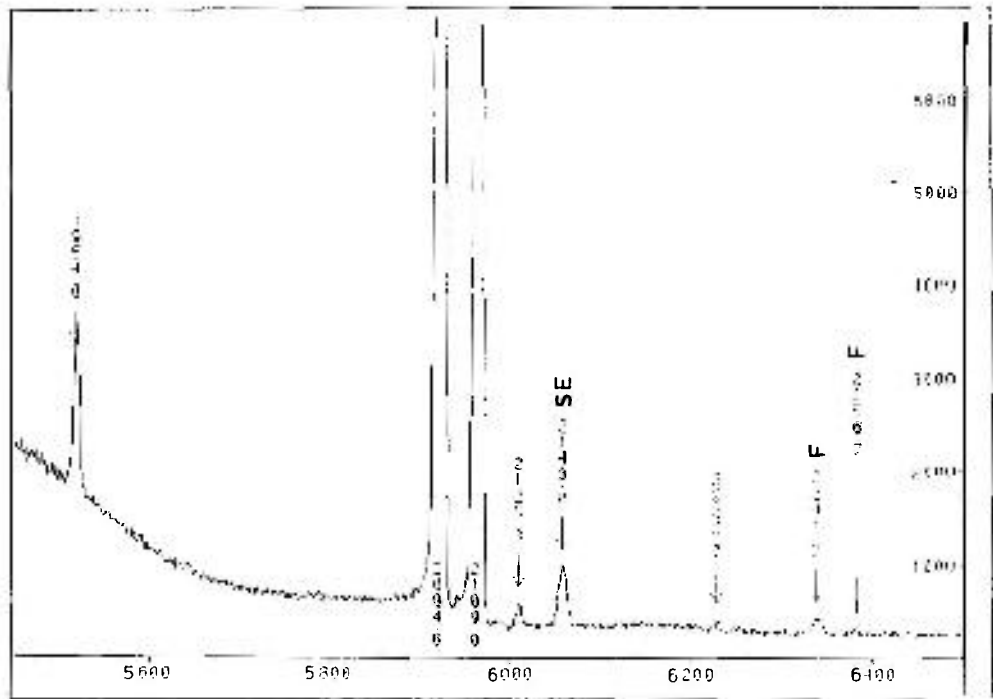


Figura I.3.n: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 1930 a 2300 keV

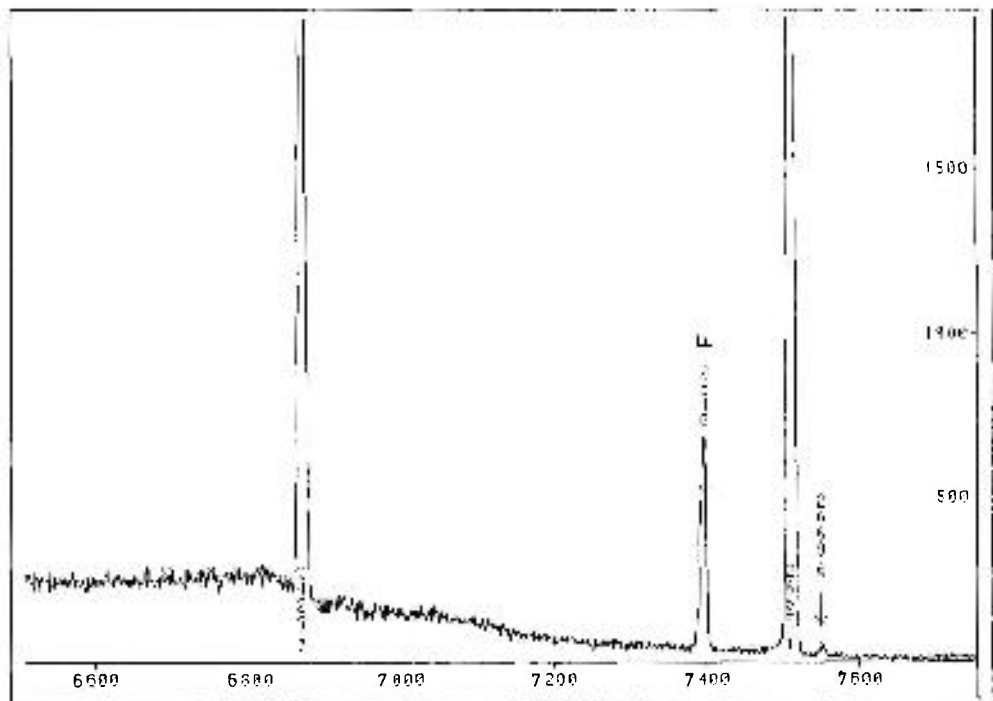


Figura I.3.o: Espectro direto de raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , do detetor de HPGe (espectro-soma) de 2300 a 2700 keV

I.3.2. Calibração

Foram efetuadas calibrações em energia e eficiência relativa do detetor de HPGe, que compõem o espectrômetro- γ , para obtenção das energias e intensidades das transições- γ pertencentes ao decaimento β^- do núcleo de ^{76}As .

a. Curva de calibração em energia

Para obtenção da curva de calibração em energia utilizou-se o método da auto-calibração. Este método consiste na tomada de espectros diretos da fonte em estudo juntamente com as fontes padrão, cujas energias são bem estabelecidas [15]. Desta forma o espectro de calibração resultante, composto por transições- γ associadas ao decaimento do ^{152}Eu , ^{56}Co (fontes padrão) e ^{76}As (fonte em estudo), é analisado conforme o procedimento descrito a seguir.

Primeiramente, utilizando-se os valores de energia das transições- γ das fontes padrão [15] e as suas respectivas posições, fornecidas pelo programa IDF [16], obtém-se uma primeira curva de calibração com auxílio do programa AJUSTE [17]. A partir desta calibração preliminar e com auxílio do programa INTERCOV [18] (descrito no apêndice), determina-se com precisão as energias das transições- γ de maior intensidade do núcleo de ^{76}As . Numa segunda etapa, usando esses valores de energia, e, considerando a posição destas transições no espectro-Soma (definido em I.3.1) obtidos pelo programa IDF [16], gera-se a curva de auto-calibração com auxílio do programa AJUCOV [19] (descrito no apêndice). Este programa fornece a curva de auto-calibração do espectro-Soma do ^{76}As levando em consideração as covariâncias entre as energias.

A auto-calibração do espectro-Soma que corresponde a 260 hs de estatística acumulada, tem a finalidade de reconhecimento e determinação das energias que compõem o presente estudo do decaimento β^- do ^{76}As . Detalhes referentes a este cálculo serão abordados no item I.4.

b. Curva de eficiência do detetor

A curva de eficiência relativa do detetor de HPGe (50 cm^3), na geometria de detecção, foi obtida à partir de ^{152}Eu e ^{56}Co , que possuem valores das intensidades de suas transições- γ bem determinadas, obtidas na compilação da International Atomic Energy Agency - IAEA [15].

A curva de eficiência relativa resultou da soma de duas exponenciais, uma para o ^{152}Eu e outra para o ^{56}Co , abrangendo a região de energia entre 200 keV e 3000

keV.

I.3.3. Medida de Espectroscopia Simples

As medidas de espectroscopia simples foram realizadas no espectrômetro- γ descrito em I.2.1. Foram tomados 260 espectros diretos medidos durante intervalos regulares de uma hora cada. O espectro de fundo do laboratório foi medido nas mesmas condições para a devida correção. Devido ao invólucro de sílica da fonte ser também submetido a irradiação, foi feita uma análise da sílica irradiada para a identificação de possíveis contaminantes.

Todas as medidas foram realizadas em 8192 canais.

I.4. Análise de Dados

A análise dos dados baseia-se na determinação da energia e intensidade das transições γ pertencentes ao decaimento β^- do ^{76}As . Para tanto realiza-se primeiramente uma verificação quanto à posição dos picos ao longo dos 8192 canais, em cada um dos 260 espectros diretos obtidos, pois em medidas tão longas pode ocorrer instabilidade no arranjo eletrônico alterando a posição dos picos. Na etapa seguinte efetua-se a soma dos 260 espectros diretos, com auxílio do programa SOMA, resultando num único espectro denominado espectro-Soma. Da mesma forma, procede-se com os espectros de radiação de fundo do laboratório (fundo + sílica).

O cálculo da energia e intensidade será feito através do espectro-Soma, pois a estatística acumulada de 260 hs permitirá inclusive a identificação de transições γ muito fracas.

a. Cálculo da energia

Como já foi descrito no item I.3.2.a, foi obtida uma curva de calibração em energia com a finalidade de associar a posição dos fotopicos do espectro-Soma ao longo dos 8192 canais, com suas respectivas energias.

Com esta curva e com as posições dos raios- γ , obtidas com auxílio do programa IDF [16], foram calculadas as energias de todos os raios- γ pertencentes ao espectro-Soma, bem como suas covariâncias. Usou-se para este fim o programa INTERCOV [18], descrito no apêndice.

b. Cálculo da Intensidade

As intensidades relativas das transições γ foram obtidas através da equação

$$I_{rel} = \frac{A}{\epsilon_{rel}} \cdot \frac{\epsilon_{rel}(559 \text{ keV})}{A(559 \text{ keV})} \cdot 100$$

onde

I_{rel} : intensidade relativa do fotopico;

A : área do fotopico, obtida com auxílio do programa IDF [16]

ϵ_{rel} : eficiência relativa do fotopico, obtida à partir da curva de eficiência do detector.

Os valores das intensidades relativas das transições- γ e seus erros foram calculados com auxílio do programa INTEN [20], descrito no apêndice, onde tomou-se como base a transição de 559 keV, que é a mais intensa do espectro, como 100 %.

I.5. Resultados

O espectro direto dos raios- γ do decaimento β^- do ^{76}As , observados no detector de HPGe, por 260 horas e denominado espectro-Soma, é apresentado na figura I.3.

As energias das transições γ e as respectivas intensidades, obtidas conforme descrito em I.4, são apresentadas na tabela I.1 juntamente com os dados mais recentes da literatura [10, 11, 12], para comparação.

Tabela I.1: Energias e Intensidades relativas dos raios- γ do ^{76}Se (E = Energia, I = Intensidades)

Nagahara[10]		Kaur e outros [11]		Peikum e outros [12]		Presente trabalho	
E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)
302(1)	0,019(2)	302,0(3)	0,024(3)	302,2(2)	0,020(4)	301,965(19)	0,0214(9)
-	-	-	-	-	-	358,21(6)	0,0112(4)
403,3(15)	0,051(4)	403,1(3)	0,057(3)	403,2(3)	0,050(4)	403,094(9)	0,591(16)
-	-	-	-	437,3(10)	0,003(1)	438,290(9)	0,0081(3)
457,1(5)	0,085(5)	456,8(3)	0,081(5)	457,0(1)	0,076(3)	456,777(6)	0,0810(18)
466(1)	0,018(5)	467(1)	0,003(2)	463,6(7)	0,002(1)	-	-

Tabela I.1: continuação

Nagahara[10]		Kaur e outros [11]		Peikum e outros [12]		Presente trabalho	
E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)
472,9(5)	0,11(1)	472,80(30)	0,10(1)	472,89(8)	0,113(6)	472,838(6)	0,1127(27)
-	-	484,7(3)	0,013(2)	484,8(2)	0,011(4)	484,686(21)	0,0148(5)
-	-	-	-	-	-	528,15(6)	0,0077(3)
559,10(5)	100	559,07(5)	-	559,13(3)	100	559,0859(22)	100
563,23(8)	2,56(10)	563,15(7)	2,73(13)	563,27(4)	2,72(4)	563,1466(22)	2,71(6)
571,3(2)	0,30(1)	571,53(6)	0,32(1)	571,52(5)	0,28(1)	571,4780(28)	0,311(7)
575,1(2)	0,14(6)	575,32(5)	0,15(1)	575,30(16)	0,146(7)	575,284(33)	0,1491(35)
-	-	-	-	602,5(4)	0,002(1)	-	-
-	-	640(1)	0,008(3)	-	-	-	-
657,03(5)	13,5(54)	657,03(5)	13,63(33)	657,078(12)	13,70(29)	657,0419(28)	14,06(32)
665(1)	0,08(8)	665(1)	-	-	-	-	-
665,31(7)	0,81(7)	665,31(5)	0,92(2)	665,37(4)	0,91(2)	665,3579(29)	0,958(22)
695,0(4)	0,021(3)	695,2(1)	0,020(2)	695,3(3)	0,019(3)	695,166(18)	0,0193(8)
726,8(4)	0,042(3)	727,0(1)	0,044(1)	726,99(7)	0,036(6)	727,003(9)	0,0431(12)
740,12(8)	0,25(1)	740,11(8)	0,26(1)	740,09(4)	0,265(11)	740,1322(38)	0,267(6)
-	-	754,9(5)	0,001(1)	-	-	-	-
771,76(8)	0,25(1)	771,77(8)	0,26(1)	771,68(5)	0,251(7)	771,7619(39)	0,263(6)
-	-	776,5(5)	0,002(1)	-	-	-	-
-	-	797,0(4)	0,004(1)	-	-	-	-
809,8(4)	0,04(1)	809,8(1)	0,041(2)	809,71(14)	0,036(2)	809,853(11)	0,0410(9)
-	-	852,8(10)	0,005(3)	-	-	-	-
-	-	857,0(8)	0,002(2)	-	-	-	-
-	-	863,9(4)	0,025(2)	-	-	863,884(21)	0,0224(8)
867,63(8)	0,28(1)	867,66(8)	0,29(1)	867,64(7)	0,28(2)	867,701(4)	0,293(6)
881,96(15)	0,13(1)	882,20(8)	0,14(1)	882,14(4)	0,121(5)	882,212(6)	0,1297(26)
-	-	907,5(4)	0,004(3)	-	-	-	-
-	-	-	-	921,6(4)	0,002(1)	-	-
955(2)	0,001(1)	954,6(5)	0,007(2)	-	-	954,70(17)	0,0021(3)
-	-	957,6(5)	0,004(2)	-	-	-	-
980,0(2)	0,092(4)	980,9(1)	0,093(3)	980,87(16)	0,088(6)	980,921(8)	0,0895(18)
1029(2)	0,003(1)	1031(1)	0,002(1)	-	-	-	-
-	-	1060,6(3)	0,004(1)	-	-	-	-
1099(2)	0,007(2)	1098,2(2)	0,009(1)	1098,2(10)	0,007(3)	1098,323(7)	0,0071(5)

Tabela I.1: continuação

Nagahara[10]		Kaur e outros [11]		Peikum e outros [12]		Presente trabalho	
E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)	E (keV)	I (%)
1129,87(7)	0,25(3)	1129,82(8)	0,30(1)	1129,92(2)	0,289(7)	1129,909(5)	0,290(4)
1130(1)	0,04(2)	1130(1)	-	-	-	-	-
1212,72(18)	2,90(12)	1212,94(8)	3,31(6)	1212,96(3)	3,15(6)	1212,9860(33)	3,119(36)
1216,02(7)	7,57(3)	1216,07(8)	7,74(13)	1216,160(11)	7,53(10)	1216,1997(32)	7,48(9)
1228,52(8)	2,66(10)	1228,50(8)	2,67(4)	1228,556(10)	2,60(4)	1228,5895(34)	2,604(30)
-	-	-	-	-	-	1232,399(19)	0,0201(5)
1439,13(8)	0,59(2)	1439,12(8)	0,63(1)	1439,09(3)	0,60(2)	1439,214(6)	0,593(5)
1453,60(8)	0,23(1)	1453,67(8)	0,250(4)	1453,59(2)	0,23(2)	1453,713(6)	0,2287(19)
1468(2)	0,002(1)	1466,7(10)	0,001(1)	-	-	1466,63(28)	0,0012(3)
1532,9(8)	0,054(3)	1533,0(1)	0,055(1)	1532,61(22)	0,051(3)	1533,071(11)	0,0518(7)
1562(1)	0,005(1)	1564,3(10)	0,003(1)	-	-	-	-
1568,3(8)	0,017(2)	1568,0(1)	0,019(1)	1567,8(4)	0,015(2)	1568,22(7)	0,0150(2)
1610,9(8)	0,014(2)	1611,6(1)	0,016(1)	1610,8(2)	0,028(4)	1611,53(26)	0,0158(6)
1787,67(8)	0,62(3)	1787,66(8)	0,63(2)	1787,66(2)	0,62(2)	1787,623(10)	0,621(4)
1805(2)	0,003(2)	-	-	-	-	-	-
1869,35(10)	0,12(1)	1870,01(10)	0,120(5)	1870,01(5)	0,11(1)	1870,014(24)	0,1148(17)
-	-	1881,3(4)	0,002(1)	-	-	-	-
1955,9(6)	0,019(1)	1955,6(3)	0,023(1)	1955,8(3)	0,019(2)	1955,485(27)	0,0228(6)
2096,33(14)	1,21(5)	2096,31(14)	1,25(1)	2096,28(5)	1,19(2)	2096,159(13)	1,222(9)
2110,99(15)	0,68(3)	2110,81(15)	0,73(2)	2110,75(5)	0,68(2)	2110,662(13)	0,708(5)
2126(2)	0,002(1)	2127,5(3)	0,004(1)	2126,5(5)	0,003(1)	2127,04(12)	0,0027(2)
2428,6(5)	0,065(3)	2429,1(3)	0,074(2)	2428,99(8)	0,068(5)	2429,072(35)	0,0768(11)
2655,2(5)	0,090(4)	2655,4(3)	0,095(2)	2655,21(8)	0,090(3)	2655,43(8)	0,1003(14)
-	-	2669,9(3)	0,0006(1)	2669,2(5)	0,003(1)	2669,68(16)	0,0007(1)

De acordo com a tabela I.1 foram identificados, no total, 45 transições γ sendo que duas delas estão sendo observadas pela primeira vez e cinco estão sendo confirmadas, a saber:

Observadas pela primeira vez: 528,15 keV e 1232,40 keV

Confirmadas: 358,21 keV, 438,290 keV, 863,88 keV, 954,70 keV e 2669,68 keV

Os critérios para atribuí-las a este decaimento foram:

1. não provieram da radiação de fundo ou de contaminantes;
2. não foram produzidas por efeitos secundários de detecção como: simples ou duplo escape, soma ou empilhamento;
3. apresentam valores de energias compatíveis com o esquema de níveis.
4. são observadas no espectro de coincidência.

Com relação às transições de 466 keV, 639 keV, 665 keV, 797 keV, 1030 keV, 1130 keV, 1393 keV, 1805 keV e 1881 keV, anteriormente atribuídas a este decaimento [6], não foram observadas neste estudo.

I.5.1. Transições observadas pela primeira vez

Transição 528 keV: O fotopico de 528 keV foi ajustado pelo programa IDF [16], como mostra a figura I.4. Sua energia foi determinada a partir do espectro-soma de 260 horas de medida (fig 1.3.c) e a confirmação de sua origem foi dada pelo experimento de coincidências $\gamma\gamma$ (seção II.4).

Transição de 1232 keV: A determinação da energia da transição de 1232 keV foi feita a partir do espectro-Soma. A localização deste fotopico, como mostra a figura I.3.j, é próxima ao intenso fotopico de 1228 keV o qual poderia interferir na avaliação de sua área prejudicando o cálculo de sua intensidade, mas devido a resolução do detetor nesta região e a alta estatística, essas linhas puderam ser separadas e o ajuste pode ser observado na figura I.5. A confirmação da origem deste fotopico foi dada pela medida de coincidência da própria janela em energia da transição de 1232 keV (figura III.8). Além disso, foi observada sua presença na janela em energia da transição 863 keV (figura III.14)

I.5.2. Transições confirmadas

As figuras I.6, I.7, I.8, I.9, e I.10 mostram os ajuste dos fotopicos confirmados nesta medida.

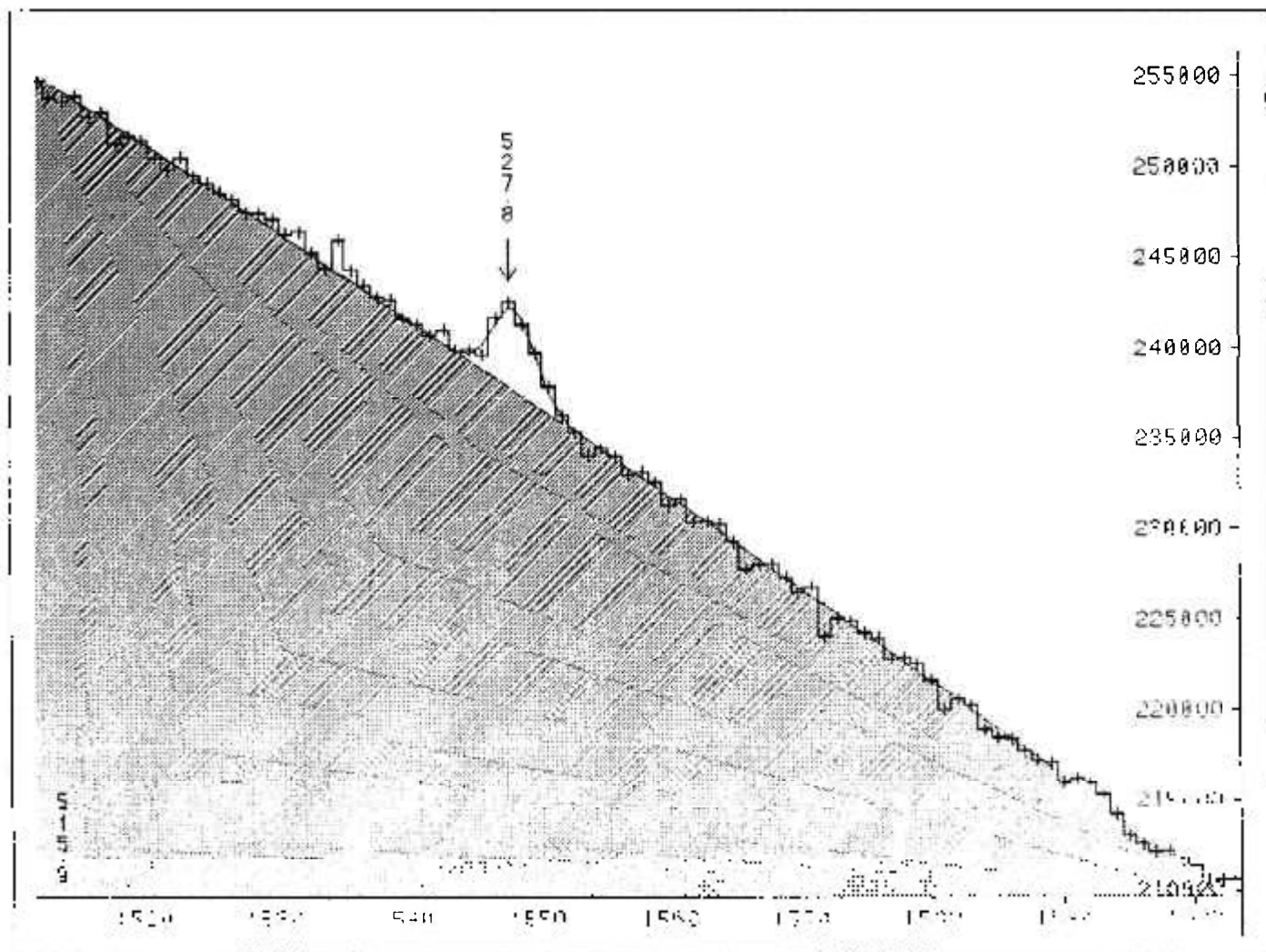


Figura I.4: Ajuste da gaussiana para o fotopeco de 528 keV

#	ENERGIE	POS	FWHM	AIRE
1	527.92	1548.46(14)	3.55(33)	17225(1388)

CHI2 = 55.8/ 61 D. L. 66.3% CODE D ERREUR 0
 BONNE CONVERGENCE FOND PRE-DEFINI

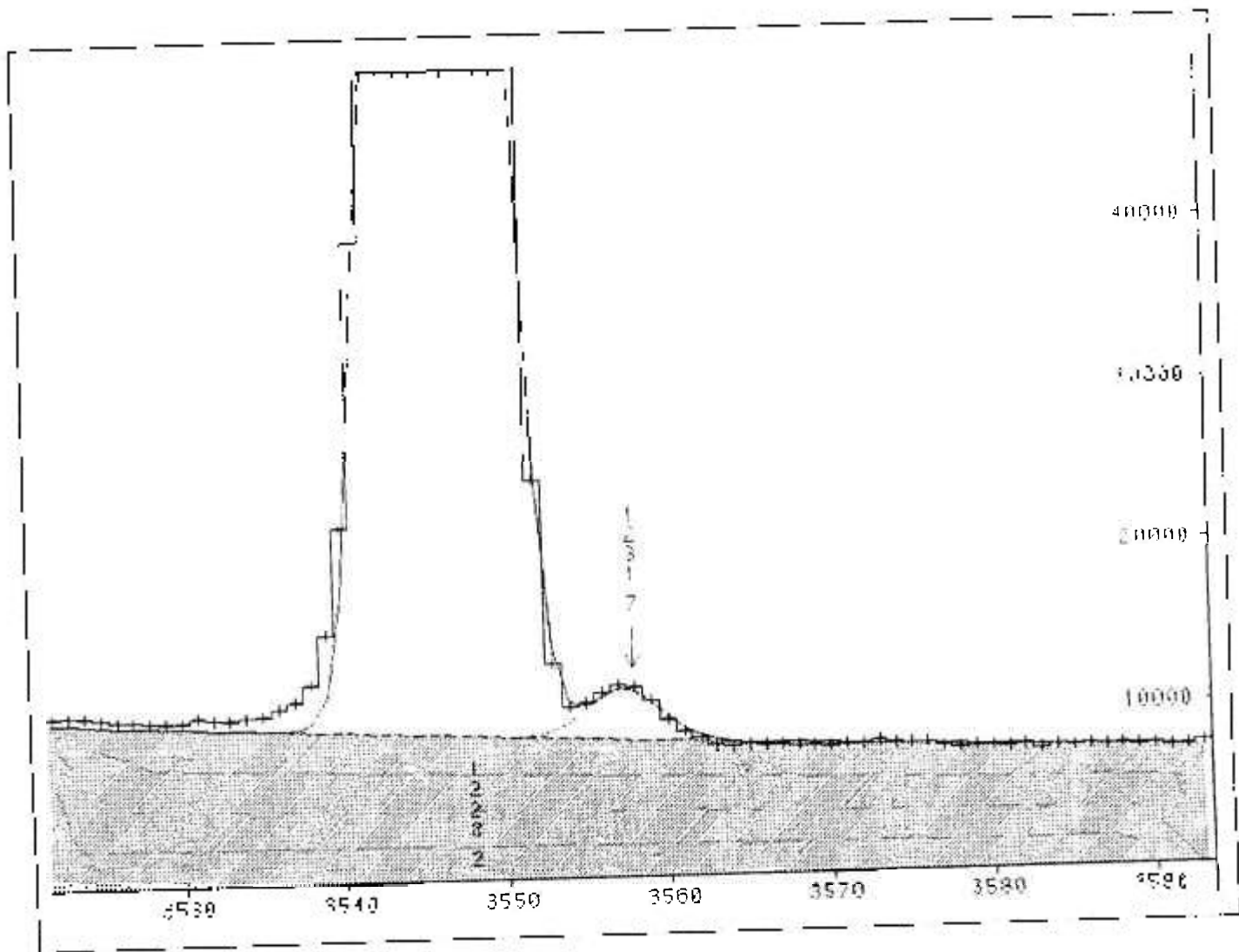


Figura I.5: Ajuste da gaussiana para o fotopico de 1232 keV

#	ENERGIE	POS	FWHM	AIRE
1	1227.58	3546.30(0)	5.26(0)	2470541(1613)
2	1231.45	3557.36(6)	5.26(0)	16201(298)

CHI2 = 3490.2/ 56 D.L. 0.0% CODE D ERREUR 0
 BONNE CONVERGENCE FOND PRE-DEFINI

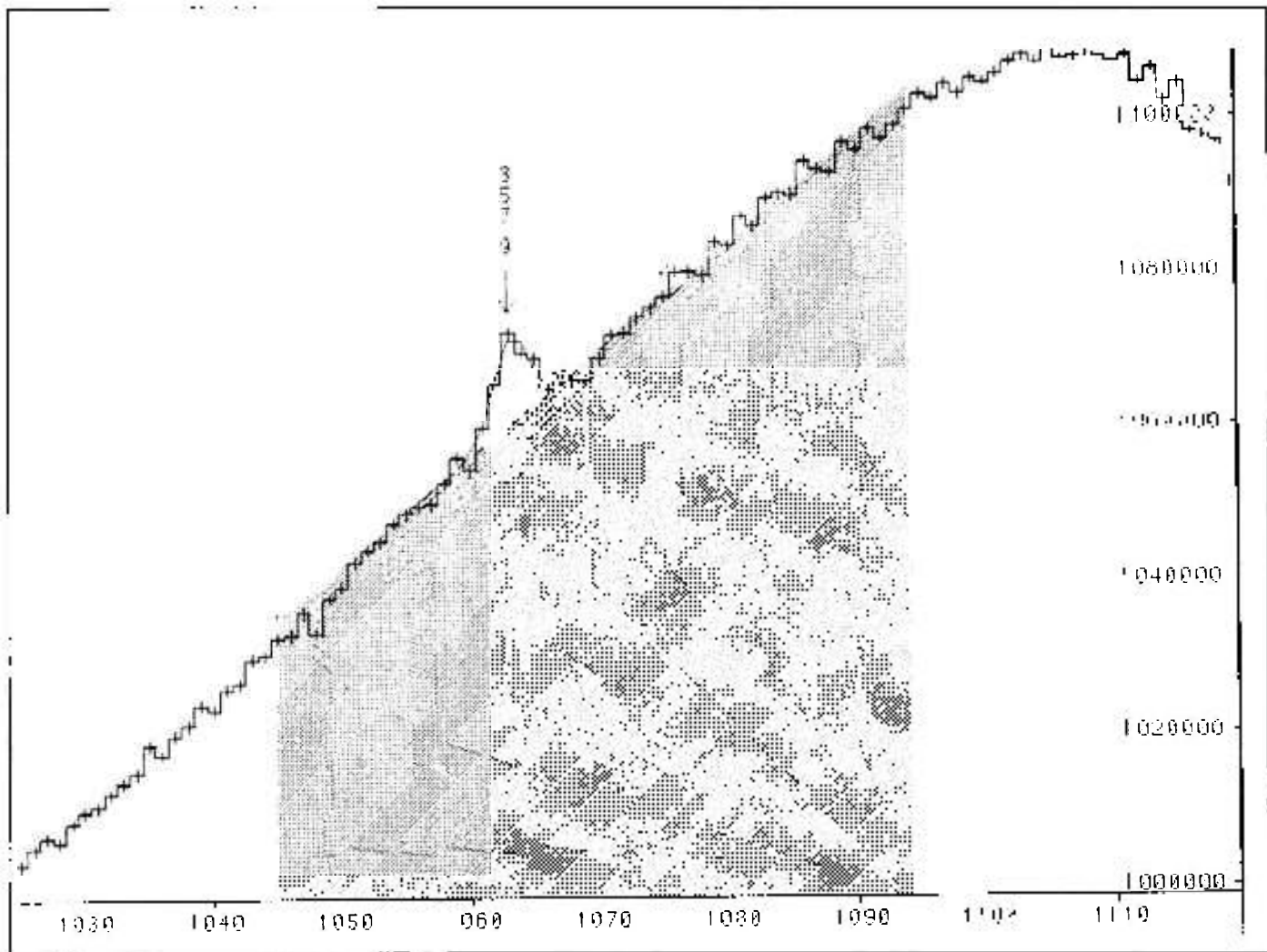


Figura I.6: Ajuste da gaussiana para o fotopico de 358 keV

#	ENERGIE	POS	FWHM	AIRE
1	357.98	1063.21(11)	3.10(26)	37769(2734)

CHI2 = 28.1/ 19 D. L. 8.1% CODE D ERREUR 0
 BONNE CONVERGENCE FOND PRE-DEFINI

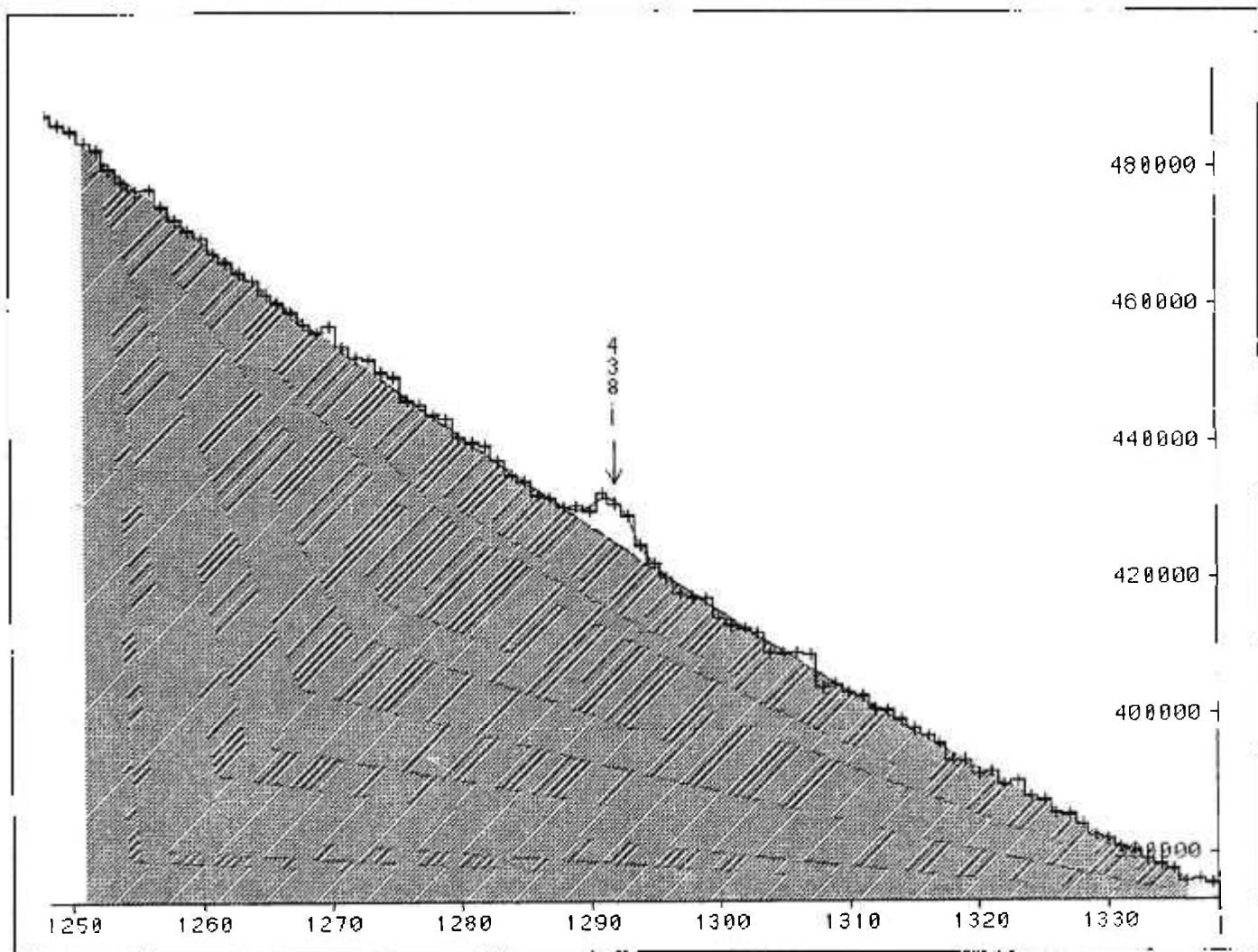


Figura I.7: Ajuste da gaussiana para o fotopico de 438 keV

#	ENERGIE	POS	FWHM	AIRE
1	438.07	1291.90(13)	3.40(31)	22715(1814)
CHI2 =		81.3/ 62 D.L.	5.1%	CODE D ERREUR 0
BONNE CONVERGENCE				FOND PRE-DEFINI

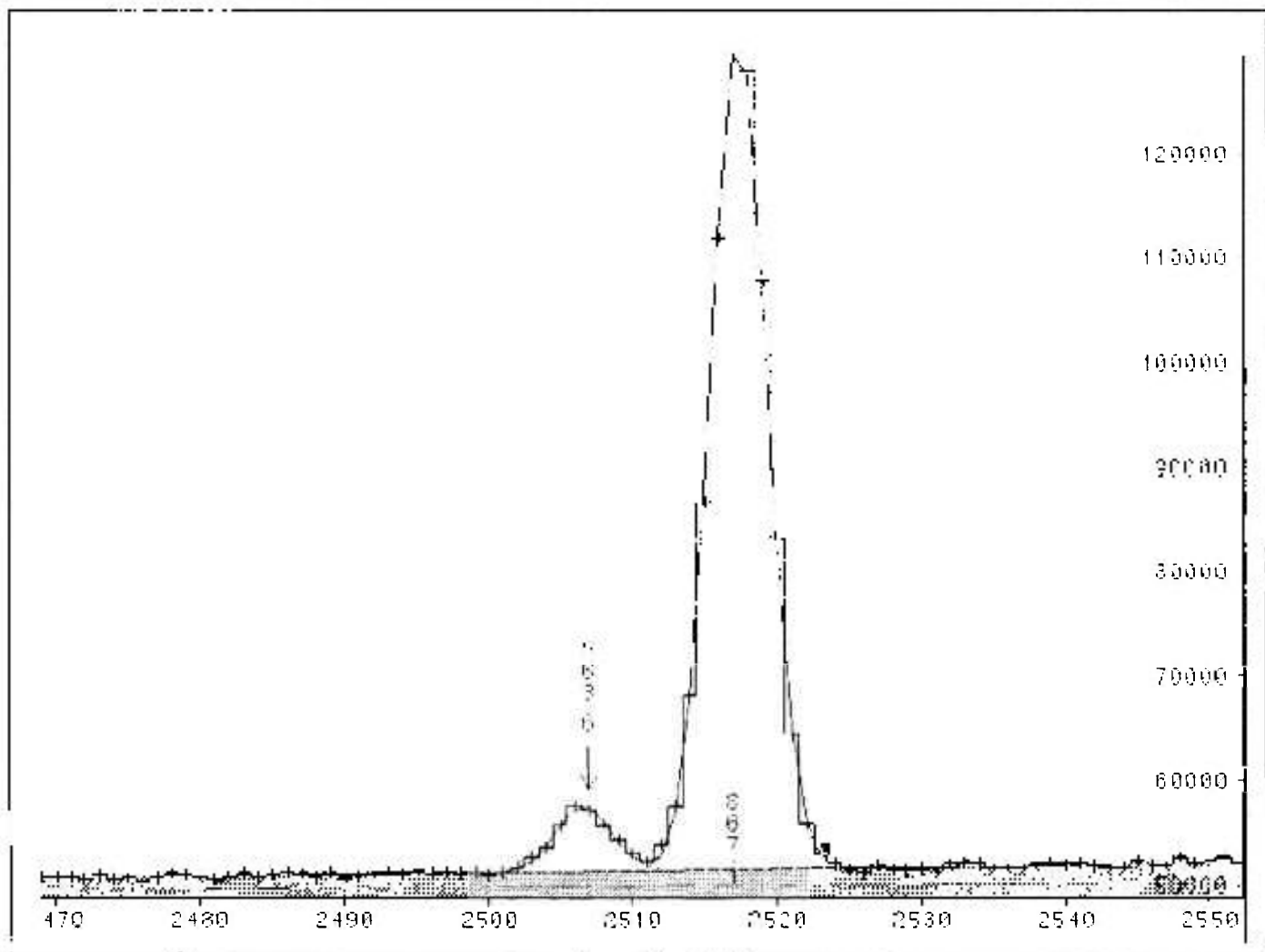


Figura I.8: Ajuste da gaussiana para o fotopico de 863 keV

#	ENERGIE	POS	FWHM	AIRE
1	863.46	2506.58(6)	4.48(0)	29453(618)
2	867.25	2517.40(1)	4.48(1)	380497(956)

CHI2 = 106.2/ 70 D. L. 0.3% CODE D ERREUR 0
 BONNE CONVERGENCE FOND PRE-DEFINI

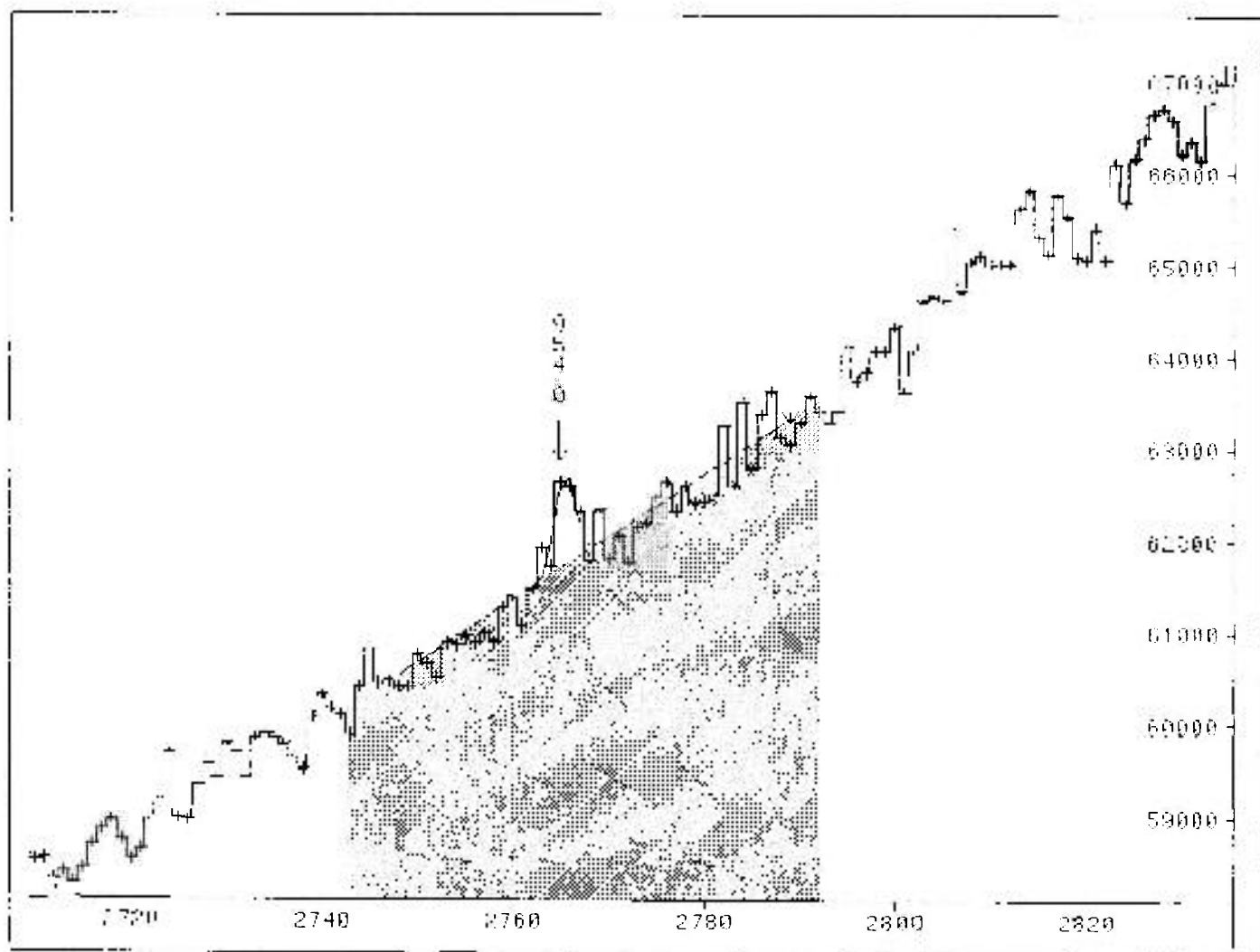


Figura I.9: Ajuste da gaussiana para o fotopico de 954 keV

#	ENERGIE	POS	FWHM	AIRE
1	954.18	2765.60(28)	2.63(65)	2853(608)

CHI2 = 47.8/ 51 D.L. 60.2% CODE D'ERREUR 0
 BONNE CONVERGENCE FOND PRE-DEFINI

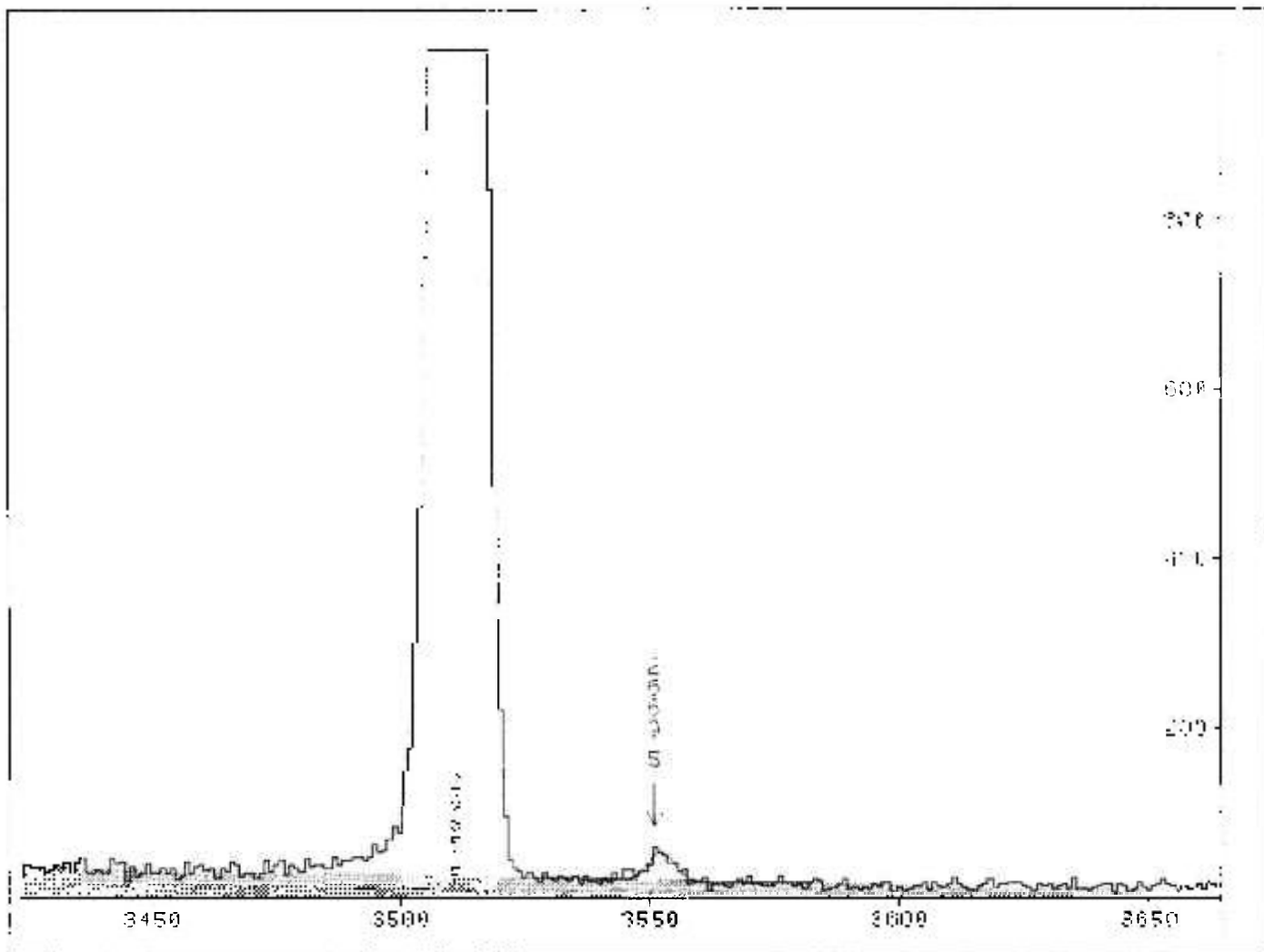


Figura I.10: Ajuste da gaussiana para o fotopico de 2669 keV

#	ENERGIE	POS	FWHM	AIRE
1	2669.22	3552.10(32)	6.76(73)	235(23)
CHI2 =		57.7/ 56 D.L.	41.1%	CODE D ERREUR 0
		BONNE CONVERGENCE		FOND PRE-DEFINI

Capítulo II

Medida de Coincidência $\gamma\gamma$

II.1. Introdução

Neste capítulo será descrita a medida de coincidência $\gamma\gamma$ que constitui-se na tomada de espectros biparamétricos dos raios- γ provenientes do decaimento β^- do ^{76}As . Esta medida visa confirmar as transições- γ , observadas na medida de espectroscopia- γ , através das relações de coincidências reais entre as mesmas.

Coincidências reais são as provenientes de um mesmo núcleo e são obtidas pelo cálculo das coincidências totais menos as acidentais. Coincidências acidentais são as provenientes de núcleos distintos, isto é, uma transição- γ de um núcleo é detetada por um dos detetores e, simultaneamente, uma transição- γ de outro núcleo é detetada no outro detetor. Coincidências totais são observadas pela superposição de reais e acidentais.

A determinação experimental das relações de coincidências reais permitem o correto posicionamento das transições- γ no esquema de níveis do ^{76}Se , esclarecendo melhor sua estrutura.

II.2. Instrumentação

Nesta etapa será descrita a instrumentação utilizada na tomada dos espectros biparamétricos, compreendida por um espectrômetro $\gamma\gamma$ associado ao sistema eletrônico e de aquisição de dados.

II.2.1. Espectrômetro $\gamma\gamma$

O espectrômetro consiste em uma base com um eixo mecânico e duas mesas, uma móvel e outra fixa, que suportam os dois detetores utilizados. A mesa móvel,

que pode ocupar qualquer posição entre 90° e 180° , gira em torno de um eixo de rotação, posicionado exatamente no centro geométrico do arranjo, onde é posicionada a fonte.

Foram utilizados para medidas de coincidências $\gamma\gamma$, dois detetores de estado sólido: um HPGe de 89 cm^3 e um Ge(Li) de 60 cm^3 . A resolução em energia para transição de 1332 keV do decaimento do ^{60}Co é de $1,98 \text{ keV}$ para o detetor de HPGe e de $2,1 \text{ keV}$ para o detetor de Ge(Li).

Os detetores foram montados de tal forma que os eixos de simetria dos cristais formavam um ângulo de 130° , sendo a fonte posicionada na intersecção dos eixos a 6 cm dos detetores.

Colimadores cônicos de chumbo envolviam os detetores com a finalidade de impedir que fótons espalhados em um detetor fossem coletados no outro, provocando um evento de coincidência espúrio. Este arranjo pode ser visualizado na fig. II.1.

II.2.2. Eletrônica de Coincidência

A eletrônica de aquisição de coincidência utilizada é do tipo rápido-lento. A parte rápida deste sistema é responsável pela formação e amplificação dos sinais dos detetores, com boa caracterização em tempo. É a parte rápida do sistema que permite selecionar, através da coincidência temporal, os raios- γ emitidos por um mesmo núcleo. A parte lenta, por sua vez, processa os sinais tornando-os lineares e de maior duração, para análise de sua altura, que contém a informação de energia. O diagrama de blocos deste sistema, com combinação de detetores de HPGe e Ge(Li) descritos em II.2.1, é apresentado na figura II.2.

Os detetores são alimentados por fontes de alta tensão (4800 V e 4000 V). De cada detetor são extraídos dois sinais, um para a parte rápida e outro para a parte lenta da eletrônica. Na parte lenta os pulsos produzidos por cada detetor, devido a incidência da radiação- γ , após serem pré-amplificados entram nos amplificadores lineares (ORTEC 572). O amplificador de cada detetor processa os sinais recebidos e transmite três sinais: unipolar, bipolar e empilhamento. Os pulsos unipolares de cada amplificador, lineares com altura proporcional à energia da radiação - γ incidente, são transmitidos à conversores analógico-digitais ORTEC 800 (CAD) para a conversão do pulso proporcional à energia. Os pulsos bipolares são transmitidos a analisadores monocanal ORTEC 551 (TSCA) que têm a função de gerar um pulso lógico indicando a presença de sinal no respectivo amplificador. Esses sinais seguem para duas unidades de coincidências ORTEC 418A,

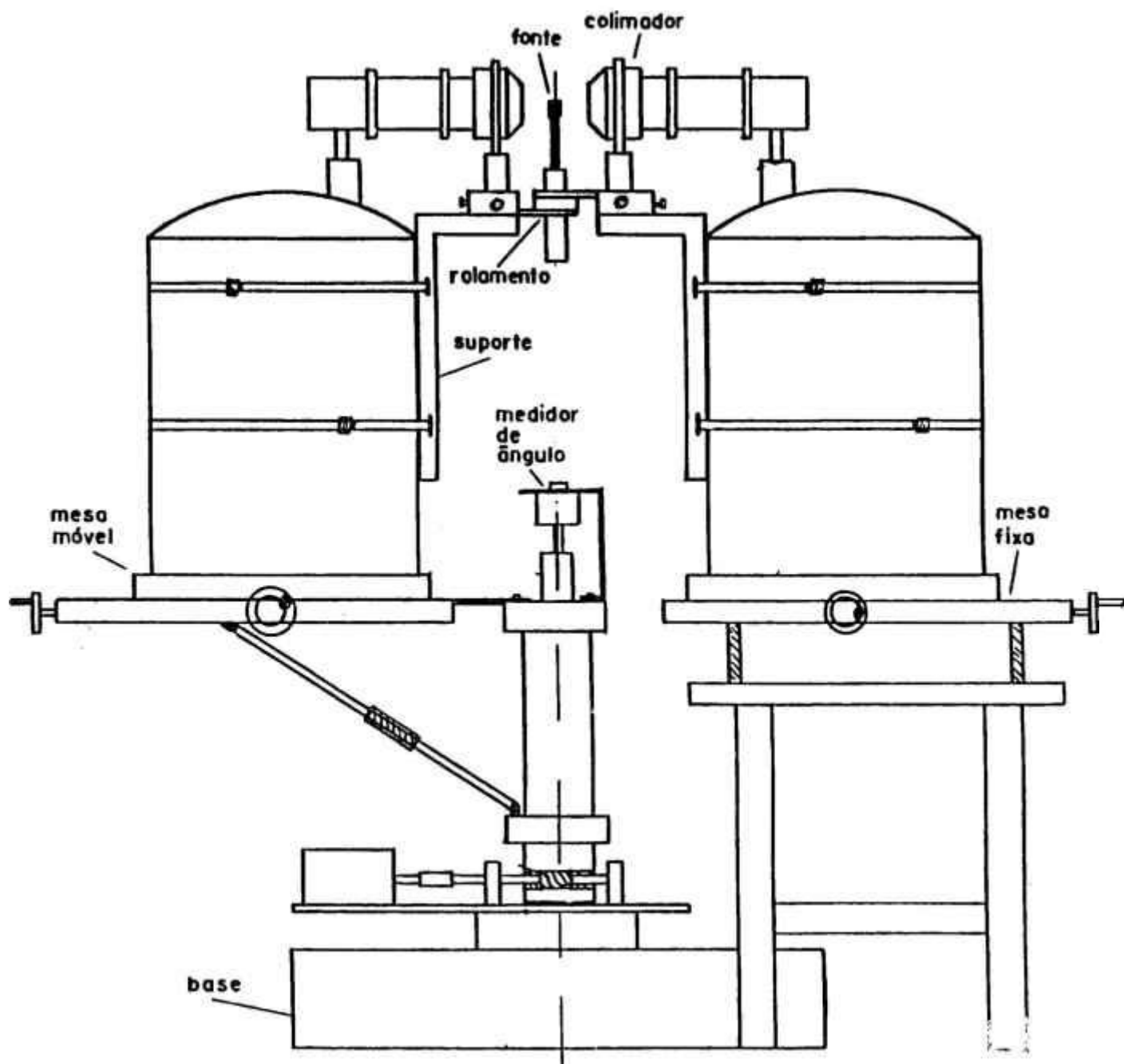


Figura II.1: Esquema do espectrômetro $\gamma\gamma$.

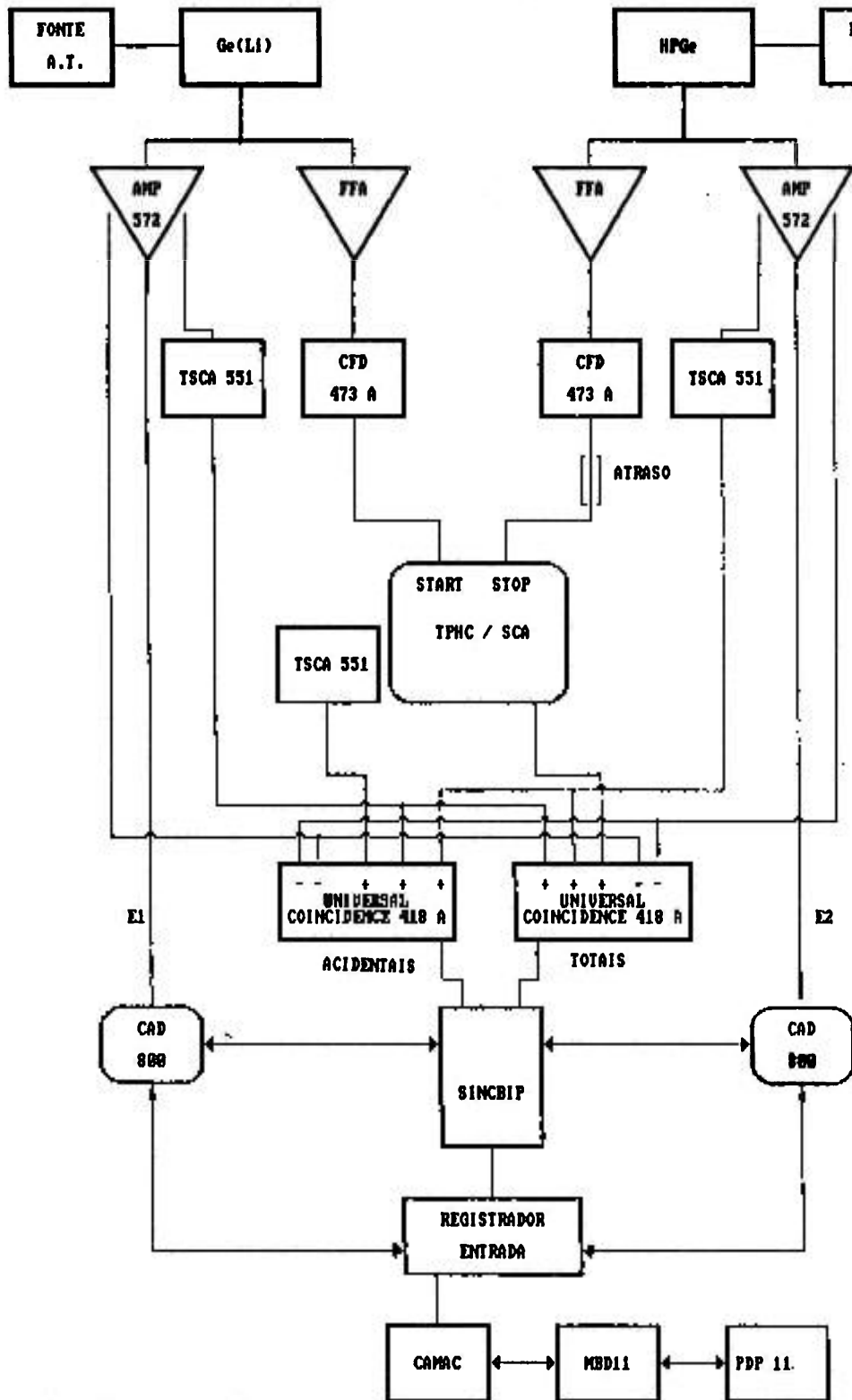


Figura II.2: Diagrama de blocos do arranjo eletrônico das medidas de coincidência

$\gamma\gamma$

uma responsável pela aquisição de eventos totais e outra pelos eventos acidentais. O sinal de empilhamento (pulso lógico) indica a sobreposição de sinais devido à intensidade elevada da taxa de incidência dos raios- γ nos respectivos detetores. Os sinais de empilhamento, de cada amplificador, são enviados às unidades de coincidências onde são analisados em anti-coincidência com os demais sinais.

Na parte rápida da eletrônica os pulsos provenientes de cada pré-amplificador (correspondente à segunda saída) são enviados a amplificadores rápidos ORTEC 579 (FFA) produzindo em cada saída um pulso negativo proporcional à energia e bem marcado em tempo. Associados aos amplificadores rápidos estão dois discriminadores de fração constante ORTEC 473A (CFD), que produzem sinais lógicos negativos rápidos, que são enviados a um conversor de tempo em altura de pulso ORTEC 467 (TPHC). O sinal de saída de um dos discriminadores (start) dá partida à contagem em tempo no TPHC e o sinal correspondente a outra saída do discriminador (stop), após ser convenientemente atrasado, comanda a parada da contagem de tempo.

A saída linear do conversor de tempo em altura de pulso gera um espectro de tempo mostrado na figura II.3. Neste espectro, com auxílio de dois analisadores monocanais, um interno ao conversor de tempo (TPHC/SCA) e outro ORTEC 551 (TSCA) são selecionadas duas regiões de mesma largura em tempo (~ 11 ns), uma sobre o pico de coincidências totais e a segunda devidamente afastada da primeira na região de coincidências acidentais.

O analisador monocanal acoplado ao TPHC seleciona a janela em tempo ao redor do pico (fig. II.3) enviando em sinal lógico positivo a uma unidade de coincidência rápida. Esta janela é denominada de coincidências totais.

O analisador monocanal ORTEC 551 (do TSCA) que recebe o pulso do conversor de tempo seleciona uma segunda janela, de mesma largura porém deslocada do pico (fig. II.3), e que corresponde a janela de acidentais. O pulso lógico positivo resultante é, por sua vez, enviado a uma segunda unidade de coincidência.

A existência ou não da coincidência é feita através dos cinco sinais que chegam em cada uma das unidades de coincidência.

Os sinais das unidades de coincidência, totais e acidentais, são enviados a um circuito sincronizador biparamétrico, SINC-BIP[14], que controla a operação dos conversores analógicos-digitais (CAD) associados a cada detetor. O SINC-BIP[14] está conectado a um sistema CAMAC de aquisição de dados e ao computador PDP 11/84 do Laboratório do Acelerador Linear através de um microprocessador MBD.

Quando existe uma coincidência a ser registrada, este sistema transfere para o

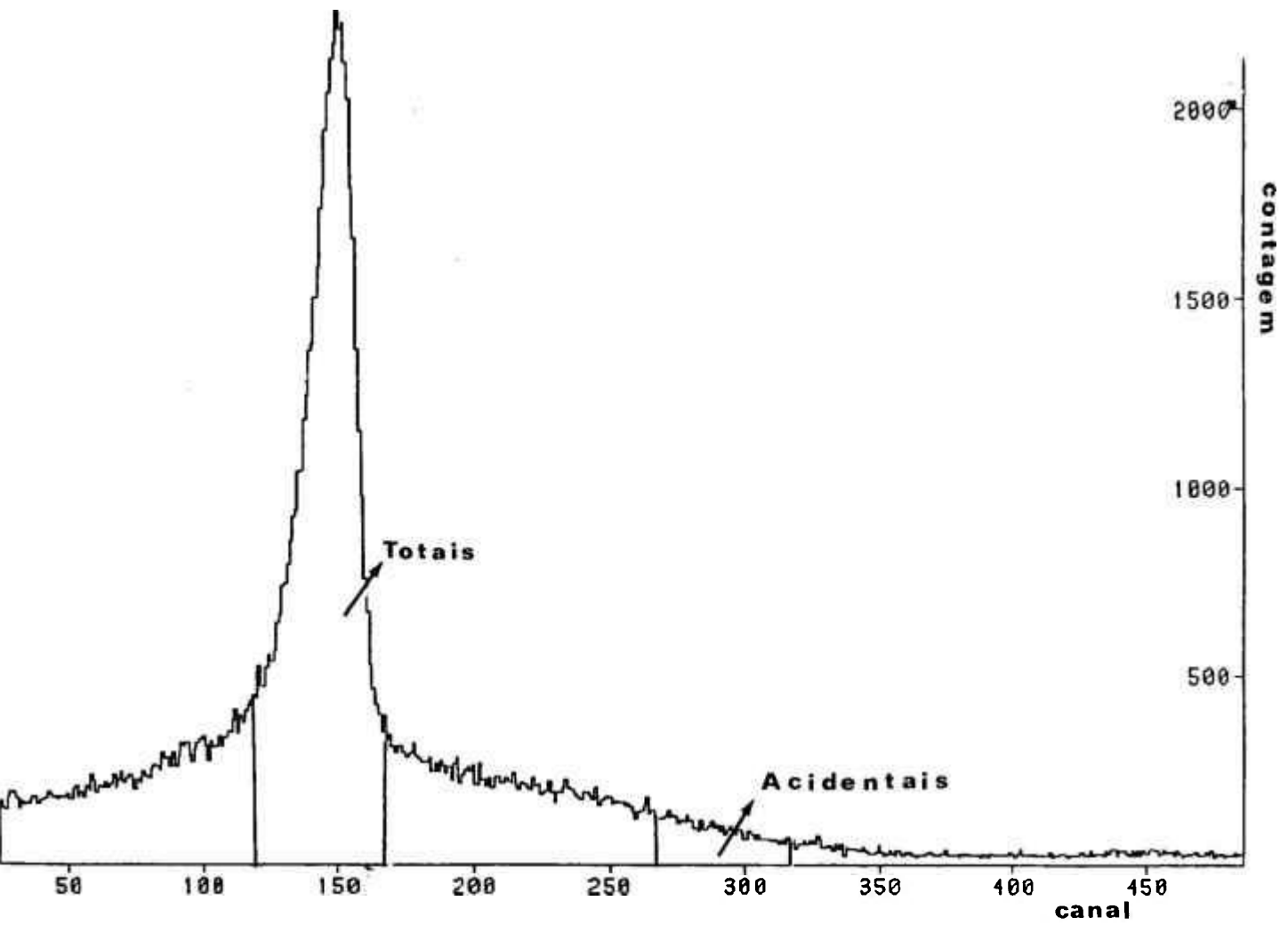


Figura II.3: Resolução em tempo da eletrônica de coincidência $\gamma\gamma$.

computador uma informação composta de 24 bits, sendo 12 de um dos conversores, 11 do outro e 1 bit indica se a coincidência foi total ou acidental.

Programas de aquisição no computador permitem iniciar uma sequência de medidas por tempo pré-determinado. Os dados obtidos são armazenados na memória do computador em modo fila.

II.3. Técnica Experimental

Neste ítem é feita a descrição da técnica utilizada para obtenção das fontes radioativas de ^{76}As , bem como o procedimento da obtenção e análise dos espectros biparamétricos.

II.3.1. Fontes de ^{76}As para Medidas de Coincidências $\gamma\gamma$.

A forma de obtenção das fontes radioativas utilizadas na tomada de dados de coincidências é a mesma utilizada na medida de espectroscopia- γ , descrita em I.3.1. A única diferença é em relação ao tempo de irradiação que passa a ser menor, 1 minuto, pois a fonte nesta medida é posicionada no espectrômetro de coincidências a uma distância de 6 cm dos detetores.

II.3.2. Aquisição em modo biparamétrico

Os eventos de coincidência dizem respeito à aquisição de transições- γ em cascata provenientes do mesmo núcleo, tomadas por dois detetores simultaneamente. Na aquisição biparamétrica estes eventos são tomados em forma de uma tríade XYZ, como mostra a figura II.4, onde X é a transição- γ tomada por um dos detetores, no caso o detector de Ge(Li), Y é a transição- γ tomada pelo outro detector, o HPGe, que está em cascata com X, e, Z é o número de eventos de coincidência registrados durante o tempo de medida.

As medidas de coincidências foram realizadas no espectrômetro descrito em II.2.1. O registro dos dados, em modo biparamétrico [21], foi feito com 4096 canais para o HPGe e 2048 canais para o Ge(Li), abrangendo energias de 200 keV a 2700 keV.

Nestas medidas o registro de coincidências acidentais é feito simultaneamente com as coincidências totais.

As informações de cada detector bem como a informação sobre o carácter da coincidência (total ou acidental) foram acumuladas no computador PDP 11/84

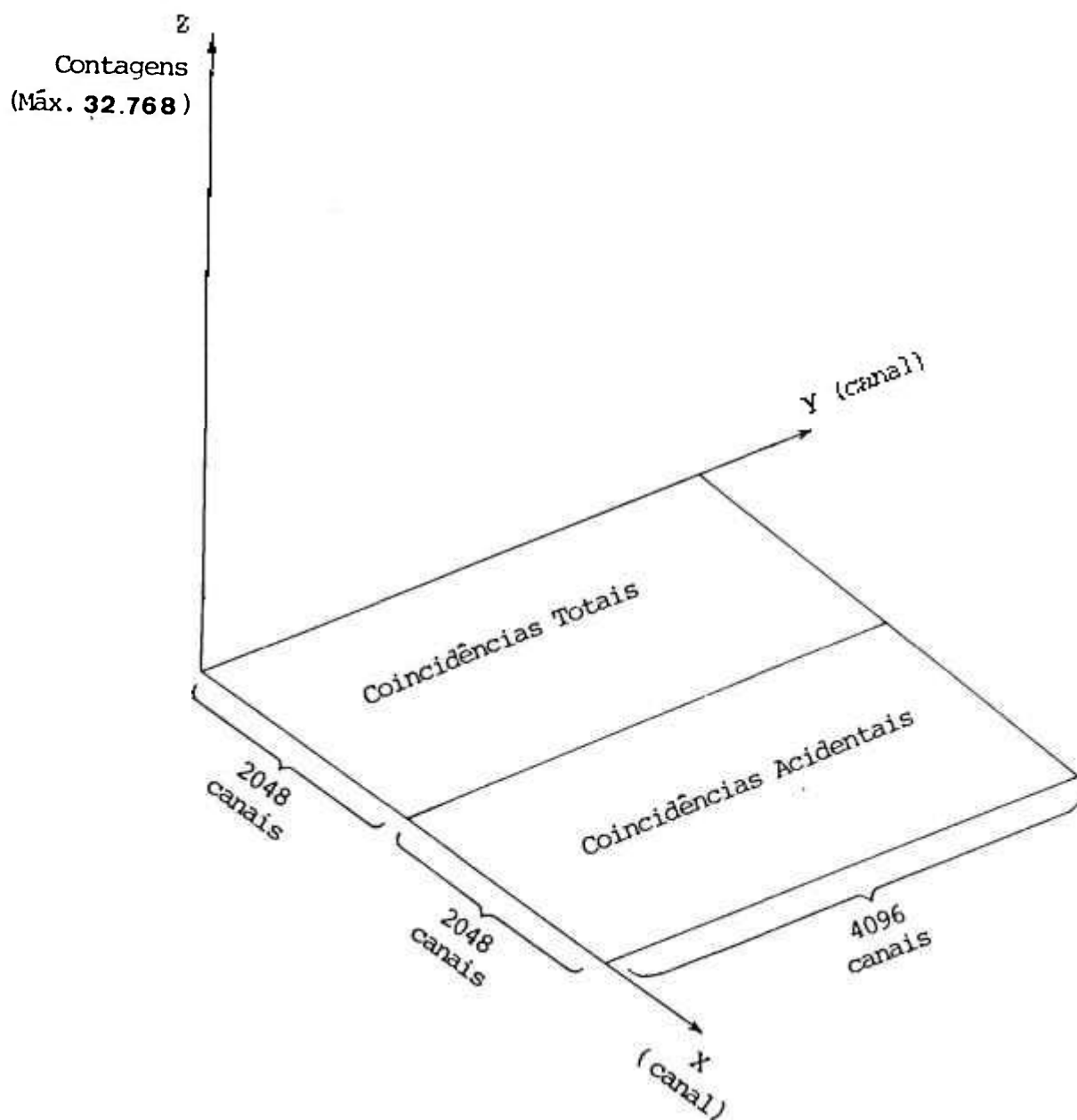


Figura II.4: Matriz de coincidência $(2048 + 2048)$ canais \times 4096 canais \times contagem.

e transferidos para o computador VAX 6330. Em seguida foi efetuada a histogramação dos dados com auxílio do programa MBP [22] que possibilita a montagem da matriz de coincidência XYZ (figura II.4). Foram gerados, desta forma, 24 espectros bidimensionais de 4096 por (2048 + 2048) canais de até 6×10^4 contagens, cada um com 6 horas de contagem totalizando 144 horas de aquisição.

II.4. Análise dos Dados

A análise dos espectros de coincidência foi efetuada com auxílio do programa PANORAMIX [23] que permite discriminar uma transição- γ (fatiar o espectro no eixo Y (fig. II.4)), descontar os eventos acidentais e mostrar o espectro- γ coincidente com a transição- γ discriminada. Desta forma, foram analisados todos os espectros de coincidência gerados pelas 45 transições- γ identificadas nas medidas de espectroscopia simples.

II.5. Resultados

Um sumário dos resultados obtidos na medida de coincidência $\gamma\gamma$ é apresentado na tabela II.1. A primeira coluna diz respeito à transição- γ janelada com o detector de HPGe de 89 cm^3 e a outra coluna diz respeito às respectivas relações de coincidências, observadas com o detector de Ge(Li) de 60 cm^3 . O cálculo da energia dos níveis, foi feito através das relações de soma dos raios- γ observados, com auxílio do programa Esquema, levando-se em consideração a energia de recuo do núcleo. A tabela II.2 apresenta os valores das energias dos níveis obtidos neste trabalho.

Tabela II.1: Relação de coincidências $\gamma\gamma$, obtidas neste trabalho

Energia (keV)	Transições coincidentes (keV)
301,96	438 559 1128 1568 2127
358,214	771 740 980
403,094	559 657 695 771 809 1216 1466
438,29	301 472 559 1216 1129
456,777	771 867 882
472,838	559 657 740 980 1216
484,68	559 657 954 1216 1611

Tabela II.1: continuação

Energia (keV)	Transições coincidentes (keV)
528,15	439 559 1568
559,0859	301 358 403 456 471 484 563 571 657 665 695 727 740 771 809 897 980 1129 1212 1228 1439 1453 1568 1611 1870 1955 2096 2110
563,1466	559 665 727 867 882 1532
571,4780	559 657 727 867 882
575,284	559 657 1216 863
657,0419	472 559 571 575 740 809 867 980 954 1212 1439 1453
665,3579	559 563 867 882
695,166	403 559 771
727,003	559 563 571 657 665 1228 1787
740,1322	358 472 559 657 771 1129 1216
771,7619	358 402 456 559 695 740 867 980
809,853	403 559 657
863,884	559 575 657 1216 1232
867,701	456 571 657 665 1228 1787
882,212	559 563 571 657 665 1216 1787
954,70	Não foi janelado
980,921	472 559 657 1216
1098,33	559 771
1129,909	438 559 740 980
1212,9860	559 657 1216
1216,1997	472 571 575 740 809 1212 1439 1453
1228,5895	559 727 867 882
1232,40	559 863
1439,214	559 657 1216
1453,713	559 657 1216
1466,63	Não foi janelado
1533,071	559 563
1568,22	302 528 559

Tabela II.1: continuação

Energia (keV)	Transições coincidentes (keV)
1611,53	484 559
1787,623	867 882
1870,014	559
1955,485	559
2096,159	559
2110,662	559
2127,04	302
2429,072	Fundamental
2655,43	Fundamental
2669,68	Fundamental

Tabela II.2: Valores das energias dos níveis do decaimento do ^{76}As , obtidos neste trabalho

Energia (keV)
$559,088 \pm 0,002$
$1122,237 \pm 0,003$
$1216,176 \pm 0,038$
$1330,857 \pm 0,005$
$1689,007 \pm 0,005$
$1787,644 \pm 0,020$
$1791,491 \pm 0,017$
$2026,024 \pm 0,017$
$2127,297 \pm 0,014$
$2170,808 \pm 0,144$
$2429,159 \pm 0,012$
$2514,631 \pm 0,025$
$2655,324 \pm 0,016$
$2669,882 \pm 0,033$

O esquema de níveis do ^{76}Se proposto neste trabalho é apresentado na figura II.5, onde os valores de $\log ft$, spin e paridade foram obtidos das referências [6] e [27]. Os 45 raios- γ observados foram colocados no esquema de níveis em 14

estados excitados.

II.5.1. Outros resultados

Considerando o fato de que a técnica de correlação angular $\gamma\gamma(\theta)$ [24, 25, 26] permite a determinação de spins dos níveis e multipolaridade das transições γ , utilizou-se dados experimentais, obtidos por Zamboni e outros [27] para avaliação do spin do nível a 1791 keV, proposto neste trabalho, e para o cálculo da razão de mistura multipolar da transição- γ de 575 keV, o qual se desexcita pelo nível em questão. O resultado experimental da correlação angular da cascata- γ de 575-1216 keV é dada por: $A_{22} = 0,35 \pm 0,03$ e $A_{44} = 0,09 \pm 0,05$.

Partindo-se dos valores obtidos de A_{22} e A_{44} tentou-se definir entre as três possibilidades de sequências de spins: $1-2^+-0^+$, $2-2^+-0^+$ e $3-2^+-0^+$, prováveis pelo decaimento β . A análise tornou favorável a escolha de $I = 2$ para o nível de 1791 keV. A partir deste dado determinou-se a razão de mistura multipolar para transição- γ de 575 keV obtendo-se $\delta(575) = -0,18 \pm 0,03$.

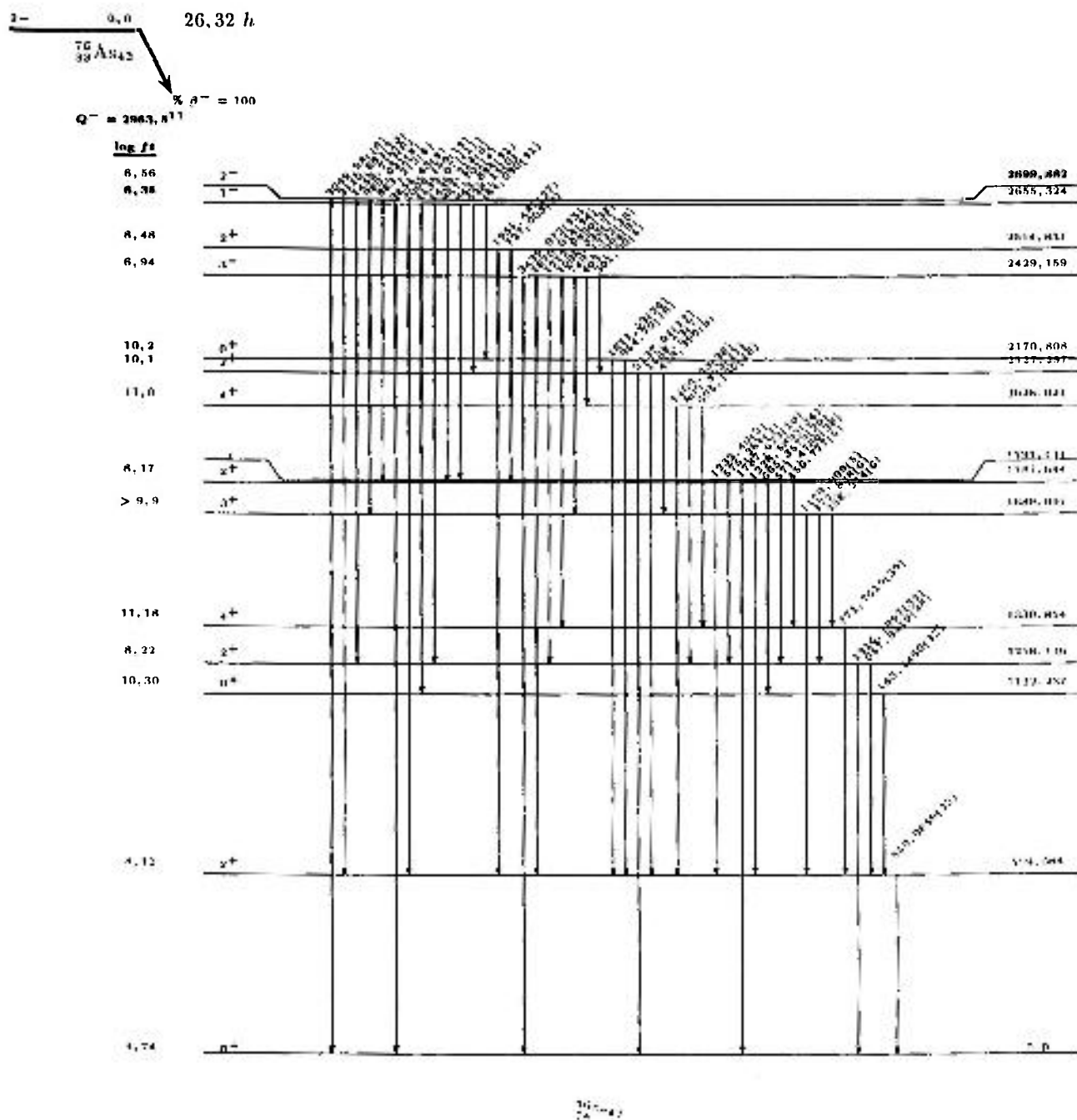


Figura II.5: Esquema de níveis do ${}^{76}\text{Se}$ proposto neste trabalho

Capítulo III

Análise dos Resultados

Neste capítulo serão discutidos conjuntamente os resultados obtidos nas medidas de espectroscopia- γ e coincidência $\gamma\gamma$. O esquema de decaimento β^- do ^{76}As (figura III.1) apresentado na compilação de dados do Nuclear Data Sheet [6] será utilizado nesta análise, pois baseia-se principalmente nos três últimos estudos mais relevantes: Nagahara e outros [10], Kaur e outros [11] e Peikum e outros [12].

Para que se possa fazer esta apreciação será apresentado a seguir, nas tabelas III.1 e III.2, um sumário das condições em que estes trabalhos foram realizados.

A análise de cada transição- γ identificada será feita através de cada um dos níveis pertencentes a este decaimento.

nível a 559 keV Este nível se desexcita por um único raio- γ , portanto de 559 keV, cuja intensidade relativa é considerada como 100 %. Trata-se de um nível bem estabelecido com spin e paridade 2^+ [5]. As relações de coincidências observadas neste trabalho são apresentadas na tabela II.1. Devido ao grande número de informações que esta transição fornece ao esquema de níveis, os resultados relevantes serão discutidos posteriormente, nível a nível.

nível a 1122 keV Este nível é baseado na observação do raio- γ de 563 keV em coincidência com o raio- γ de 559 keV. As relações de coincidências obtidas neste estudo, correspondentes às janelas em energia de 559 keV, 563 keV, 665 keV, 727 keV, 882 keV e 1533 keV, apresentadas na tabela II.1, são condizentes com o esquema de níveis proposto pelo NDS [6].

Com relação à janela de 665 keV (figura III.2) devido ao pico soma de 1122 keV (559 keV + 563 keV), que corresponde à uma transição proibida $0^+ \rightarrow 0^+$, foi observada a coincidência entre 665 keV e 1122 keV.

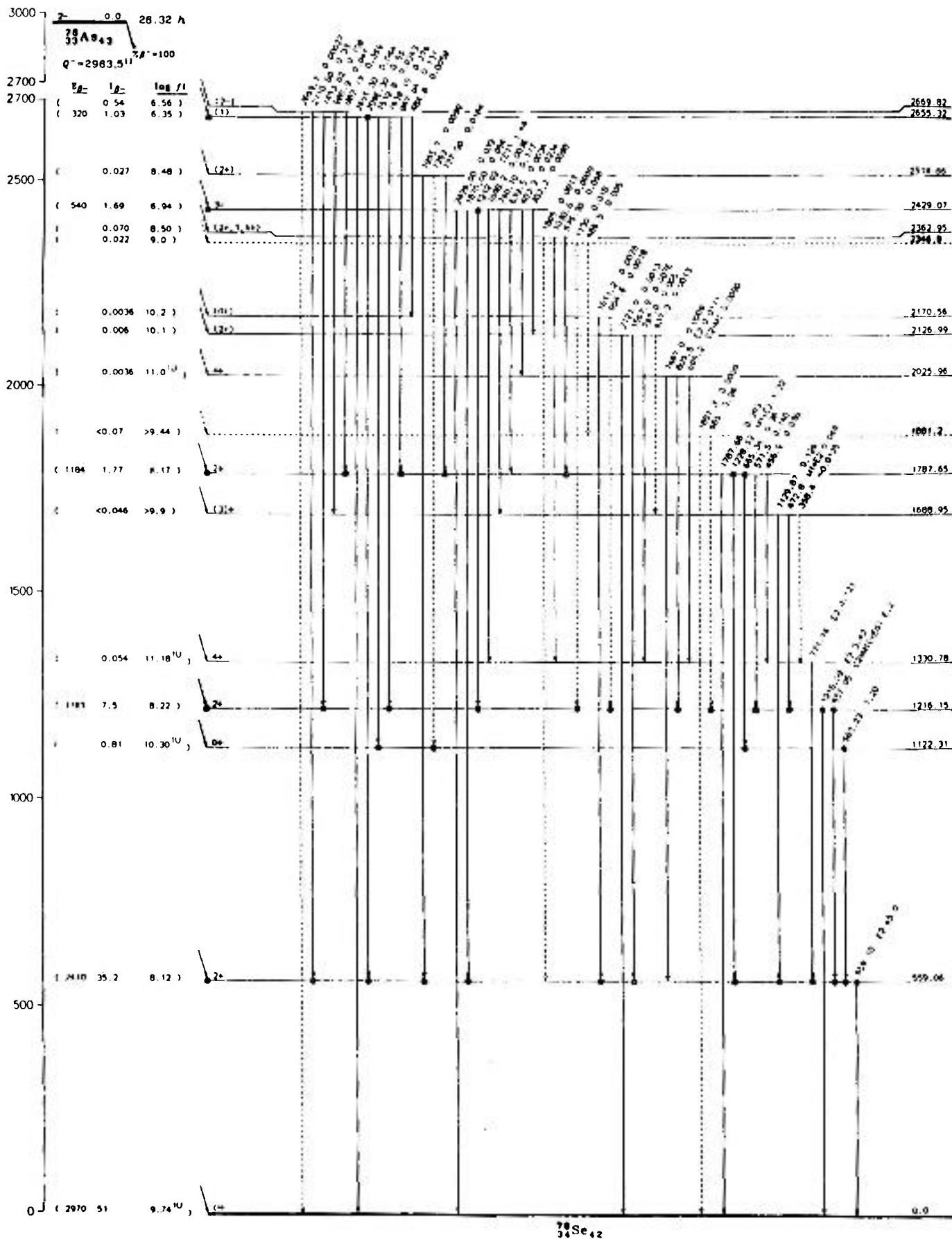


Figura III.1: Esquema do decaimento do ^{76}As compilado pelo NDS[6]

Tabela III.1: Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [10, 11, 12] de espectroscopia- γ foram realizados, juntamente com as condições deste trabalho

	Nagahara[10]	Kaur e outros[11]	Peikum e outros[12]	Presente trabalho
Fonte massa pureza química	As ₂ O ₃ 30 mg ?	As ? (líquida) ? ?	As ₂ O ₃ ? ?	As metálico 10 mg 99,99%
detetor resolução em energia	Ge(Li) de 23 cm ³ 2,2 keV	Ge(Li) de 64 cm ³ 2,1 keV	Ge(Li) de 130 cm ³ 1,96 keV	HPGe de 50 cm ³ 1,82 keV
distância fonte-detetor	50 cm	–	25 cm	25 cm
absorvedor	5 cm de plástico na face do detetor; supressor compton	–	1cm de plástico na face do detetor	armadilha descrita na seção I.2.1
número de canais	4096	4096	8192	8192
tempo de contagem	–	–	–	260 hs
taxa	–	2.000 cps	30.000 cps	5.000 cps

Tabela III.2: Sumário das condições em que os trabalhos anteriores [10, 11, 12] de coincidência $\gamma\gamma$ foram realizados, juntamente com as condições deste trabalho

	Nagahara[10]	Kaur e outros[11]	Peikum e outro[12]	Presente trabalho
detetores, resolução em energia (keV)	a)Ge(Li) (23 cm ³) - NaI(Tl) (3" × 3") 2,2 keV para Ge(Li) b)Ge(Li) (8 cm ³) - NaI(Tl) (3" × 3") 4,2 keV para Ge(Li) c)Ge(Li) (8 cm ³) - Ge(Li) (35 cm ³) 4,2 keV - 6,0 keV	Ge(Li) (64 cm ³) - NaI(Tl) (3" × 3") 2,1 keV para Ge(Li)	Ge(Li) (130 cm ³) - Ge(Li) (100 cm ³) 1,96 keV - 2,1 keV	HPGe (89 cm ³) - Ge(Li) (60 cm ³) 1,98 keV - 2,1 keV
resolução em tempo	50 - 100 ns	6 ns	30 ns	11 ns
número de canais, ângulo entre os detetores e distância fonte-detetor	2048x2048 canais $\theta = 180^\circ$ $d_{fd} = 1$ cm	2048x2048 canais $\theta = ?$ $d_{fd} = ?$	4096x2048 canais $\theta = 180^\circ$ $d_{fd} = ?$	4096x2048 canais $\theta = 130^\circ$ $d_{fd} = 6$ cm
janelas em energia (keV)	2 janelas, com detetor de NaI(Tl), nas regiões de: a)559 + 657 b)1212 + 1216 + 1228	2 janelas, com detetor de NaI(Tl), nas regiões de: a)559 + 563 b)1212 + 1216 + 1228	4 janelas, com detetor Ge(Li) (100 cm ³) a)549 ~ 560 b)649 ~ 664 c)1200 ~ 1222 c)1222 ~ 1234	44 janelas, com detetor de Ge(Li) apresentadas na tabela II.1

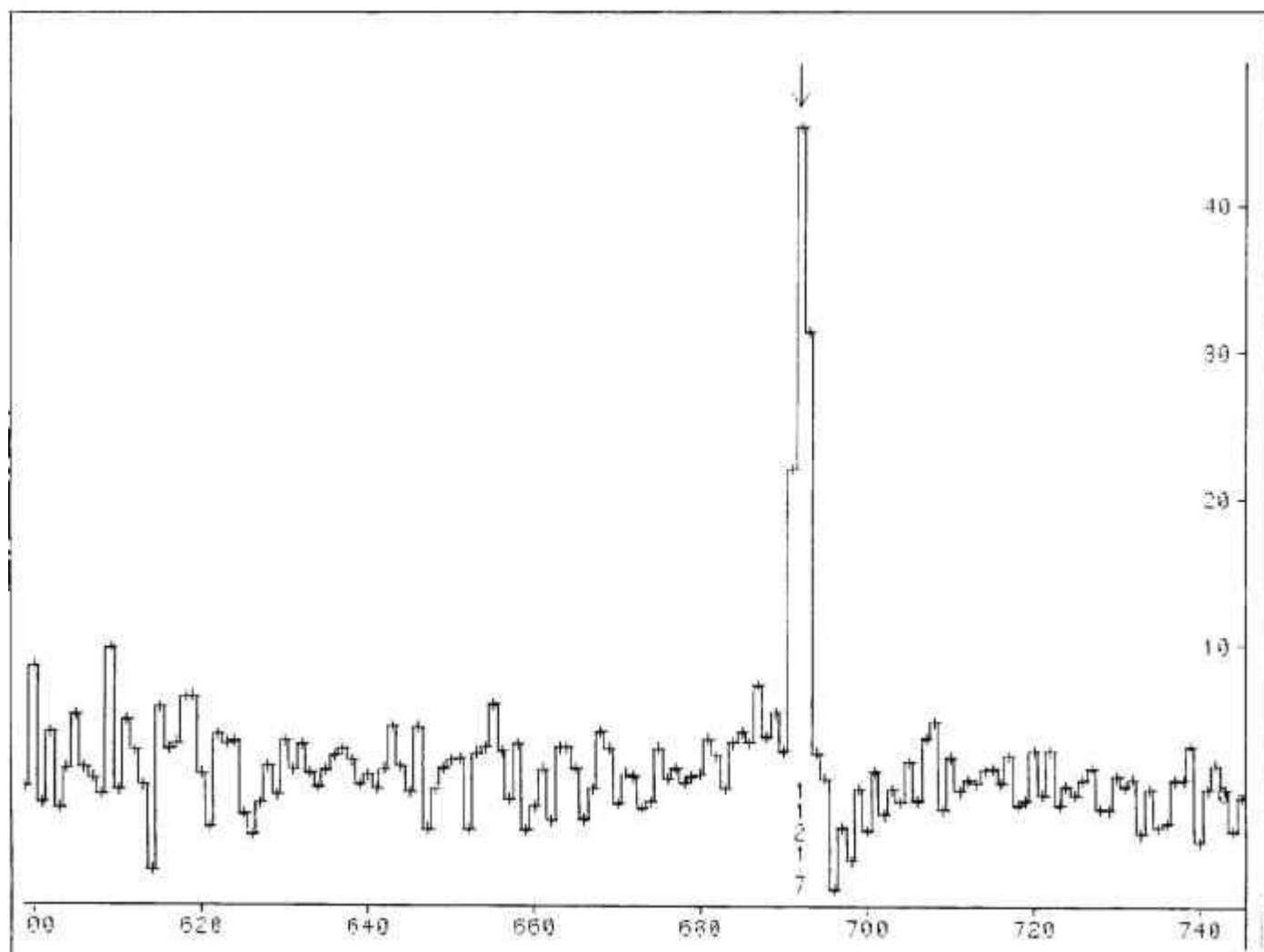


Figura III.2: Espectro de coincidência da janela 665 keV apresentando a coincidência de 1122 keV

nível a 1216 keV Estudos realizados, a partir do decaimento β^- por Nagahara [10], mostram através de medidas de coincidências que este nível se desexcita por meio de dois raios- γ , 657 keV e 1216 keV, para os níveis de 559 keV (2^+) e o fundamental (0^+), respectivamente. No presente trabalho foram feitas janelas em energia a 657 keV e 1216 keV, como mostra a tabela II.1. As relações de coincidências observadas mostram, além das relações já estabelecidas, a presença da transição- γ de 575 keV coincidente com 657 keV e 1216 keV (figuras III.3 e III.4 respectivamente). A discussão com relação à transição de 575 keV será realizada, posteriormente, na descrição do nível a 1791 keV proposto neste trabalho.

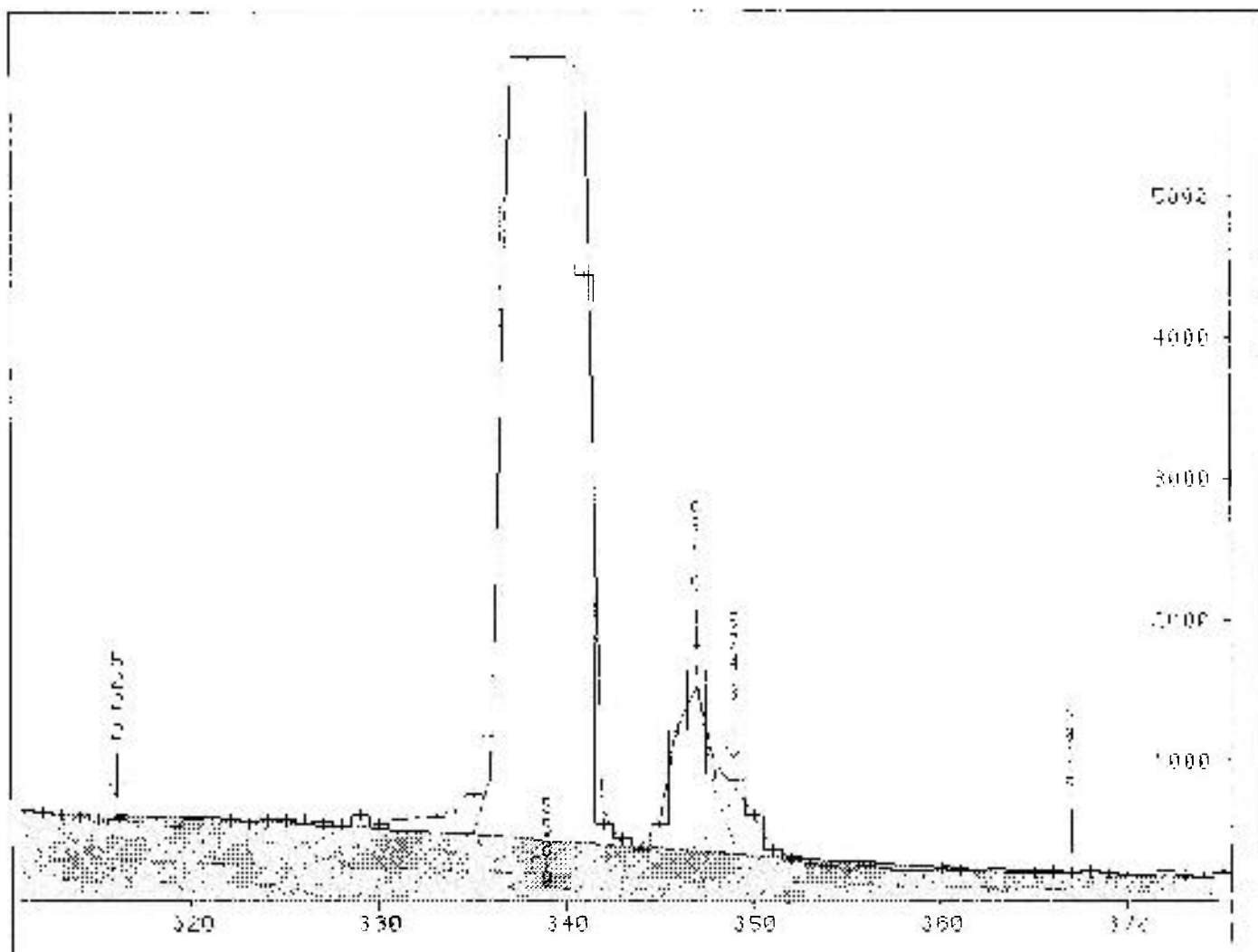


Figura III.3: Espectro de coincidência da janela 657 keV apresentando a transição- γ com energia de 575 keV

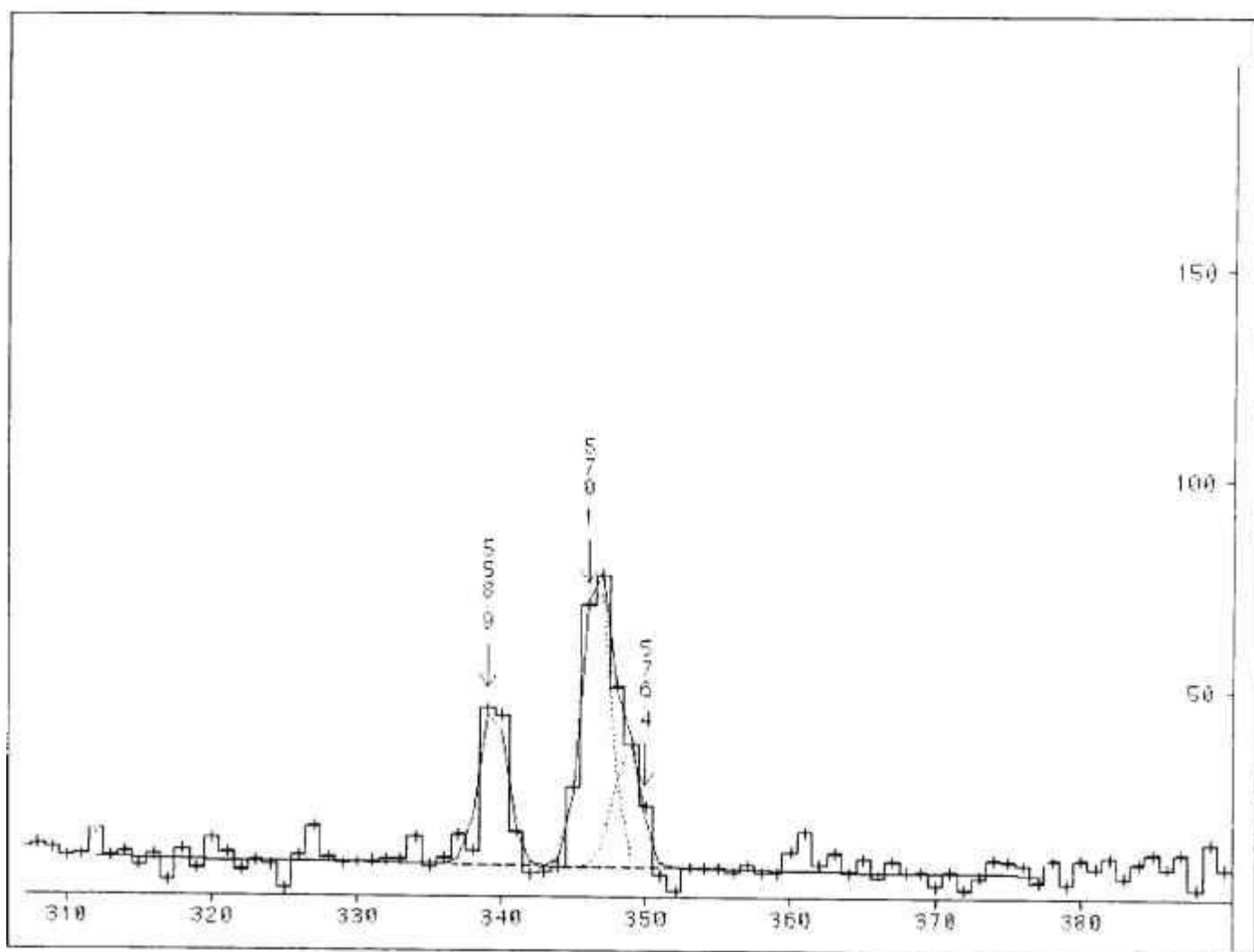


Figura III.4: Espectro de coincidência da janela 1216 keV apresentando a transição- γ com energia de 575 keV

nível a 1330 keV Este nível é baseado na observação do raio- γ de 771 keV em coincidência com o raio- γ de 559 keV. As relações de coincidências, obtidas neste trabalho, para transição de 771 keV são apresentadas na tabela II.1. A partir desses resultados observa-se, além das coincidências já estabelecidas, a presença da transição de 358 keV (figura III.6). Esta transição, como discutiremos a seguir na análise do nível a 1688 keV, está sendo confirmada neste trabalho.

nível a 1689 keV Estudos anteriores [6] estabelecem para este nível as transições- γ de 1129 keV, 472 keV e 358 keV, sendo que esta última ainda está por ser confirmada.

A transição de 358 keV foi observada em medidas de espectroscopia- γ e posicionada no esquema de níveis por Funel [28], entretanto, trabalhos mais recentes referentes ao decaimento β [10, 11, 12] não confirmam esta posição.

No presente estudo, o fotopico de 358 keV foi observado no espectro direto (figura I.4.a) e os seguintes espectros de coincidência confirmam a sua existência:

- i) janela em 740 keV, figura III.5
- ii) janela em 771 keV, figura III.6

As relações de coincidências, obtidas neste trabalho para janela de 358 keV, são apresentadas na tabela II.1 e podem ser visualizadas através do espectro de coincidências gerado, como mostra a figura III.7.

As relações de coincidências das transições- γ de 472 keV e 1129 keV também foram verificadas, conforme dados na tabela II.1 e são compatíveis com o esquema proposto pelo NDS [6].

nível a 1787 keV Este nível é baseado na observação da transição de 1787 keV para o estado fundamental [6, 13]. É estabelecido pelos raios- γ de 456 keV, 571 keV, 665 keV e 1228 keV.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a existência destas transições bem como suas relações de coincidências (tabela II.1).

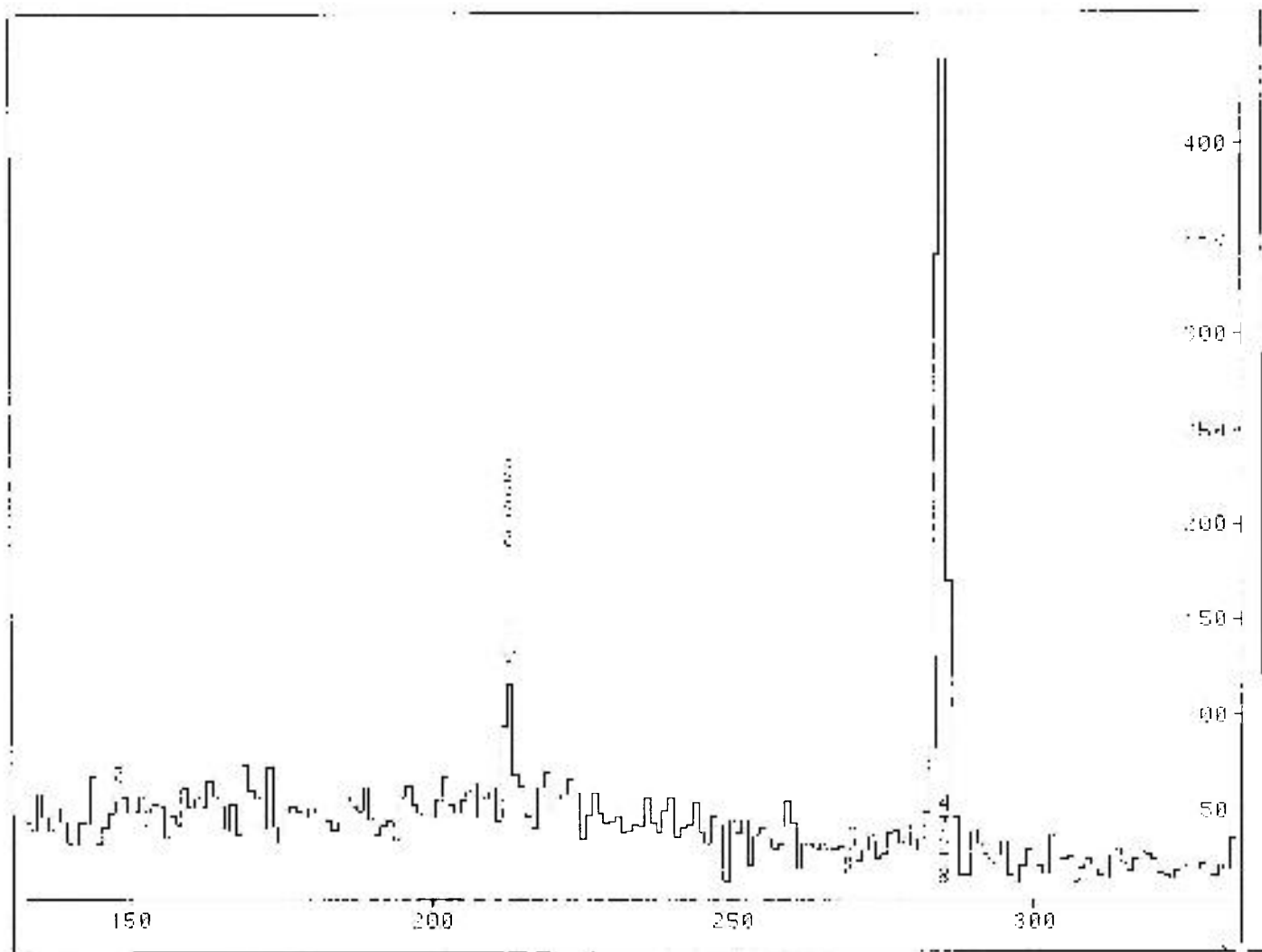


Figura III.5: Espectro de coincidência da janela 740 keV apresentando a transição- γ com energia de 358 keV

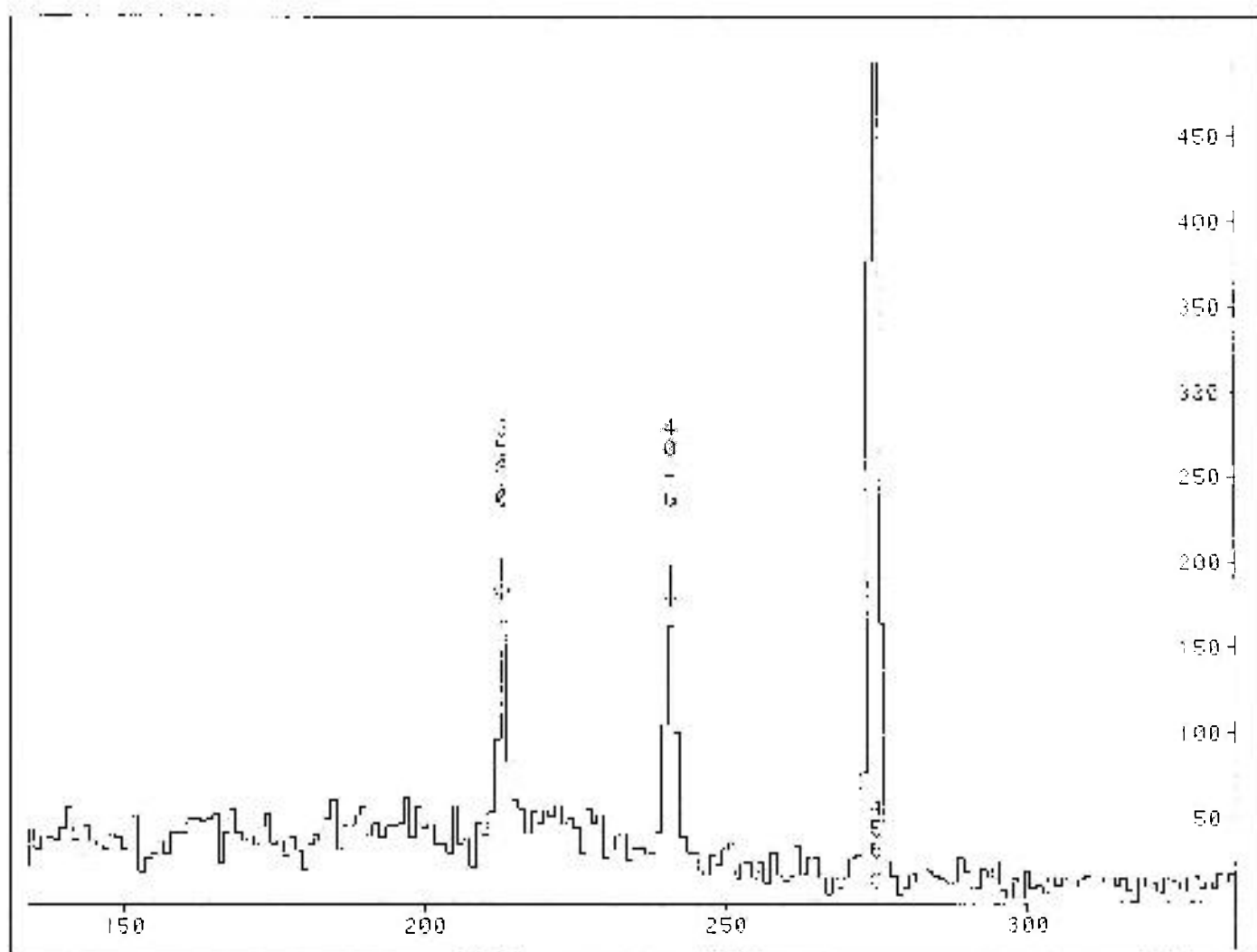


Figura III.6: Espectro de coincidência da janela 771 keV apresentando a transição- γ com energia de 358 keV

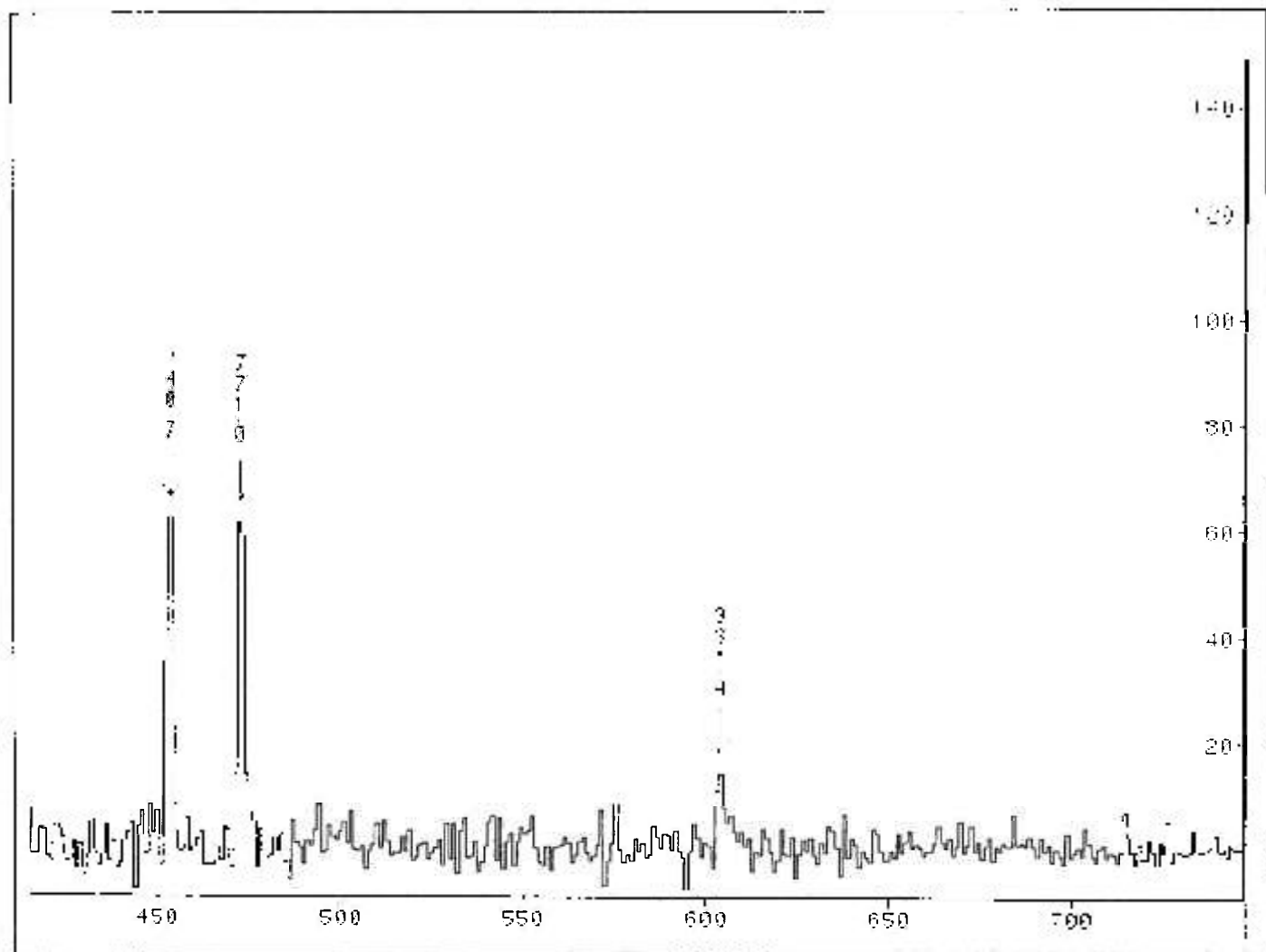


Figura III.7: Espectro de coincidência da janela 358 keV

nível a 1791 keV Este nível está sendo proposto no presente trabalho baseado nas relações de coincidências entre as transições de 575 keV e 1232 keV com 863 keV. Estas proposições tem fundamento nos seguintes resultados:

- i) Na medida de espectroscopia- γ foram identificadas as transições de 863 keV e 1232 keV.

A transição de 863 keV, embora observada em trabalhos anteriores [11, 28, 29], não foi posicionada no esquema de decaimento. Detalhes desta transição serão mencionados posteriormente na discussão do nível a 2655 keV, onde foi posicionada de acordo com os resultados deste trabalho.

A transição de 1232 keV, embora sugerida no trabalho de Funel [28], também não foi posicionada no esquema de decaimento.

- ii) Na medida de coincidências $\gamma\gamma$ a transição de 1232 keV se mostra coincidente com a transição de 863 keV e 559 keV como pode-se observar na figura III.8. Além disso, a transição de 575 keV se mostra coincidente com os raios- γ de 559 keV, 657 keV, 863 keV e 1216 keV (figura III.9), discordando com os resultados sugeridos por Nagahara [10], que propõe a transição de 575 keV em coincidência com o raio- γ de 1228 keV. Os argumentos que mostram que tal suposição é incorreta baseiam-se nas condições em que as medidas de coincidências foram realizadas (tabela III .2) isto é, usando detector NaI(Tl) para efetuar a janela em energia abrangendo as transições de 1212 keV, 1216 keV e 1228 keV. Em trabalhos mais recentes realizados por Kaur e outros [11] e Peikum e outros [12], apesar de serem utilizados detectores de melhor resolução (tabela III.2), as janelas em energia selecionadas foram similares à efetuada por Nagahara [10], confirmando portanto seu resultado.

No presente trabalho foi possível o estudo das relações de coincidência de cada transição isoladamente. Desta forma, pode-se verificar que a transição de 575 keV está em coincidência com a transição de 1216 keV (fig. III.4) e não com 1228 keV como proposto por Nagahara [10]. A possibilidade de um dubleto a 575 keV também é descartada pelas relações de coincidências obtidas (tabela II.1).

Este nível também foi observado em estudos envolvendo as reações nucleares $^{76}\text{Se}(p,p,\gamma)$ e $^{76}\text{Se}(\alpha,\alpha,\gamma)$ [30] com energia de 1791,4 keV, sendo também

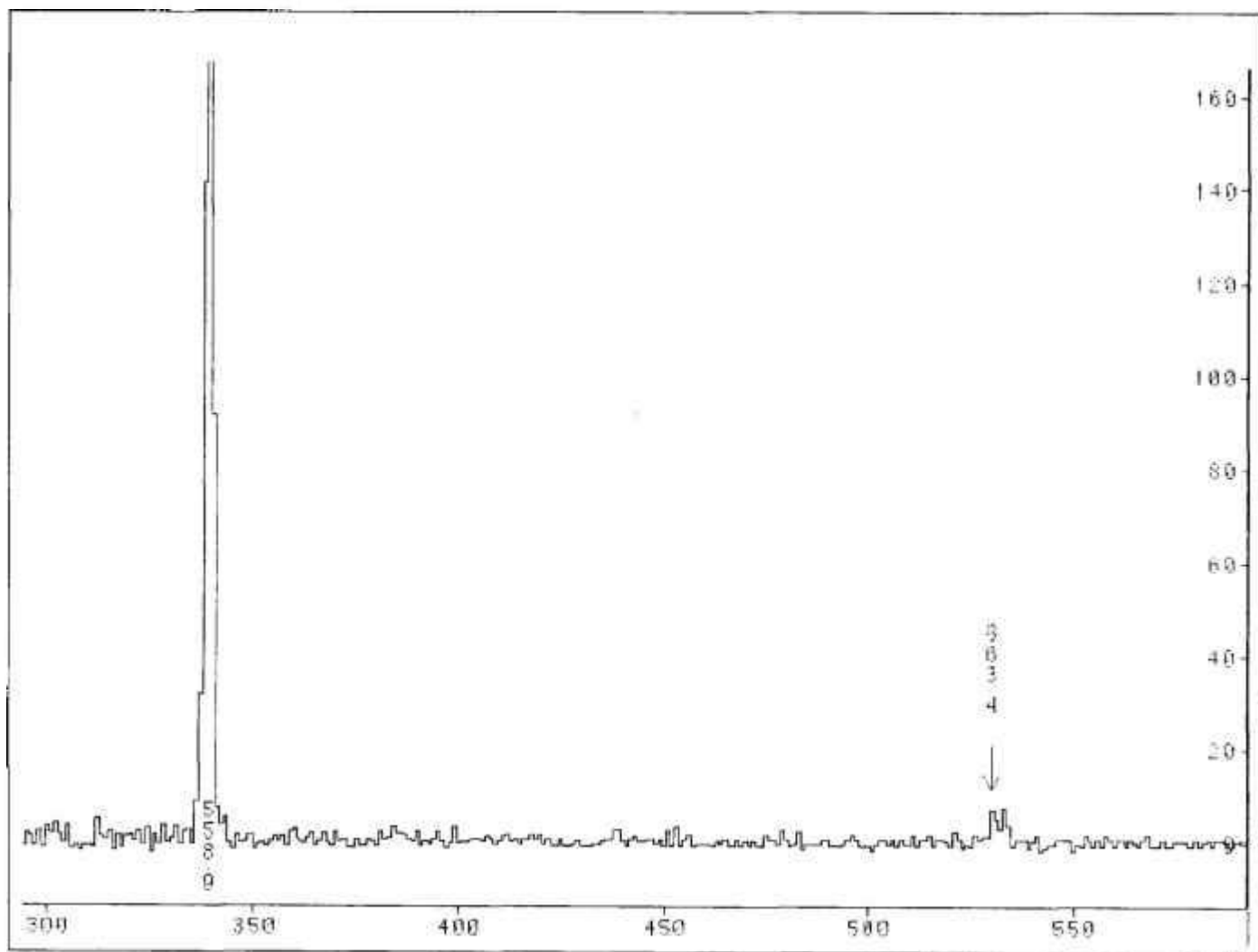


Figura III.8: Espectro de coincidência da janela 1232 keV

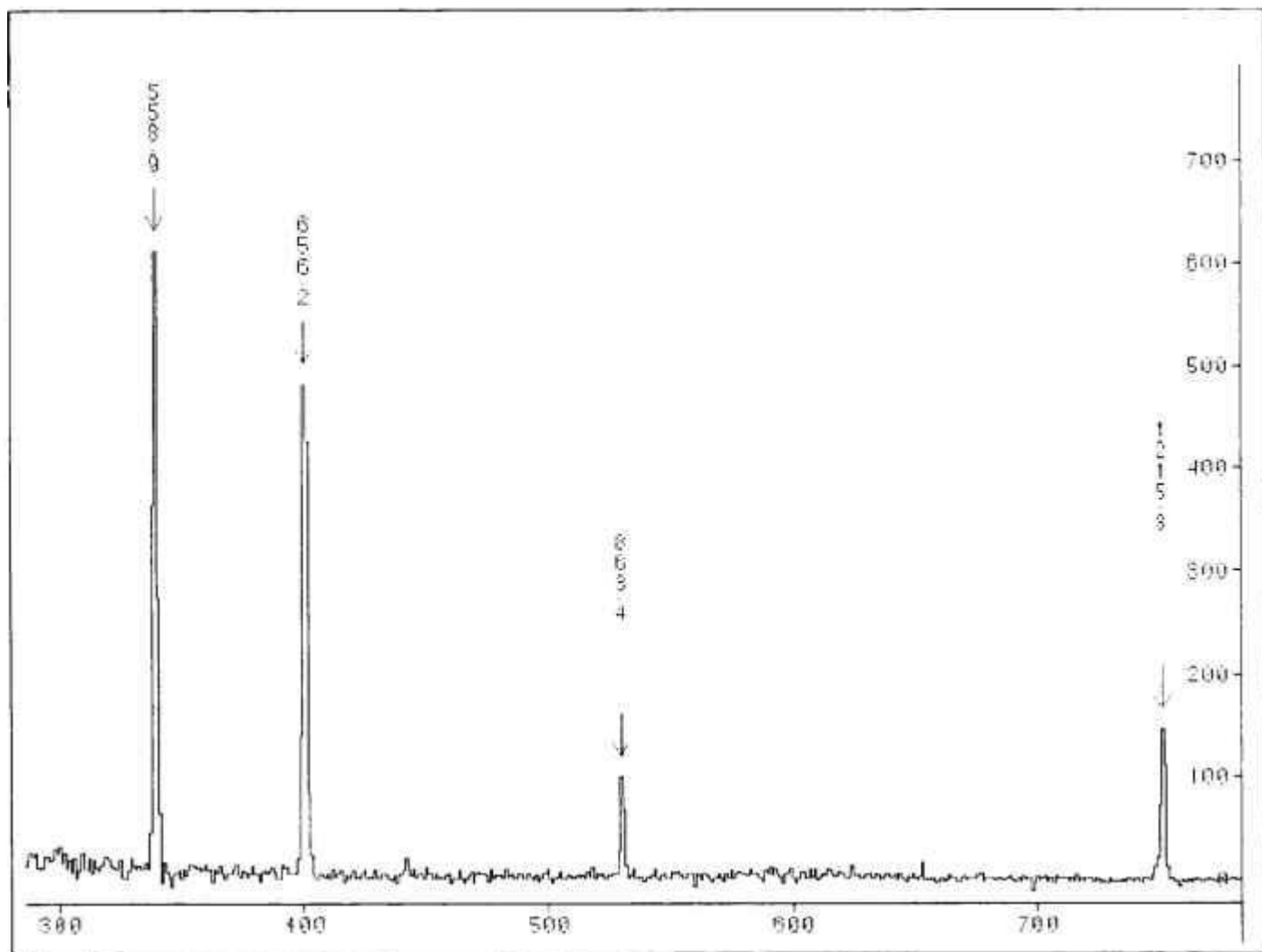


Figura III.9: Espectro de coincidência da janela 575 keV

estabelecido pela transição- γ 575 keV.

nível a 1881 keV Este nível foi proposto por Nagahara [10] com base em medidas de coincidências $\gamma\gamma$ onde, usando detectores de NaI(Tl), o autor analisa uma janela abrangendo as transições de 1212 keV, 1216 keV e 1228 keV. Desta forma, o espectro de coincidência gerado mostra a existência de um fraco raio- γ de 665 keV coincidente com a transição de 1216 keV, sugerindo assim a existência do nível a 1881 keV.

Com este resultado o esquema de níveis do ^{76}Se passa a possuir dois raios- γ de 665 keV, um intenso devido a transições entre os níveis de 1787 keV e 1122 keV e um fraco devido a transição entre os níveis de 1881 keV e 1216 keV.

Posteriormente Kaur e outros [11] observaram um raio- γ de $1881 \pm 0,4$ keV de baixa intensidade ($0,002 \pm 0,001$) sustentando a existência deste nível, entretanto, a relação de coincidência entre os raios- γ de 665 keV e 1216 keV não é mencionada pelos autores.

Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que, devido ao pico soma 1122 ($0^+ \rightarrow 0^+$), proveniente dos intensos raios- γ de 559 keV + 563 keV, observado tanto no espectro Soma como nas medidas de coincidências, tem-se a coincidência entre os raios- γ de 665 keV e 1122 keV, como já foi mencionado na análise do nível a 1122 keV. Ao que tudo indica, esta relação de coincidência levou Nagahara [10] a supor a existência de um dubleto à 665 keV, pois a janela em energia que analisou envolvia uma região de ~ 100 keV (tabela III.1), portanto incluía a energia de 1122 keV. No intuito de se observar a transição de 665 keV proposta por Nagahara [6] foi analisado neste trabalho uma janela envolvendo a região de energia de 1100 a 1200 keV. O espectro de coincidência assim obtido é apresentado na figura III.10 e mostra a existência da transição de 665 keV, como era esperado.

Neste trabalho, devido a possibilidade de se analisar cada transição isoladamente, temos por meio das janelas em energia de 665 keV, 1122 keV e 1216 keV (tabela II.1), que as relações de coincidências verdadeiras dizem respeito ao raio- γ de 665 keV proveniente do nível 1787 keV.

Com base nestes argumentos o presente trabalho descarta a existência do nível a 1881 keV conseqüentemente, também a transição- γ para o estado fundamental bem como a fraca transição de 665 keV proposta por Nagahara

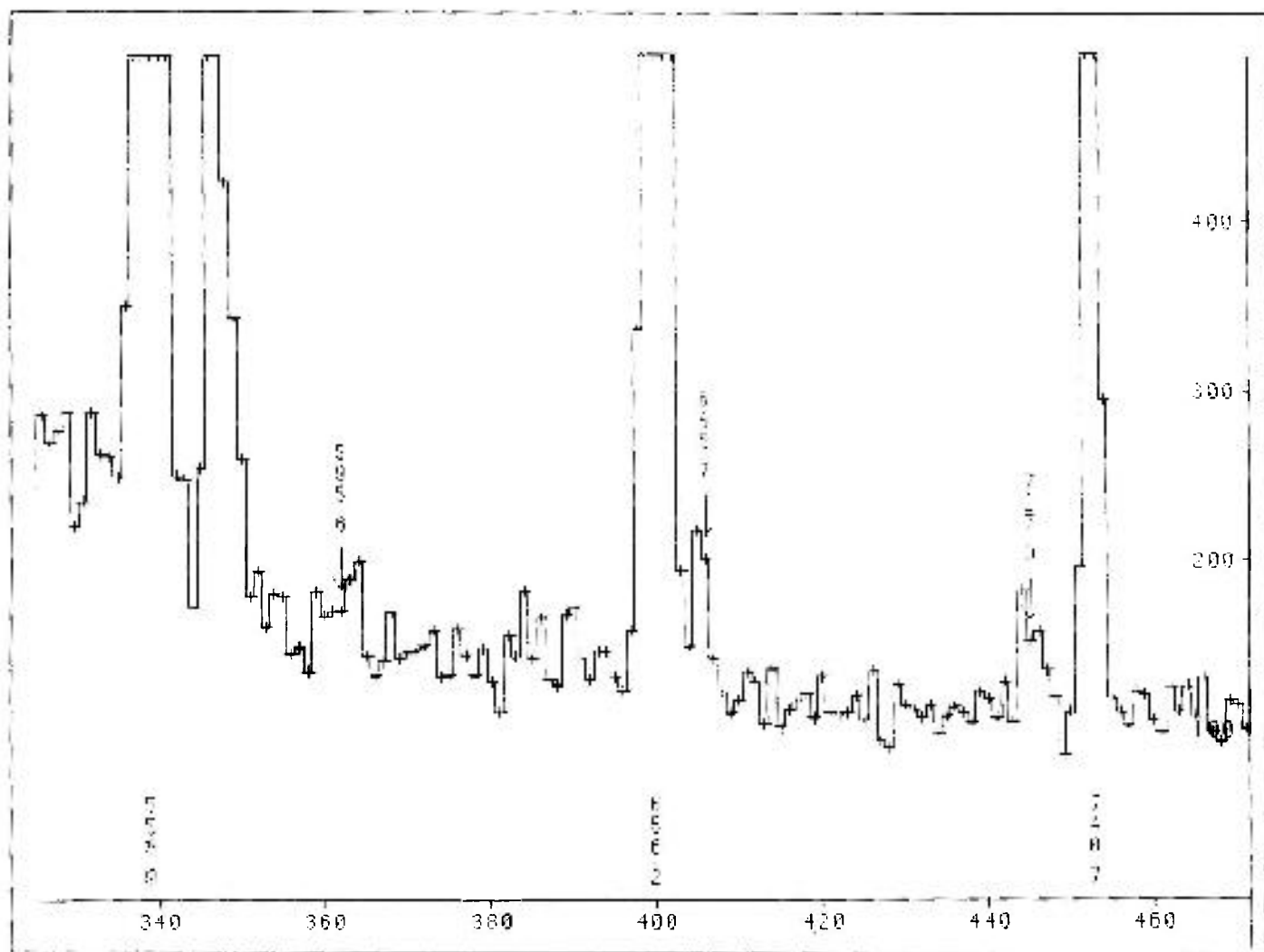


Figura III.10: Espectro de coincidência da janela 1100 a 1200 keV

fundamental bem como a fraca transição de 665 keV proposta por Nagahara [10].

Este nível não foi observado em nenhum estudo envolvendo reações nucleares.

nível 2025 keV Estudos realizados anteriormente [6] estabeleceram para este nível as seguintes transições- γ : 695 keV, 809 keV e 1466 keV.

Os dados obtidos no presente trabalho confirmam a existência destas transições- γ bem como suas relações de coincidências.

nível a 2127 keV Este nível, segundo o esquema de decaimento proposto no NDS [6] (figura III.1), se desexcita por meio das transições- γ de 2127 keV, 1568 keV, 797 keV e 438 keV.

A transição de 438 keV, que ainda está por ser confirmada foi sugerida e posicionada no esquema de níveis por Peikun e outros [12]. Este raio- γ bem com suas relações de coincidências foram observados no presente trabalho nas seguintes situações:

- i) na medida de espectroscopia simples (fig. I.3.b)
- ii) na janela em energia da transição de 301 keV (figura III.11)
- iii) na janela em energia da transição de 1129 keV (figura III.12).

O espectro de coincidência obtido para a transição de 438 keV, neste trabalho, é apresentado na figura III.13 confirmando os resultados obtidos por Peikun e outros [12].

A transição- γ de 797 keV foi observada anteriormente por Morcos e outros [31], Ardisson e outros [29] e por Kaur e outros [11]. Nos estudos realizados por Peikun e outros [12] e por Nagahara [10] não foi confirmada a existência desta transição.

Morcos e outros [31] propõem a existência do raio- γ de (795 ± 1) keV baseado em medidas de coincidência $\gamma\gamma$ envolvendo a transição de 559 keV. Estas medidas foram realizadas com detectores de NaI(Tl) e sem correção de eventos acidentais.

Ardisson e outros [29] e Kaur e outros [11] observaram um raio- γ de 797 keV, de baixa intensidade, apenas em seus espectros diretos. Nas relações

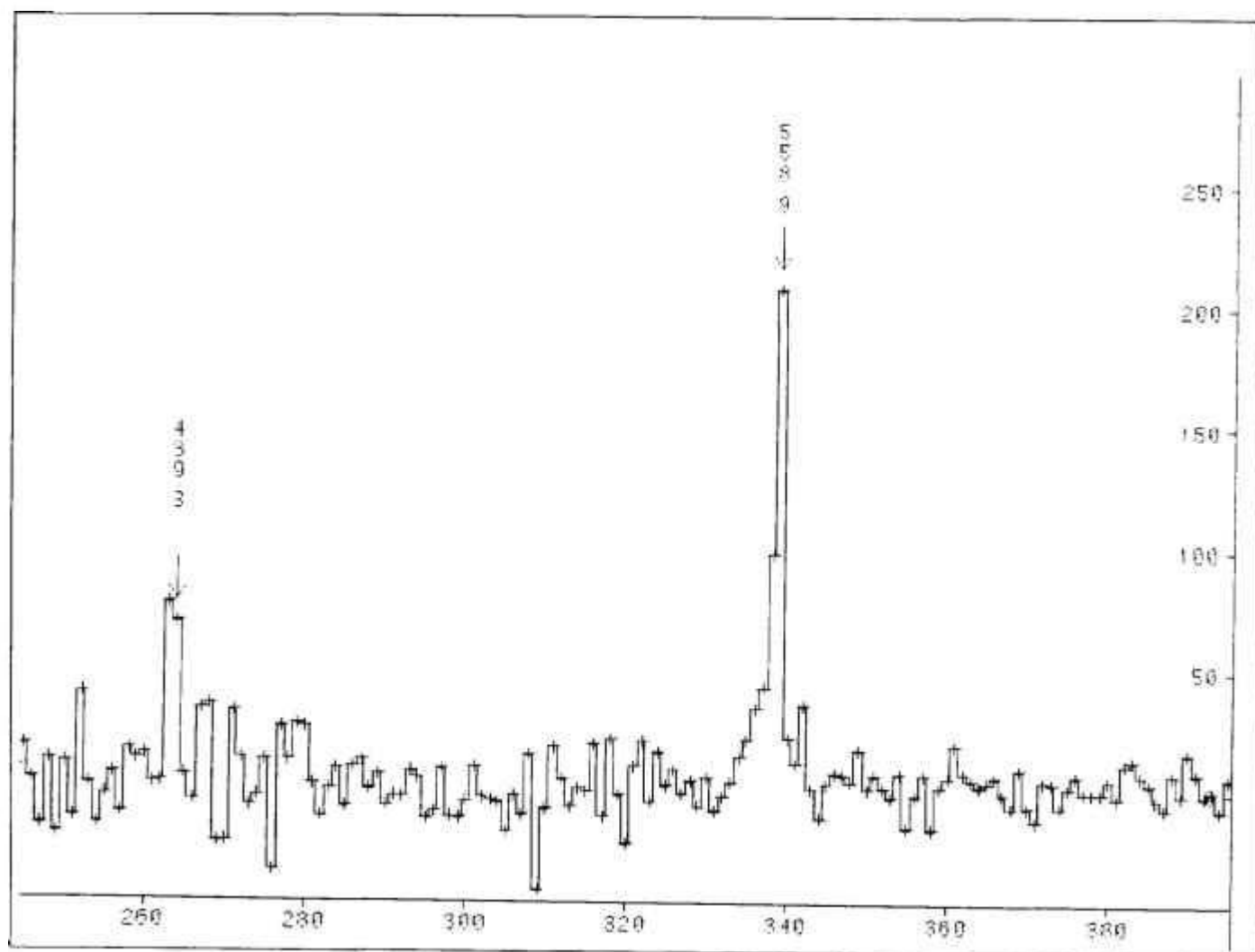


Figura III.11: Espectro de coincidência da transição de 301 keV apresentando a transição γ com energia de 438 keV

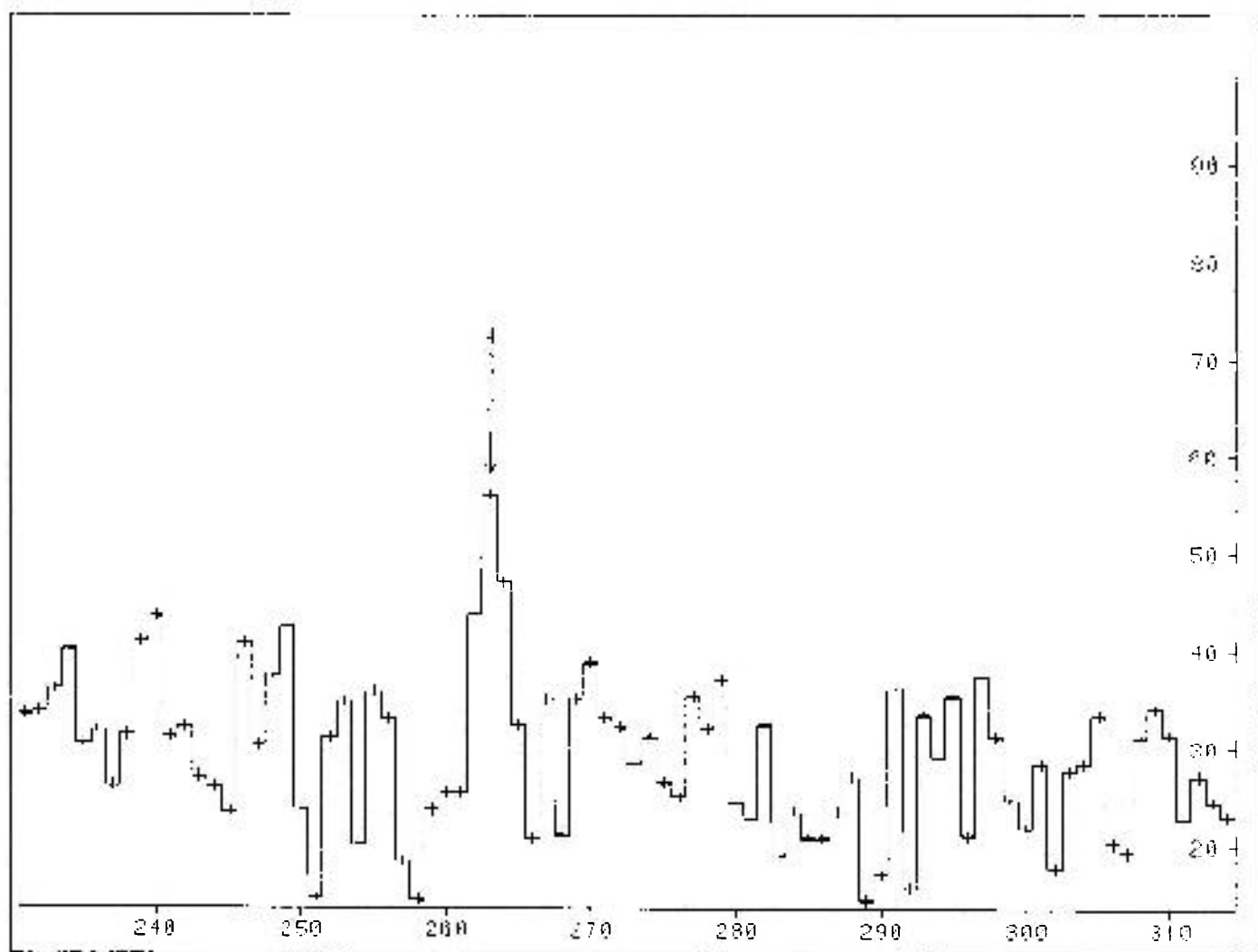


Figura III.12: Espectro de coincidência da transição de 1129 keV apresentando a transição- γ com energia de 438 keV

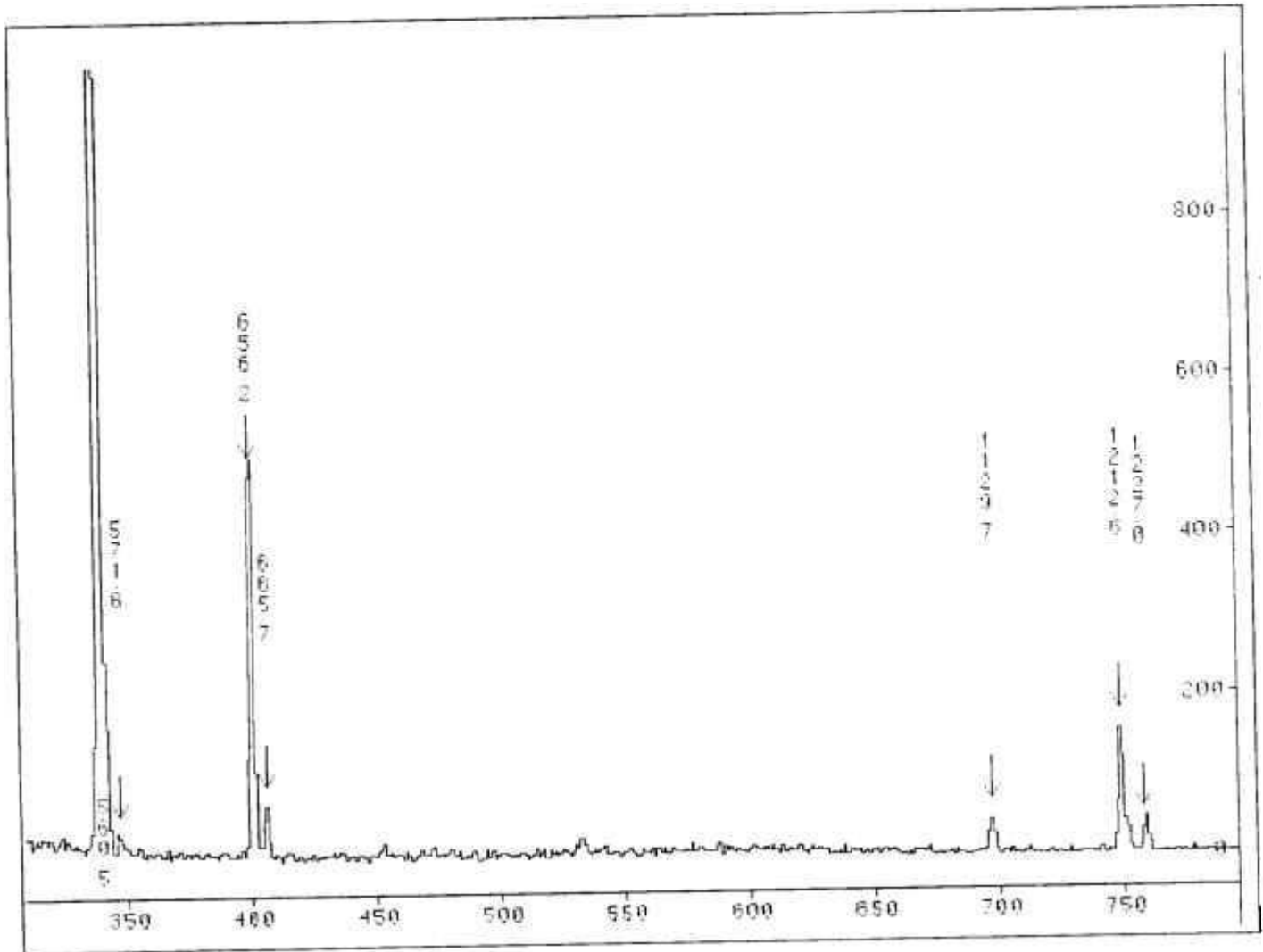


Figura III.13: Espectro de coincidência da transição de 438 keV

de coincidência desses trabalho, onde foi efetuada a correção devida a eventos acidentais, esta transição não é observada.

As amostras de Arsênio natural utilizadas por Morcos e outros [31] e Ardisson e outros [29] na obtenção do ^{76}As , não eram quimicamente puras havendo necessidade de se efetuar separações químicas. Kaur e outros [11] e Peikun e outros [12] não fornecem informações sobre a pureza química das amostras utilizadas.

O presente trabalho, como já mencionado na seção I.3.1, obtém o ^{76}As a partir de amostras de Arsênio natural quimicamente puro (99,99%). O espectro direto obtido com estas amostras, acumulado por 260 horas, não confirma a presença da transição de 797 keV. Na obtenção dos espectros de coincidência onde são realizadas as devidas correções de eventos acidentais o raio- γ de 797 também não foi observado.

Além disso, foi feita uma análise das relações de coincidências prováveis com 797 keV, isto é: janelas em energia a 301 keV, 771 keV e 559 keV (tabela II.1) e esta transição também não foi observada. As demais transições- γ de 1568 e 2127 keV já foram bem estabelecidas em estudos anteriores [6] e os resultados obtidos no presente trabalho confirmam estes dados.

nível a 2170 keV Este nível foi proposto em vários estudos de decaimento β^- [28, 29, 32, 33] devido a coincidência da transição de 1611 keV com o raio- γ de 559 keV. Recentemente, Nagahara [10] e Kaur e outros [11] propõem a existência de um raio- γ de 954 keV com base em medidas de coincidência com o raio- γ de 657 keV.

No presente trabalho os dados obtidos confirmam a existência desta transições (tabela II.1) e embora o raio- γ de 954 keV não tenha sido janelado, em função de sua baixa intensidade (figura I.3.h), suas relações de coincidência foram obtidas por meio dos espectros de coincidências das transições de maior intensidade, no caso 484 keV e 657 keV.

nível a 2346 keV Este nível foi proposto por Iizawa e outros [32] com base em estudos de coincidência $\gamma\gamma$ onde usando um detetor de NaI(Tl), efetua uma janela em energia abrangendo as transições de 1212 keV, 1216 keV e 1228 keV. O espectro de coincidências assim obtido mostra a existência de um raio- γ de baixa intensidade de 1130 keV, que os autores sugerem em coincidência com a transição de 1216 keV, propondo desta forma a existência

do nível 2346 keV.

Com este resultado o esquema de níveis do ^{76}Se passa a possuir um dubleto de 1129 keV e 1130 keV, sendo a transição de 1129 keV pertencente ao nível de 1688 keV e a transição de 1130 keV pertencente ao nível 2346 keV.

Ainda em relação a essas medidas Iizawa e outros [32] afirmam que a porcentagem de eventos acidentais fica em torno de 2 % não havendo necessidade de se efetuar as devidas correções.

Posteriormente Nagahara [10] e Kaur e outros [11] observam uma transição de 466 keV em medidas de espectroscopia- γ . Embora nenhum dos trabalhos tenha obtido as relações de coincidência que envolvem esta transição, posicionam-na no nível a 2346 keV alimentando o nível a 1881 keV, já descartado no presente estudo.

Na medida de espectroscopia- γ do presente trabalho o raio- γ de 466 keV não é observado, nem nas prováveis relações de coincidência que envolvem as transições de: 665 keV, 1216 keV, 657 keV e 559 keV.

Com relação a transição de 1130 keV (de 2346 keV para 1216 keV), as coincidências obtidas para as janelas em energia de 559 keV, 657 keV e 1216 keV, que correspondem às relações de coincidências prováveis, este raio- γ não foi observado. Da mesma forma, na análise da janela em energia de 1129 keV ($3^+ \rightarrow 2^+$), discutida no nível a 1688 keV, não foram observados os fotopicos de 657 keV e 1216 keV. A presença do fotopico de 559 keV, neste caso aparece pois a relação entre 1129 keV e 559 keV é verdadeira.

A única indicação referente a presença desse nível, no que diz respeito à reações nucleares, é o trabalho realizado por Borsaru e outros [34] através da reação $^{76}\text{Se}(p,t)$. Entretanto, devido a fraca alimentação e grande erro na estimativa da energia (± 2 keV), torna esta previsão pouco provável.

nível a 2362 keV Este nível foi proposto nos estudos de decaimento β^- realizados por Iizawa e outros [32] e Nagahara [10], devido principalmente as coincidências da transição de 575 keV com o raio- γ de 1228 keV, relação esta que já foi descartada no presente estudo na discussão do nível a 1791 keV. Ainda, segundo os autores, este nível se desexcita em menor probabilidade pelas transições 1030 (2%) keV e 1805 (2%) keV, respectivamente. Estas transições foram observadas nesses trabalhos em medida de espectroscopia- γ

e foram posicionadas no esquema de níveis com base nas somas de 1805 keV e 559 keV e de 1030 keV, 772 keV e 559 keV.

No presente estudo as transições de 1030 keV e 1805 keV não foram observadas nas medidas de espectroscopia- γ e nem nas relações de coincidências prováveis, isto é, nas janelas de 559 keV e 771 keV (tabela II.1)

Com base nestes resultados o presente trabalho descarta a existência do nível a 2362 keV, o qual também não foi observado em nenhum estudo envolvendo reações nucleares.

nível a 2429 keV Este nível é observado na maioria dos estudos que envolvem decaimento β^- [10, 11, 28, 29, 31, 32]. É estabelecido pelos raios- γ de 301 keV, 403 keV, 640 keV, 740 keV, 1098 keV, 1212 keV, 1870 keV e 2429 keV.

O presente trabalho confirma estes dados com exceção do raio- γ de 640 keV.

A transição de 640 keV foi sugerida por Iizawa e outros [32] em medidas de coincidências, realizadas com detetor de NaI(Tl), na região de energia de 770 keV, onde não são efetuadas as correções de eventos acidentais. Posteriormente Kaur e outros [11] propõem a existência desta transição baseada em medidas de espectroscopia- γ , mas não obtém sua relação de coincidência.

Nos estudos realizados por Nagahara [10] e mais recentemente por Peikun e outros [12], a transição de 640 keV não é observada.

No presente trabalho a transição de 640 keV não foi observada na medida de espectroscopia- γ (figura I.3.e) nem nas relações de coincidências prováveis, isto é, nas janelas (em keV) 456, 559, 563, 571, 657, 665, 771, 1216, 1228 e 1787, conforme os dados apresentados na tabela II.1.

nível a 2514 keV Este nível é estabelecido pelos raios- γ de 727 keV, 1393 keV e 1955 keV.

As transições de 727 keV e 1955 keV já foram bem determinadas em estudos anteriores [6] e o presente trabalho confirma estes resultados. O raio- γ de 1393 keV foi observado somente por Ardisson e outros [29] em medidas de coincidências na região de energia de 559 ± 30 keV, realizadas com detetores de NaI(Tl). Nestas medidas Ardisson e outros [29] não fazem nenhuma correção de eventos acidentais assumindo que sua contribuição fica em torno de 4%.

No presente trabalho, este raio- γ não foi observado nem nas medidas de espectroscopia nem nas prováveis relações de coincidência, isto é, com as energias de 559 keV e 563 keV.

nível a 2655 keV Este nível é significativamente populado pelo decaimento β^- do ^{76}As . É estabelecido pelos raio- γ de 484 keV, 867 keV, 1439 keV, 1533 keV, 2096 keV e 2655 keV. Os resultados obtidos no presente trabalho confirmam estes dados e propõem também, para este nível, os raios- γ de 528 keV e 863 keV. E estas transições foram observadas na medida de espectroscopia- γ , como mostram as figuras I.3.c e I.3.g.

O raio- γ de 863 keV foi observado em estudos anteriores [11, 28, 29] em medidas de espectroscopia- γ , sem ser posicionado no esquema de decaimento.

As medidas realizadas neste trabalho propõem o posicionamento da transição de 863 keV neste nível, com base em seu espectro de coincidências onde são observadas as transições- γ de 559 keV, 675 keV e 1232 keV, como mostram as figuras III.14.a e III.14.b. De acordo com a tabela II.1 pode-se observar a presença da transição de 863 keV nas janelas em energia de 575 keV e 1232 keV.

A transição de 528 keV foi observada pela primeira vez neste estudo. As relações de coincidências obtidas tanto para a janela de 528 keV como para 1568 keV, conforme dados na tabela II.1, sustentam seu posicionamento neste nível.

O espectro de coincidências para as janelas de 528 keV e 1568 keV são apresentadas nas figuras III.15.a, III.15.b e III.16 respectivamente.

nível a 2669 keV Estudos anteriores, envolvendo o decaimento β^- [6], estabelecem para este nível as transições de 882 keV, 980 keV, 1453 keV, 2110 keV e 2669 keV, sendo esta última ainda por ser confirmada.

O presente estudo confirma a existência da transição para o estado fundamental através da medida de espectroscopia- γ , bem como as demais transições. As relações de coincidências obtidas para as transições de 882 keV, 980 keV, 1453 keV e 2110 keV são apresentadas na tabela II.1.

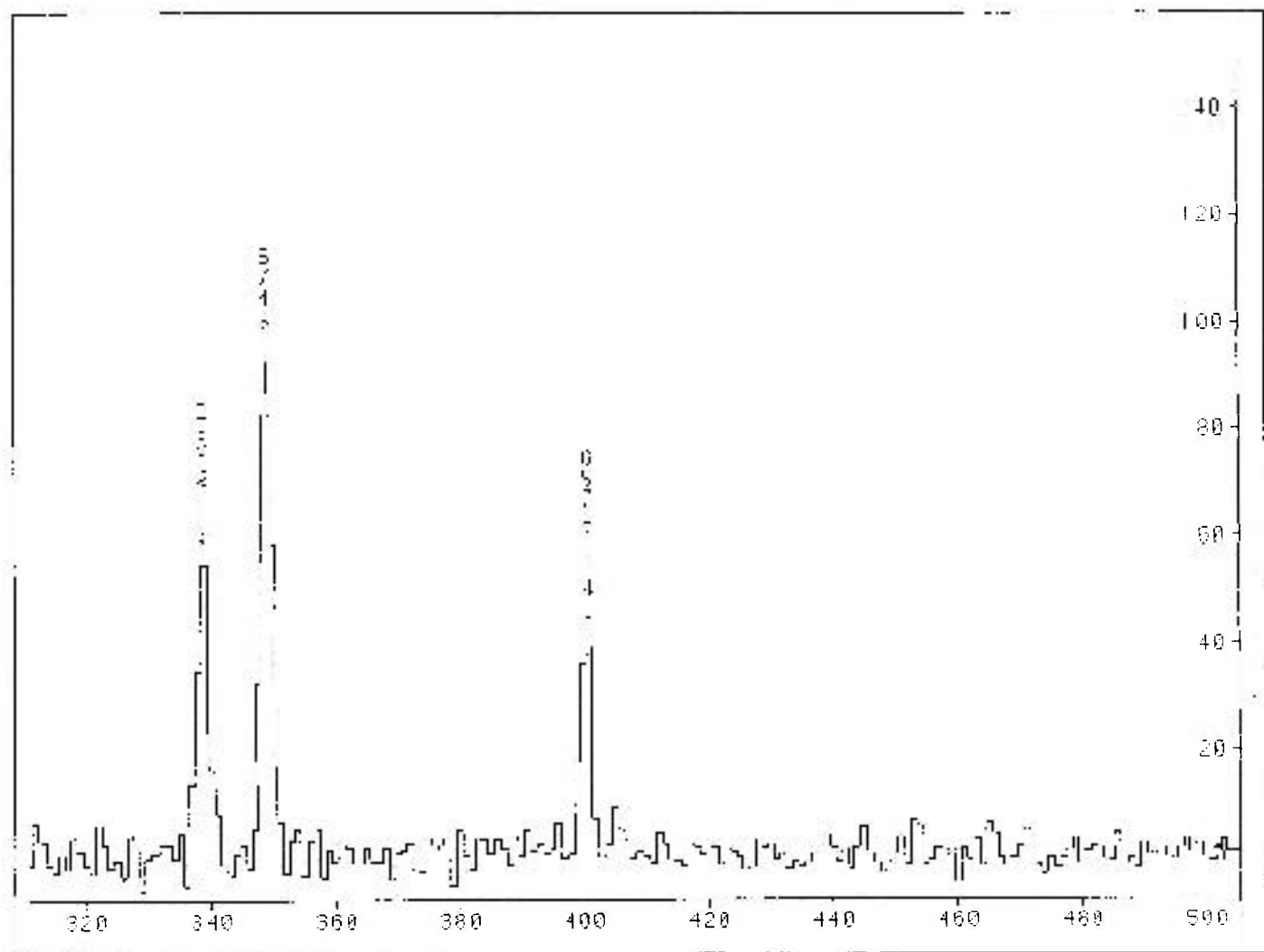


Figura III.14.a: Espectro de coincidência da transição de 863 keV

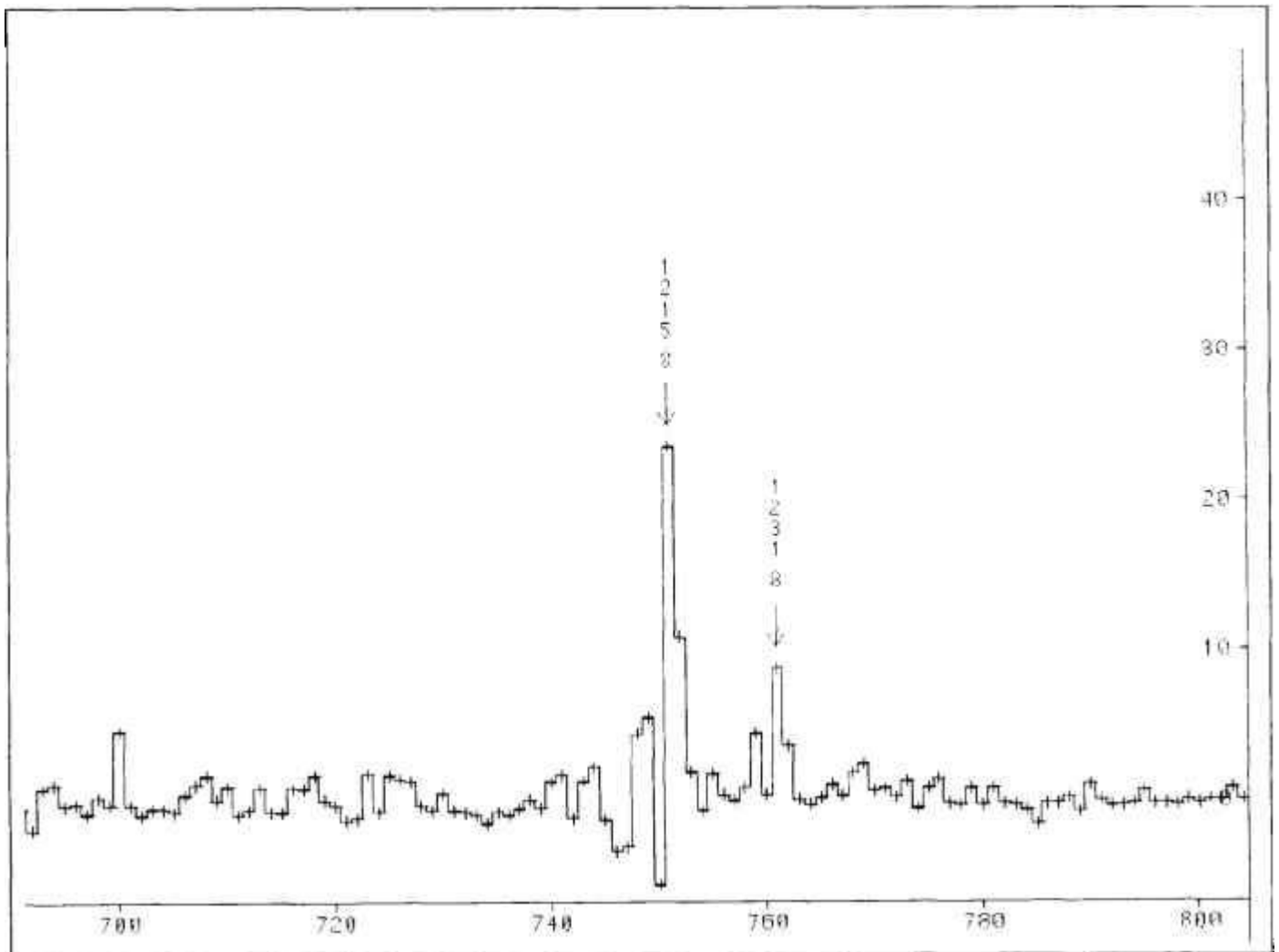


Figura III.14.b: Espectro de coincidência da transição de 863 keV

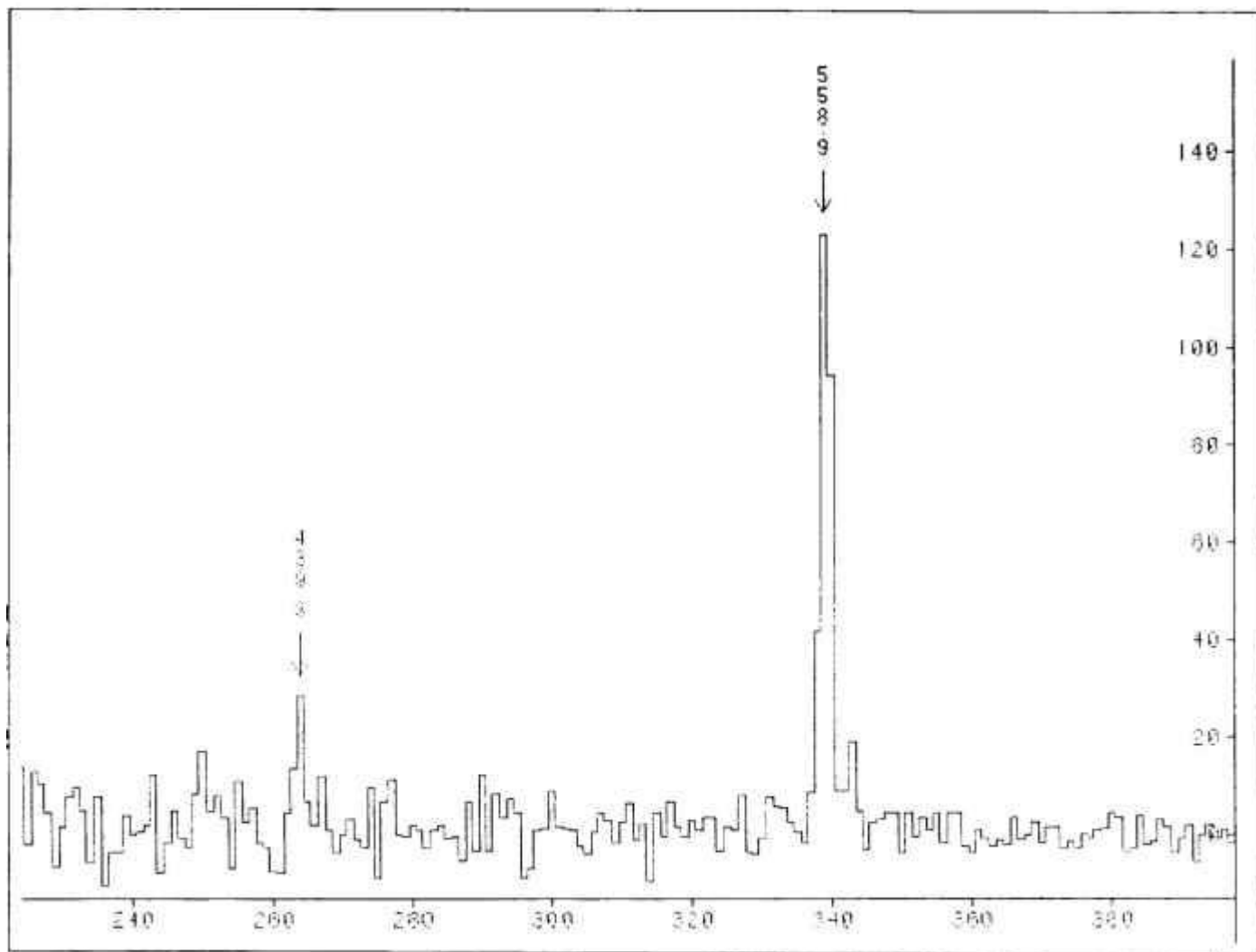


Figura III.15.a: Espectro de coincidência da transição de 528 keV

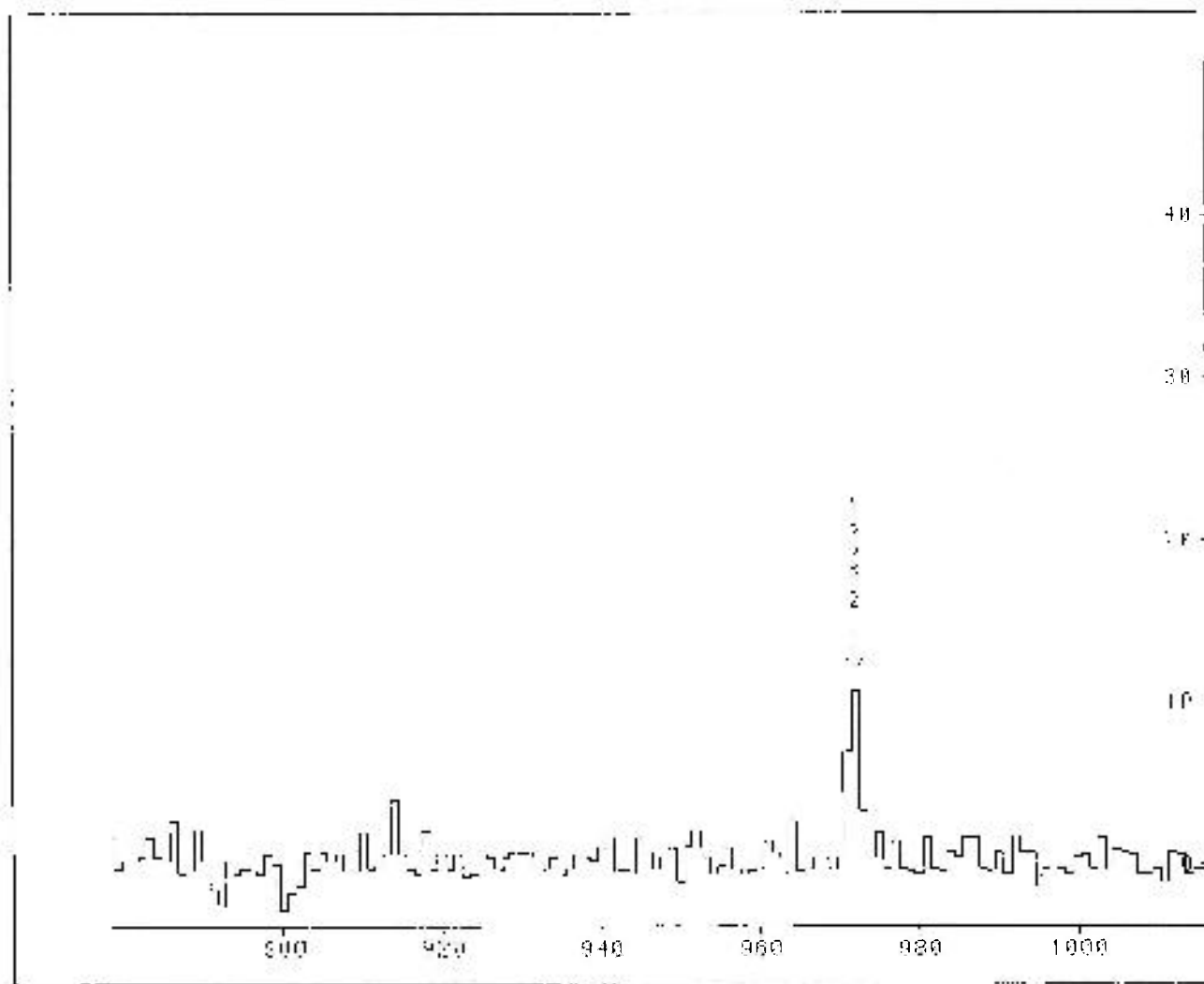


Figura III.15.b: Espectro de coincidência da transição de 528 keV

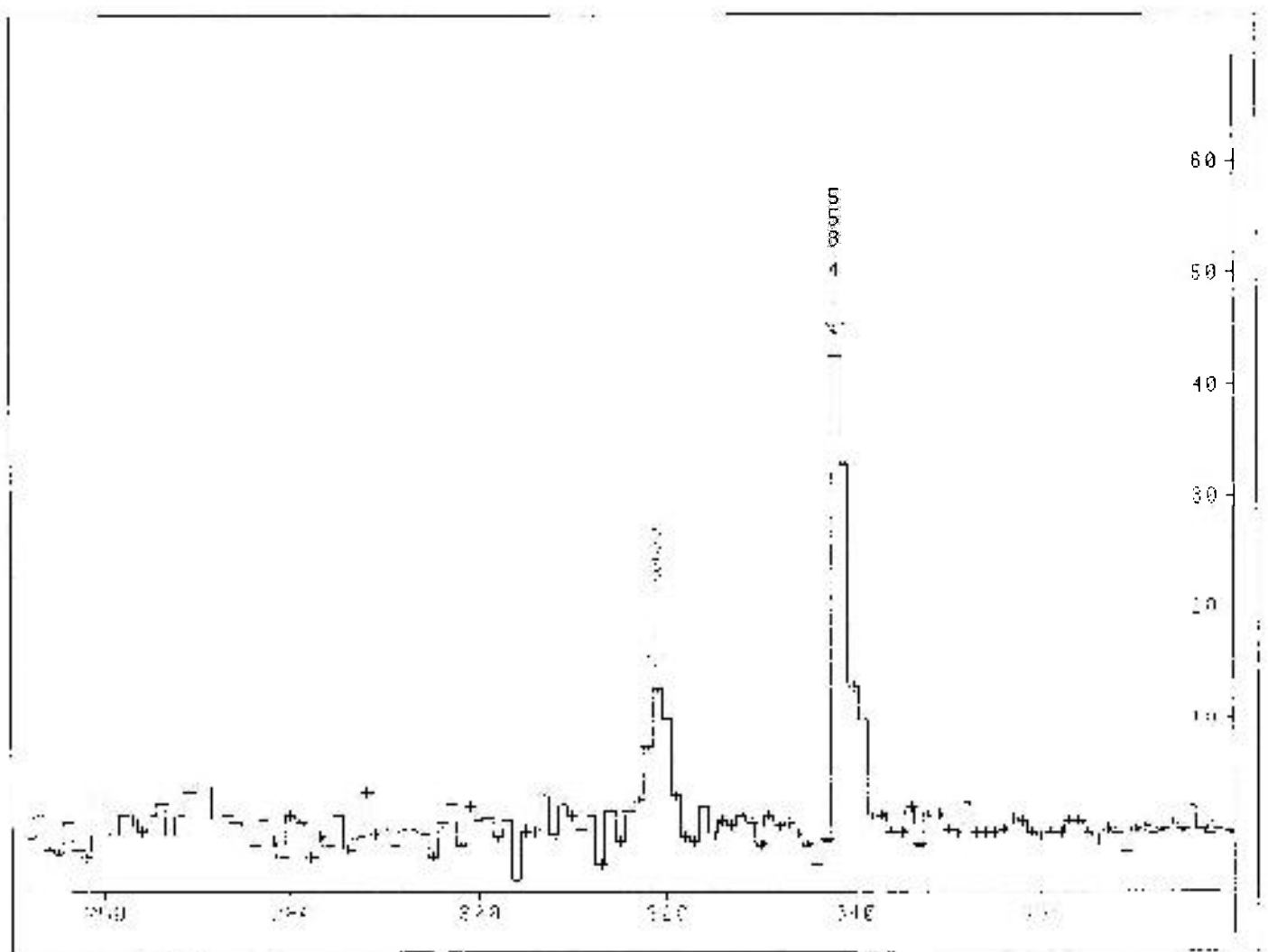


Figura III.16: Espectro de coincidência da transição de 1568 keV apresentando a transição γ com energia de 528 keV.

Capítulo IV

Conclusão

No presente trabalho foram realizadas medidas de espectroscopia- γ e coincidências $\gamma\gamma$ no núcleo de ^{76}Se . As medidas foram feitas em condições favoráveis: uso de espectrômetros de alta resolução em energia, isto é, detetores de HPGe e Ge(Li), alta estatística e eficiente sistema de aquisição que possibilitou a análise de cada transição- γ isoladamente.

A medida detalhada de espectroscopia simples do decaimento β^- do ^{76}As , realizada com a finalidade de reconhecimento do espectro γ , revelou a presença de novas transições bem como a atribuição de um novo nível de energia para o esquema de desintegração do ^{76}As . No total foram analisadas 45 transições, distribuídas em 14 níveis de energia, sendo 2 transições observadas pela primeira vez, 5 confirmadas e 9 anteriormente atribuídas a este decaimento não foram observadas.

Os resultados obtidos trouxeram as seguintes contribuições:

1. determinação das energias e intensidades relativas, com melhor precisão.
2. determinação das energias dos níveis que compõem o esquema do decaimento do ^{76}As .
3. determinação de duas novas transições, de baixa intensidade, de 528 keV e 1232 keV e o respectivo posicionamento no esquema de níveis.
4. correta avaliação em termos de energia, intensidade e localização da transição- γ de 575 keV, a qual revelou, pela primeira vez, a existência de um novo nível neste decaimento, cuja energia foi estabelecida em 1791 keV.
5. a atribuição correta de energia, intensidade relativa e localização da transição 863 keV.

6. confirmação de 4 transições no esquema de níveis, a saber: 358 keV, 438 keV, 954 keV e 2669 keV.
7. determinação da razão mistura multipolar da transição- γ de 575 keV, $\delta = -0,18 \pm 0,03$, e a indicação de spin 2, para o nível a 1791 keV.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi atingido pois a investigação acrescentou informações aos dados encontrados atualmente na literatura.

Através dos resultados obtidos neste trabalho fica evidente a necessidade de outros estudos, como medidas de correlação angular, revisão dos valores de $\log ft$, e um estudo envolvendo a região de mais baixa energia (< 150 keV). Ainda devido a alta intensidade das transições 559 e 657 keV, segere-se a repetição desta medida usando-se um sistema anti-compton.

Do ponto de vista teórico, a partir dos dados obtidos, espera-se que trabalhos teóricos tenham continuidade a fim de que se possa estabelecer a interpretação deste núcleo.

Apêndice

Programa AJUCOV

O programa AJUCOV [19] foi desenvolvido para efetuar ajustes de funções lineares nos parâmetros do tipo $y_i = A_j x_i^{j-1}$ com $j = 1, 2, \dots, n$ e $i = 1, 2, \dots, N$.

No presente trabalho este programa foi utilizado na obtenção da curva de calibração em energia do espectro-Soma, como descrito na seção I.3.2.

O AJUCOV ajusta um polinômio onde seus parâmetros e as covariâncias nos parâmetros são calculadas levando-se em consideração o erro na energia, o erro nas posições e a covariância nas energias.

Os parâmetros do polinômio ajustado são obtidos através da equação matricial (I):

$$A = (X'V^{-1}X)^{-1}XV^{-1}Y \quad (I)$$

onde:

A é a matriz coluna dos parâmetros ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

X é a matriz desenho ($n \times N$), onde x corresponde aos valores das posições dos raios γ .

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & \cdots & x_1^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_N & \cdots & x_N^{n-1} \end{pmatrix}$$

n = número de parâmetros do polinômio a ser ajustado.

N = número de pares (energia \times posição) utilizados no ajuste.

Y é a matriz coluna, onde os y_i 's correspondem aos valores das energias dos raios γ .

$$Y = \begin{pmatrix} y_i \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix}$$

V é a matriz de covariância entre as energias

$$V = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & \text{COV}_{12} & \dots & \text{COV}_{1N} \\ \text{COV}_{21} & \frac{1}{\sigma_2^2} & \dots & \text{COV}_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{COV}_{N1} & \text{COV}_{N2} & \dots & \frac{1}{\sigma_N^2} \end{pmatrix}$$

A matriz de covariância nos parâmetros (V_A) é obtida a partir da equação (II):

$$V_A = (X^t V^{-1} X)^{-1} \quad (II)$$

Detalhes sobre as equações (I) e (II) podem ser encontrados nas referências [35, 36].

Programa INTERCOV

O programa INTERCOV [18] foi desenvolvido para efetuar interpolações e extrapolações de pontos a partir de uma função linear nos parâmetros.

No presente trabalho este programa foi utilizado para fornecer os valores de energias dos raios- γ presentes no espectro-Soma, como descrito na seção I.4.

O programa INTERCOV [18] calcula o valor das energias dos raios- γ bem como a matriz de covariância, a partir dos parâmetros da função polinomial obtida pelo programa AJUCOV [19] e as posições dos raios- γ no espectro-Soma.

No cálculo dos valores das energias são considerados os erros nas posições bem como as covariância dos parâmetros da função polinomial ajustada.

Os valores das energias são obtidos a partir da equação:

$$y(x_i) = \sum_{j=1}^k x_i^{j-1} a_j \quad (III)$$

ou na forma matricial

$$Y = XA \quad (IV)$$

onde:

Y é a matriz contendo os valores das energias.

X é a matriz desenho onde os valores x_i são as posições dos raios- γ .

A é a matriz contendo os parâmetros da função polinomial.

A matriz de covariância entre as energias é calculada a partir da equação:

$$V_Y = XV_A X^t \quad (V)$$

onde

V_Y é a matriz de covariância entre as energias.

V_A é a matriz de covariância entre os parâmetros.

X é a matriz desenho, onde estão contidos os valores a serem interpolados.

Detalhes sobre as equações (III), (IV) e (V) podem ser obtidos na referência [35, 36].

Programa INTEN

O programa INTEN [20] foi desenvolvido para calcular a intensidade relativa das transições- γ bem como as covariâncias.

Para efetuar este cálculo, o programa INTEN [20] leva em conta o erro na área dos fotopicos, a covariância na energia destes raios- γ e a covariância nos parâmetros da curva de eficiência do detetor.

A intensidade relativa é obtida a partir da equação:

$$I_{rel} = \frac{A}{\epsilon_{rel}} \cdot \frac{\epsilon_{rel}(\text{padrão})}{A(\text{padrão})} \cdot 100$$

sendo:

I_{rel} : Intensidade relativa

A : Área do fotopico

ϵ_{rel} : Eficiência relativa obtida a partir da curva de eficiência do detetor

As covariâncias das intensidades relativas é obtida a partir da equação matricial:

$$V_I = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{\partial I_1}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_1}{\partial d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial I_N}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_N}{\partial d} \end{pmatrix}}_I \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \sigma_a^2 & \text{COV}_{ab} & \dots & \text{COV}_{ad} \\ \text{COV}_{ba} & \sigma_b^2 & \dots & \text{COV}_{bd} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{COV}_{ad} & \dots & \dots & \sigma_d^2 \end{pmatrix}}_I \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{\partial I_1}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_1}{\partial d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial I_N}{\partial a} & \dots & \frac{\partial I_N}{\partial d} \end{pmatrix}^t}_{III} + \underbrace{\left(\frac{\partial I_i}{\partial A_i} \sigma_{A_i} \right)}_{II} \delta_{ij} + \underbrace{\left(\frac{\partial I}{\partial E_i} \right)}_{III} V_{ij} \left(\frac{\partial I}{\partial E_i} \right)^t \quad (4.1)$$

I Matriz de covariância nas N intensidades devido à covariância nos parâmetros (a,b,c,d) da curva de eficiência do detector.

II Matriz diagonal contendo os erros nas intensidades dos raios- γ devido aos erros em suas áreas.

III Matriz de covariância das intensidades devido à covariância nas energias dos raios- γ .

Detalhes sobre estes formalismos podem ser encontrados nas referências [35, 36, 37].

Bibliografia

- [1] PRESTON, M. A. *Physics of the nucleus*. Reading, Mass., Addison-Wesley, 1962.
- [2] DELAROCHE, J. P.; VARNER, R.C.; CLEGG, T.B.; ANDERSON, R.E.; BURKS, B.L.; LUDWIG, E.J.; WILKERSON, J. F. Structure of low-lying states of $^{76,78,80,82}\text{Se}$ deduced from (p (pol), p') scattering at 16 MeV. *Nucl. Phys., A*, **414**:113-40, 1984.
- [3] KURUP, R.G.; FINLAY, R.W.; RAPPORT, J.; DELAROCHE, J.P. Strong coupling and isospin effects in neutron scattering from $^{76,80}\text{Se}$. *Nucl. Phys., A*, **240**:237-56, 1984.
- [4] MATSUZAKI, T. & TAKETANI, H. Band structures of ^{76}Se and ^{78}Se . *Nucl. Phys., A*, **390**:413-48, 1982.
- [5] WELLS, J.C.; ROBINSON, R.L.; KIM, H.J.; SAYER, R.O.; PEIRCEY, R.B.; RAMAYYA, A.V.; HAMILTON, J.H.; MAGUIRE, C.F. High-spin states and band structure in ^{76}Se . *Phys. Rev., C*, **22**:1126-37, 1980.
- [6] NUCLEAR data sheets, 42(3), 1984.
- [7] FUNK JR., E.G. & WIEDENBECK, M.L. Directional correlation of the gamma rays of ^{76}Se . *Phys. Rev.*, **109**:922-5, 1958.
- [8] GIRGIS, R.K. & VANLOSHBUT, R. On the decay of ^{76}Br . *Nucl. Phys.*, **13**:473-84, 1959.
- [9] LINDQVIST, T. & MARKLUND, J. Mixing ratios of $2^+ \rightarrow 2^+$ transitions in some even nuclei. *Nucl. Phys.*, **4**:189-205, 1957.
- [10] NAGAHARA, T. Energy levels in ^{76}Se from the decay of ^{76}As . *J. Phys. Soc. Jpn.*, **34**:579-87, 1973.

- [11] KAUR, R.; SHARMA, A. K.; SOOCH, S.S.; VERMA, H.R.; TREHAN, P.N. Level structure in ^{76}Se . *J. Phys Soc. Jpn.*, **49**:1214-21, 1980.
- [12] PEIKUN, W.; FENGYING, L.; GUANJUN, Y.; SHENGGANG, L.; XI-ANE, L.; SHIPING, C. *Chin. J. Nucl. Phys.*, **4**:201-7, 1982
- [13] LEDERER, C.M. & SHIRLEY, V.S. eds. *Table of isotopes*. 7. ed. New York, Wiley, 1978.
- [14] VANIN, V. R. *Estudo dos decaimentos do ^{101m}Rh e do ^{101f}Rh e estrutura nuclear do ^{101}Ru* . São Paulo, 1984. (Tese de doutoramento, Instituto de Física - Universidade de São Paulo)
- [15] International Atomic Energy Agency *X-ray and Gamma-ray standards for detector calibration*. Viena, September 1991. (IAEA - TECDOC - 619)
- [16] GOUFFON, P. *Manual do Programa Idefix*, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1982.
- [17] GOUFFON, P. *Manual do Programa Ajuste*, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear. 1987
- [18] KENCHIAN, G. *Programa Intercov*. Comunicação interna, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1992
- [19] KENCHIAN, G. *Programa Ajucov*. Comunicação interna, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear 1992.
- [20] KENCHIAN, G. *Programa Inten*, Comunicação interna, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1992.
- [21] COHENCA, J.M. *Manual do Programa de Aquisição Bidi*, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1983.
- [22] KENCHIAN, G.; VANIN, V.; GOUFFON, P. *MBP - Programa de construção de histograma bidimensional a partir de dados em modo fila bidimensional*, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear. 1992

- [23] VANIN, V. *Manual do programa Panoramix*, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1988
- [24] ROSE, H J. & BRINK, D. M. Angular distributions of gamma rays in terms of phase-defined reduced matrix elements. *Rev. Mod Phys.*, 39(2):306-47, 1967.
- [25] FRAUENFELDER, H. & STEFFEM, R.M. Angular correlations. In: SIEGBAHN, K., ed. *Alpha, beta and gamma-ray spectroscopy*. Amsterdam, North-Holland, 1965. v.2, p.997-1198.
- [26] STEFFEM, R. M. & ALDER, K. Angular distribution and correlation of gamma-ray. In: HAMILTON, W. D., ed. *The electromagnetic interaction in nuclear spectroscopy*. Amsterdam, North-Holland, 1975. p.505-82.
- [27] ZAMBONI, C. B. & SAXENA, R. N. Gamma-Gamma angular correlation in the decay of ^{76}As . *Phys. Rev., C*, 39:2379-82, 1989.
- [28] FUNEL, G. Etude, par la Methode de coincidence, dela desintegration de l'Arsenic 76. *C.R. Acad. Sci., Ser. B*, 274:662-4, 1972
- [29] ARDISSON, G.; MARSOL, C.; RAHMOUNT, O.; AGUER, P. Etude du schema de desintegration de ^{76}As . *Nucl Phys., A*, 179:545-53, 1972.
- [30] MULLER, H.; WOHLFARTH, D.; HENTSCHEL, E. *Experimental results of spectroscopical investigation of the isotopes $^{76,78,80,82}\text{Se}$* . Rossendorf, Zentralinstitut fur Kernforschung, 1974. (ZFK -273).
- [31] MORCOS, N.A.; WARD, T. E.; KURODA, P.K. Decay of ^{76}As . *Nucl. Phys., A*, 171:647-59, 1971.
- [32] . IIZAWA, K.; KITAMURA, I.; KAWADE, K.; YAMAMOTO, H.; YOSHIKAWA, K.; SUSUMU, A.; KATOH, T. Gamma-ray spectroscopy of ^{76}As . *J. Phys. Soc. Jpn.*, 30:901-9, 1970.
- [33] MACMILLAN, D.K. & PATE, B.D. Levels in Se populated in the decay of ^{76}As . *Nucl Phys.*, 174:604-16, 1971.
- [34] BORSARU, M.; GEBBIE, D.W.; NURZYNSKI, J.; HOLLAS, C.L.; BARBOPOULOS, L.O.; QUINTON, A.R. A study of the $^{78,76}(\text{p,t})^{76,74}\text{Se}$ radiations at $E=33\text{MeV}$. *Nucl. Phys., A*, 284:379-98, 1977.

-
- [35] VANIN, V.R. *Tópicos avançados em tratamento estatístico de dados em física experimental*. Comunicação interna São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear 1992.
- [36] HELENE, O.A. M. *Método do mínimo quadrado com formalismo matricial: Introdução de vínculos e correlações entre os parâmetros*. Comunicação interna São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear. 1986.
- [37] HELENE, O. A. M.; VANIN, V.R. *Tratamento estatístico de dados em física experimental*. Editora Edgard Blücher LTDA 2a.ed., São Paulo, Brasil, 1991.