ATENÇÃO

O ORIGINAL DESTE ÍTEM NÃO FORNECE CONDIÇÕES PARA OBTER UMA CÓPIA DIGITALIZADA COM MELHOR QUALIDADE

AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

ESTUDO DO DECAIMENTO β^- DOS NÚCLEOS ^{101}Mo E ^{101}Tc

FREDERICO ANTONIO GENEZINI

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações.

Orientadora:
Dra. Cibele Bugno Zamboni

São Paulo
1999

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

ESTUDO DO DECAIMENTO β^- DOS NÚCLEOS ^{101}Mo E ^{101}Tc

FREDERICO ANTONIO GENEZINI

Dissertação apresentada como parte dos Requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações.

Orientadora:
Dra. Cibele Bugno Zamboni

SÃO PAULO
1999

IPEN
LIVRO
Nº 21928
BIBLIOTECA

É errado pensar que a tarefa da física é descobrir como a natureza é. A física diz respeito ao que conseguimos falar sobre a natureza.

Niels Bohr

Agradecimentos

Diversas pessoas contribuíram direta e indiretamente para que este trabalho fosse viável. Em especial gostaria de agradecer:

À Profª. Cibele B. Zamboni, pela orientação , incentivo e compreensão, desde minha iniciação na pesquisa científica.

Ao Prof. Manoel Tiago Freitas da Cruz, pelas substanciais contribuições em diversas etapas do trabalho.

Aos amigos Agostinho, Ilca e Sonia, por toda ajuda, incentivo e amizade.

Ao Zwinglio O. Guimarães Filho pelas valiosas discussões e pelo auxílio no uso do programa BIDIM.

Aos colegas Juan, Paulo Rios, Ruy, David e Eduardo pelo auxílio durante as medidas no Laboratório do Acelerador Linear.

Ao Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP por possibilitar a realização das medidas utilizando o controlador multidetector.

À Profª. Linda Caldas pela colaboração relativa ao uso do computador utilizado na análise de dados.

Ao IPEN/CNEN por possibilitar a realização deste trabalho.

À CAPES pelo suporte financeiro.

À minha esposa, pela paciência compreensão e companheirismo.

Finalmente meus pais, avós e irmãos pelo carinho e apoio em todos os momentos.

ESTUDO DO DECAIMENTO β^- DOS NÚCLEOS ^{101}Mo E ^{101}Tc

Frederico Antonio Genezini

RESUMO

Os níveis de energia dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru foram investigados pelo decaimento β^- do ^{101}Mo ($T_{1/2}$ = 14,6 min) e ^{101}Tc ($T_{1/2}$ = 14,2 min) , respectivamente.

Os espectros de raios γ foram obtidos com detetores de Ge(Li) e HPGe de alta resolução. O arranjo de coincidência utilizou o módulo multidetector, padrão Camac, desenvolvido no Laboratório do Acelerador Linear (IFUSP). Do total de raios γ observados, 185 foram atribuídos ao decaimento β^- do ^{101}Mo e 32 ao decaimento β^- do ^{101}Tc .

Os resultados experimentais obtidos no presente estudo, juntamente com os dados existentes na literatura, possibilitaram estabelecer spin e paridade para muitos dos níveis estudados.

Os dados do presente estudo foram discutidos por meio de uma comparação sistemática de algumas propriedades nucleares de núcleos com A ímpar (A~100).

DECAY OF ^{101}Mo AND ^{101}Tc

Frederico Antonio Genezini

ABSTRACT

The energy levels of ^{101}Tc and ^{101}Ru have been investigated through a study of the β^- decay of 14.6 min ^{101}Mo and 14.2 min ^{101}Tc.

The γ-ray spectra were obtained with high-resolution Ge(Li) and HPGe detectors. The coincidence apparatus used the Camac multidetector module developed at the Laboratório do Acelerador Linear (IFUSP) . Of the total number of γ- rays observed, 185 are assigned to the decay of ^{101}Mo and 32 to the decay of ^{101}Tc.

Present results together with the results of earlier studies permitted assignments of spin and parity for many of the levels studied. A comparison of some of the properties of odd-mass (A~100), has been made in order to illustrate the systematic variation of these properties with mass number.

Indíce

Introdução.....1

Capítulo I. Espectrocopia γ.....4

I.1. Introdução.....4

I.2. Instrumentação.....4

I.2.1. Espectrômetro γ.....4

I.2.2. Sistema Eletrônico.....5

I.3. Técnica Experimental.....6

I.3.1. Preparação da Fonte Radioativa.....6

I.3.2. Medidas de Espectroscopia γ.....7

I.4. Análise de Dados.....7

I.4.1. Acompanhamento da Meia-vida.....8

I.4.2. Correção de Simples e Duplo Escape.....10

I.4.3. Cálculo da Energia das Transições γ.....11

I.4.4. Cálculo da Intensidade das Transições γ.....14

I.5. Resultados.....18

I.5.1 Transições γ associadas ao decaimento β^- do núcleo de ^{101}Mo.....18

I.5.2 Transições γ associadas ao decaimento β^- do núcleo de ^{101}Tc.....28

Capítulo II. Coincidência multiparamétrica.....40

II.1. Introdução.....40

II.2. Instrumentação.....42

II.2.1. Espectrômetro γγγ.....42

II.2.2 Eletrônica de coincidência.....43

II.3. Técnica Experimental e Análise de Dados.....47

II.3.1 Produção de fontes de ^{101}Mo para medidas de coincidência.....47

II.3.2. Aquisição de dados via multidetecção....47
II.3.3. Análise de Dados....48
II.4. Cálculo da Intensidade Relativa....49
II.5. Posicionamento das transições γ no esquema de níveis....53
II.6. Resultados....54
II.6.1. Relações de coincidências no núcleo de ^{101}Tc....54
II.6.2. Relações de coincidências no núcleo de ^{101}Ru....65

Capítulo III. Esquema de Níveis....**68**

III.1. Cálculo das Energias dos Níveis....68
III.2. Intensidade da Alimentação Beta....70
III.3. Resultados....72
III.3.1. Esquema de níveis do núcleo ^{101}Tc....72
III.3.2. Esquema de níveis do núcleo ^{101}Ru....84
III.4. Análise dos Níveis Excitados....88
III.4.1. Núcleo de ^{101}Tc....88
III.4.2. Núcleo de ^{101}Ru....98

Capítulo IV. Discussão....**103**

IV.1. Estudo Sistemático dos isótopos de ^{101}Tc e isótonos com N=58...103
IV.2. Estudo Sistemático dos isótopos de ^{101}Ru e isótonos com N=57..109

Capitulo V. Conclusões....**113**

Apêndice A....**115**

Apêndice B....**116**

Referências....**119**

Lista de Figuras

Capítulo I

Figura I.1. Sistema Eletrônico.....5
Figura I.2. Exemplo do acompanhamento da meia-vida.....10
Figura I.3. Ajuste obtido para as transições de 402keV e 412keV.....24
Figura I.4. Ajuste obtido para a transição de 484keV.....24
Figura I.5. Ajuste obtido para a transição de 666keV.....25
Figura I.6. Ajuste obtido para a transição de 992keV.....25
Figura I.7. Ajuste obtido para a transição de 1028keV.....26
Figura I.8. Ajuste obtido para a transição de 1345keV.....26
Figura I.9. Ajuste obtido para a transição de 1369keV.....27
Figura I.10. Ajuste obtido para a transição de 1447keV.....27
Figura I.11. Ajuste obtido para a transição de 227keV.....30
Figura I.12. Espectro das transições γ dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru.....31

Capítulo II

Figura II.1. Histograma de tempo obtido com os dados da presente medida.....41
Figura II.2. Espectrômetro γγγ.....43
Figura II.3. Eletrônica de coincidência do sistema multidetector do LAL/IFUSP.....45
Figura II.4. Carta de tempo do controlador multidetector.....46

Capítulo III

Figura III.1. Esquema de níveis do núcleo ^{101}Tc propostos neste estudo.....76
Figura III.2. Esquema de níveis do núcleo ^{101}Tc propostos pelo NDS [16].....80
Figura III.3. Esquema de níveis do núcleo ^{101}Ru propostos neste estudo.....86
Figura III.4. Esquema de níveis do núcleo ^{101}Ru propostos pelo NDS [16].....87

Capítulo IV

Figura IV.1. Diagrama parcial de níveis de energia dos isótopos de Tc.....107
Figura IV.2. Diagrama parcial de níveis de energia dos isótonos com N=58 108
Figura IV.3. Diagrama parcial de níveis de energia dos isótopos de Ru.....111
Figura IV.4. Diagrama parcial de níveis de energia dos isótonos com N =57.....112

Apêndice B

Figura B.1. Tela do Programa BIDIM.....117
Figura B.2. Exemplo da tela apresentada pelo programa Bidim referente aos resultados obtidos para um ajuste bidimensinal das transições de 590keV e 712 keV.....118

Lista de Tabelas

Capítulo I

Tabela I.1: Energia e intensidade relativa dos raios γ do núcleo ^{101}Tc.....18

Tabela I.2: Energia e intensidade relativa dos raios γ do núcleo ^{101}Ru.....29

Capítulo II

Tabela II.1: Sumário das relações de coincidência das transições γ do decaimento β^- do núcleo ^{101}Mo.....54

Tabela II.2: Posicionamento das transições γ do decaimento beta do núcleo ^{101}Mo....59

Tabela II.3: Intensidade relativa das transições γ observadas pela medida de coincidência para o núcleo de ^{101}Mo.....65

Tabela II.4: Sumário das relações de coincidência do núcleo ^{101}Ru.....65

Tabela II.5: Posicionamento das transições γ do núcleo ^{101}Ru.....67

Capítulo III

Tabela III.1:Valores de $E_{nível}$, spin e paridade (I^{π}) do decaimento β^- do núcleo ^{101}Mo, estabelecidos neste estudo, comparados com os valores extraídos do NDS [16].....72

Tabela III.2: Valores obtidos para alimentação beta e log *ft* dos níveis excitados do ^{101}Tc juntamente com os valores obtidos nos estudos mais recentes [3,4] para comparação.....74

Tabela III.3: Valores de $E_{nível}$, spin e paridade (I^{π}) do decaimento β^- do núcleo ^{101}Ru, estabelecidos neste estudo, comparados com os valores extraídos do NDS [16]. 84

Tabela III.4: Valores obtidos no presente estudo para log *ft* e alimentação beta (I_β) do núcleo de ^{101}Ru juntamente com os valores mais recentes [3,4] para comparação.....85

Apêndice A

Tabela A.1: Composição isotópica do Mo [7].....115

Introdução

As propriedades nucleares estabelecidas por meio da investigação do decaimento beta são de grande relevância, pois geram informações que ajudam a descrever o comportamento estrutural dos núcleos. Normalmente, os núcleos par par, na região de massa $70< A < 150$ são discutidos em termos de vibrações, de rotações do caroço levemente deformado ou ainda pela excitação de partícula única. Entretanto, para núcleos com A impar próximo a região considerada transicional a análise em termos de modelos é bem mais complexa. Usualmente, são elaboradas combinações teóricas que envolvem hipóteses extraídas de vários modelos, na tentativa de esclarecer as propriedades nucleares associadas a estes núcleos.

A determinação experimental de propriedades nucleares na região de massa transicional compõe a sistemática de investigação realizada pelo Laboratório de Estrutura Nuclear (LEN) do IPEN em parceria com o Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP.

A presente investigação, que envolve o estudo do decaimento beta dos núcleos ^{101}Mo e ^{101}Tc, oferece a oportunidade de investigar parâmetros nucleares, obtidos experimentalmente, dos níveis de baixa energia (até 3,0 MeV) nesta região de massa.

O objetivo do presente estudo é obter dados experimentais, referentes aos decaimentos β^- dos núcleos de ^{101}Mo ($T_{1/2}$ =14,6 min) e ^{101}Tc ($T_{1/2}$ =14,2 min), utilizando as técnicas de espectroscopia simples de alta resolução, de coincidência $\gamma\gamma$ e amostras de ^{100}Mo com alto grau de enriquecimento isotópico. Desta forma, pretende-se propor esquemas de níveis precisos e bem definidos para os núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru.

As motivações que levaram à realização destes estudos serão apresentadas a seguir.

A estrutura nuclear do ^{101}Tc conhecida atualmente foi praticamente definida durante as décadas de 60 e 70 através de estudos envolvendo o decaimento beta-gama, inicialmente com o uso de detectores de cintilação [1,2] e posteriormente com detectores de Ge(Li) [3,4]. Um dos primeiros estudos relevantes foi realizado por Martin e outros [1] fornecendo um esquema de decaimento simplificado, com 22 raios γ distribuídos em níveis de energia de até 2200 keV. Já, no trabalho de Cook e Jonhs [3], com o emprego de detectores de Ge(Li), 152 raios-γ foram incorporados ao esquema de decaimento, agora distribuído em 45 níveis de energia. Pouco tempo depois Wright e outros [4] realizaram medidas extensivas de coincidências γγ, também com detectores de Ge(Li) e mais 18 raios γ foram incorporados ao esquema de níveis de energia de até 2700 keV. Recentemente, Hammed e outros [5] , utilizando detectores de HPGe e Ge(Li) atribuíram 183 transições γ a este decaimento das quais 47 não foram posicionadas. Apesar de todas as informações já existentes, os esquemas de níveis propostos nesses três últimos estudos citados [3,4,5] mostram muitas discrepâncias. Existem varias transições γ, que devido à baixa intensidade relativa, isto é, $<10^{-2}$ % (relativa, pois refere-se à transição γ de 191 keV considerada 1000%) ainda estão por ser confirmadas e outras que, embora observadas nos diferentes estudos, não foram posicionadas no esquema de níveis. Além disso, no cálculo dos valores de intensidade a incerteza, em muitos casos, é da ordem de até 50%.

Da mesma forma, a estrutura nuclear do núcleo ^{101}Ru, conhecida atualmente, também foi estabelecida na década de 70. Um dos primeiros estudos relevantes foi realizado por Aras e outros [6], usando detector de Ge(Li), sendo identificadas 33 transições γ das quais 32 foram posicionadas em 12 níveis de energia. Na mesma época, medidas de espectroscopia γ e coincidência γγ, realizadas por Cook e Jonhs [3], apresentam o esquema de decaimento do ^{101}Tc composto por 25 transições γ agora distribuídas em 10 níveis de energia. Posteriormente, um estudo realizado por Wright e outros [4], confirmou os dados de Cook e Jonhs [3], além de propor a existência de uma nova transição γ. Recentemente, foi realizado por Hammed e outros [5] um estudo referente a este decaimento. Trata-se de medidas de espectroscopia γ onde foram identificadas 30 transições γ, das quais 5 não foram posicionadas. Além disso, em alguns casos a incerteza nos valores de intensidade chega a 75%.

Nesta investigação as medidas de espectroscopia γ foram realizadas no LEN e as medidas de coincidências multiparamétricas no IFUSP onde foi utilizado um aparato de coincidências que permitiu a determinação de energia e intensidade de dubletos não resolvidos no experimento de espectroscopia simples.

Neste estudo os espectros dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru foram precisamente estabelecidos tornando-se uma contribuição importante para futuros cálculos teóricos.

A abordagem destas medidas é feita em cinco capítulos. No capítulo I, é descrita a medida de espectroscopia gama onde são detalhadas as etapas referentes ao arranjo experimental, à aquisição, análise de dados e resultados. Da mesma forma, no capítulo II tem-se a descrição das medidas de coincidências. No capítulo III, é apresentada a discussão dos resultados experimentais no que diz respeito à atribuição de spin e paridade de todos os níveis medidos, bem como a proposição dos esquemas de decaimento beta dos núcleos estudados. No capítulo IV, é apresentada uma discussão sistemática em termos de núcleos vizinhos (isótopos e isótonos) e uma revisão teórica em modelos nucleares. No capítulo V são apresentadas as conclusões do presente estudo. No apêndice A, é descrito o programa empregado na análise de dados de coincidência γγ.

As referências bibliográficas são numeradas independentemente dos capítulos sendo apresentadas de acordo com sua citação no texto. As tabelas, figuras e equações são numeradas para cada capítulo em algarismos romanos, precedendo o número de ordem.

Capítulo I. Espectroscopia γ

I.1. Introdução

A medida de espectroscopia γ constituiu-se na aquisição de espectros diretos dos estados excitados dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru, visando a identificação das transições γ associadas ao decaimento β^- dos núcleos ^{101}Mo e ^{101}Tc e o cálculo de sua energia e intensidade relativa.

I.2. Instrumentação

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

I.2.1. Espectrômetro γ

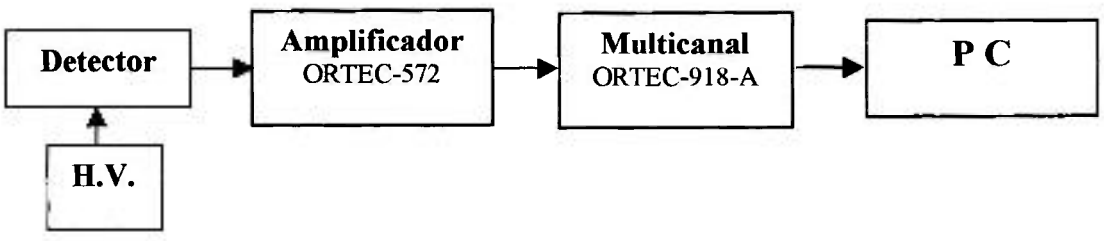
O espectrômetro γ é composto por um detector vertical de Ge(Li) de 35 cm^3 de volume, com resolução de 1,98 keV para a transição γ de 1332 keV pertencente ao decaimento

do ^{60}Co, montado em uma blindagem de chumbo, visando minimizar a radiação de fundo. Um suporte circular de lucite, centralizado na face do detector, sustenta a fonte a uma distância de 8 cm, condição estabelecida após testes, para minimizar alguns efeitos secundários na detecção de raios γ .

I.2.2. Sistema Eletrônico

A eletrônica associada ao sistema de detecção é a convencional em energia. O pulso produzido no detector é pré-amplificado e transmitido a um amplificador (ORTEC – 572). Este amplificador gera em sua saída unipolar um pulso analógico de altura proporcional à energia da transição γ. Os pulsos provenientes do amplificador são enviados ao multicanal ADCAM (ORTEC – 918 A), onde são convertidos em 4096 canais. A aquisição de dados é feita em um micro computador através do programa MCA. O sistema eletrônico é apresentado em um diagrama de blocos na figura I.1.

Figura I.1 Sistema Eletrônico



I.3. Técnica Experimental

Nesta seção será descrito o preparo das fontes radioativas de ^{101}Mo e o procedimento para aquisição de dados.

I.3.1. Preparação da Fonte Radioativa

Para o estudo dos estados excitados dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru foram utilizadas fontes radioativas de ^{101}Mo obtidas pela reação ^{100}Mo(n,γ)^{101}Mo. Para obtenção das fontes de ^{101}Mo, foram irradiadas cerca de 5 mg de ^{100}Mo, enriquecido isotopicamente em aproximadamente 99%, no reator IEA-R1m do IPEN, em um fluxo de ~10^{13} n.cm^{-2}.s^{-1}, durante um intervalo de tempo de 5 minutos. O núcleo ^{101}Mo decai por β^-, com meia-vida de 14,6 minutos [7], e popula os estados excitados do ^{101}Tc que decai por β^-, com meia-vida de 14,2 minutos [7], e popula os estados excitados do ^{101}Ru.

Esquematicamente:

$$^{100}\text{Mo}\ (n,\gamma)\ ^{101}\text{Mo} \xrightarrow[T_{1/2}\sim 14{,}6\ \text{min}]{\beta^-} {}^{101}\text{Tc} \xrightarrow[T_{1/2}\sim 14{,}2\ \text{min}]{\beta^-} {}^{101}\text{Ru}$$

O tempo de irradiação foi estabelecido em 5 minutos, visando minimizar o efeito de empilhamento.

Foram utilizadas quatro amostras de ^{100}Mo, individualmente seladas em um tubo de sílica, para as irradiações. Porém deve ser enfatizado que para efetuar a medida a fonte era retirada do tubo de sílica e colocada em um porta amostras. Essas amostras foram utilizadas

em forma de rodízio para evitar o aumento da atividade inicial das fontes de ^{101}Mo. Foram produzidas 22 fontes para a realização desta etapa do trabalho. Maiores informações sobre a amostra utilizada são fornecidas no apêndice A.

I.3.2. Medidas de Espectroscopia γ

Após a irradiação, transferia-se a fonte para o porta amostras posicionado no espectrômetro γ, conforme descrito em I.2.1. Cada fonte foi utilizada por ~5 $T_{1/2}$ (75minutos) visando o acompanhamento da meia-vida dos decaimentos do ^{101}Mo e do ^{101}Tc.

Para cada fonte foram obtidos 15 espectros de 5 minutos cada, totalizando no final da medida 27,5 horas de contagem. O espectro de radiação de fundo do laboratório, foi medido nas mesmas condições e pelo mesmo intervalo de tempo para que posteriormente fosse feita a devida correção.

O espectro das transições γ dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru correspondente à aquisição de 27,5 h, denominado Espectro-Soma, foi utilizado para o cálculo da energia e intensidade relativa das transições γ observadas.

I.4. Análise de Dados

A análise de um espectro simples consiste basicamente na determinação da energia e intensidade das transições γ presentes nele. Por se tratar de um estudo que envolve dois

decaimentos sucessivos foi necessário identificar, através do acompanhamento da meia-vida, a qual decaimento pertence cada transição γ observada.

I.4.1. Acompanhamento da Meia-vida

A aquisição de dados para cada fonte foi feita conforme descrito em I.3.2.

Considerando que ambos os decaimentos em estudo têm meia-vida da ordem de 15 minutos, realizou-se somas parciais correspondentes a cinco meia-vidas. Como fora obtido no total 27,5 horas de contagem, o tempo da contagem acumulada em cada meia-vida foi de 5,5 horas.

Esquematicamente:

1ª FONTE (aquisição de 15 espectros de 5minutos cada)		Tempo de contagem
1° + 2° + 3° = A_1	(1ª $T_{1/2}$ = 15min)	0 -15min
4° + 5° + 6° = B_1	(2ª $T_{1/2}$ = 15min)	15 - 30min
7° + 8° + 9° = C_1	(3ª $T_{1/2}$ = 15min)	30 - 45min
10° + 11° + 12° = D_1	(4ª $T_{1/2}$ = 15min)	45 - 60min
13° + 14° + 15° = E_1	(5ª $T_{1/2}$ = 15min)	60 - 75min

Seguindo o mesmo procedimento, tem-se:

2ª FONTE (aquisição de 15 espectros de 5minutos cada)		Tempo de contagem
1° + 2° + 3° = A_2	(1ª $T_{1/2}$ = 15min)	0 -15min
4° + 5° + 6° = B_2	(2ª $T_{1/2}$ = 15min)	15 - 30min
7° + 8° + 9° = C_2	(3ª $T_{1/2}$ = 15min)	30 - 45min
10° + 11° + 12° = D_2	(4ª $T_{1/2}$ = 15min)	45 - 60min
13° + 14° + 15° = E_2	(5ª $T_{1/2}$ = 15min)	60 - 75min

•
•
•

Até:

22ª FONTE (aquisição de 15 espectros de 5minutos cada)		Tempo de contagem
$1° + 2° + 3° = A_{22}$	($1ª\ T_{1/2} = 15min$)	0 -15min
$4° + 5° + 6° = B_{22}$	($2ª\ T_{1/2} = 15min$)	15 - 30min
$7° + 8° + 9° = C_{22}$	($3ª\ T_{1/2} = 15min$)	30 - 45min
$10° + 11° + 12° = D_{22}$	($4ª\ T_{1/2} = 15min$)	45 - 60min
$13° + 14° + 15° = E_{22}$	($5ª\ T_{1/2} = 15min$)	60 - 75min

A seguir realizou-se somas parciais referentes a cada meia–vida, isto é:

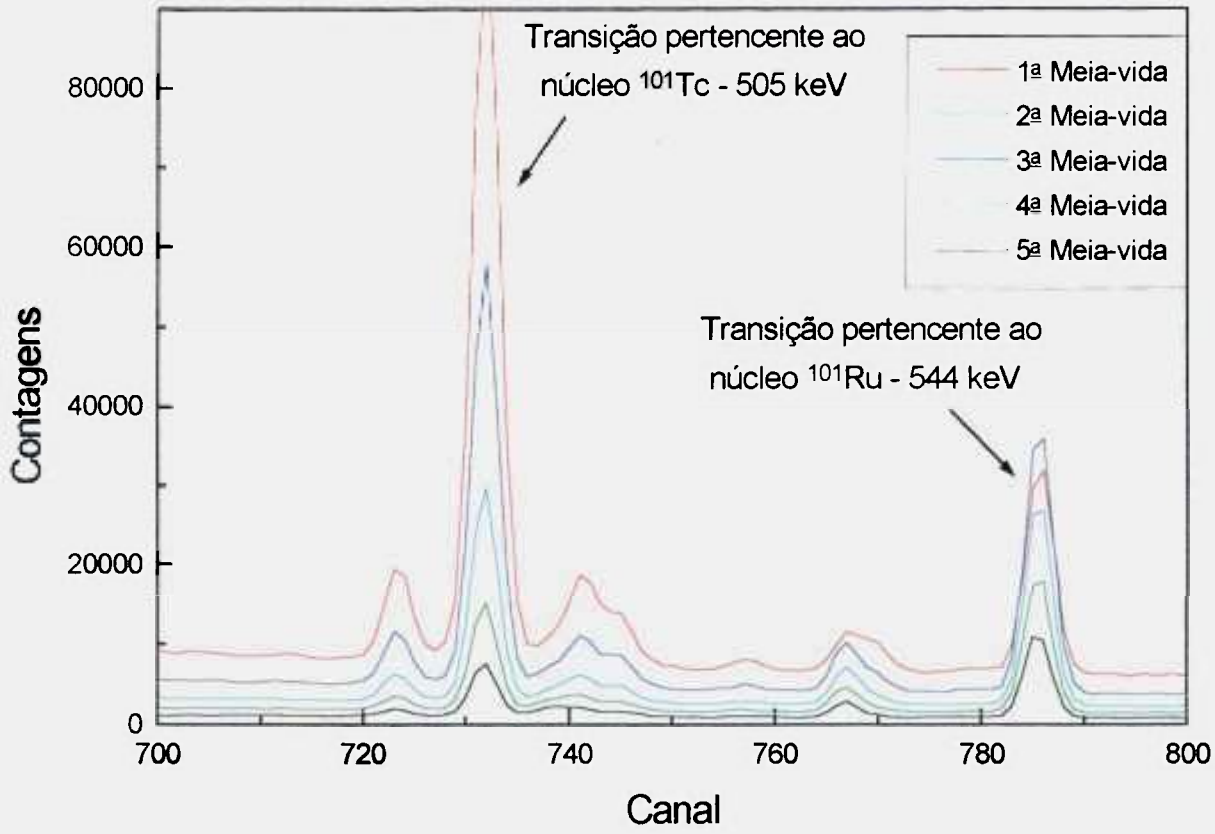
SOMAS PARCIAIS		Tempo de contagem
$A_1 + A_2 + \ldots + A_{21} + A_{22} = A$	($1ª\ T_{1/2}$)	5,5h
$B_1 + B_2 + \ldots + B_{21} + B_{22} = B$	($2ª\ T_{1/2}$)	5,5h
$C_1 + C_2 + \ldots + C_{21} + C_{22} = C$	($3ª\ T_{1/2}$)	5,5h
$D_1 + D_2 + \ldots + D_{21} + D_{22} = D$	($4ª\ T_{1/2}$)	5,5h
$E_1 + E_2 + \ldots + E_{21} + E_{22} = E$	($5ª\ T_{1/2}$)	5,5h

Os espectros parciais, denominados A,B,C,D e E foram utilizados para o estudo do acompanhamento das meias-vidas.

Por se tratar de dois decaimentos sucessivos, é esperado que o número de transições γ por unidade de tempo relacionadas com o primeiro decaimento, diminua da primeira para a segunda meia-vida e assim por diante, enquanto que para as transições γ relacionadas com o segundo decaimento, espera-se que a taxa de contagem aumente da primeira para a segunda meia-vida e então comece a decrescer. Portanto, calculando a área de cada transição γ presente nos espectros correspondentes às cinco meia-vidas, foi possível fazer a identificação precisa de qual dos decaimentos pertence à transição γ em questão.

Um exemplo desta forma de identificação é apresentado na figura I.2, onde são diferenciadas quanto ao decaimento de origem as transições 505 keV pertencente ao núcleo ^{101}Tc e 544 keV pertencente ao núcleo ^{101}Ru. As áreas foram calculadas através do programa PANORAMIX [8].

Figura I.2. Exemplo do acompanhamento da meia-vida



I.4.2. Correção de Simples e Duplo Escape

A presença de fotopicos devidos ao simples e duplo escape pode prejudicar a identificação das transições γ dos núcleos em estudo, bem como alterar a intensidade atribuída a estas transições. Para fazer a correção destes efeitos, determina-se a razão entre a área do fotopico gerado pelo escape e a área da transição γ que o gerou e a partir desses valores, ajusta-se uma curva em função da energia (usualmente um polinômio de terceiro grau).

Com o objetivo de determinar esta curva foram realizadas medidas com as fontes padrão de ^{152}Eu e ^{56}Co. Porém, observou-se que para o detector utilizado apenas transições γ com energia superior a 2 MeV geravam fotopicos de simples escape, não sendo observada a produção de fotopicos de duplo escape. Este fato limitou o número de pontos da curva impossibilitando a realização do ajuste. Para garantir que fotopicos de simples escape não interferissem na análise, verificou-se a possibilidade da produção deste efeito para todas as transições γ com energia superior a 2 MeV dos núcleos em estudo. Porém nenhuma destas transições γ gerou o fotopico de simples escape.

I.4.3. Cálculo da Energia das Transições γ

Devido à boa resolução do detector de Ge(Li) utilizado na medida (~1,98keV para a transição γ de 1332 keV do ^{60}Ni) e ao método de ajuste dos fotopicos pelo programa IDF [9], foi possível estabelecer a "centróide" dos fotopicos com precisão da ordem de 1 eV. Dessa forma pôde-se determinar precisamente as energias das transições γ do núcleo em estudo através do método de calibração em energia, com o tratamento covariante, descrito a seguir.

Considerando um conjunto de dados (E_i,X_i), i=1,2...,n , onde X_i é o valor da posição do fotopico associado à transição de energia E_i, proveniente de uma fonte padrão. A curva de calibração consiste de um polinômio $E(x) = a_1 + a_2.x + a_3.x^2 + ...$ que melhor representa o conjunto de dados. Utilizando o formalismo matricial:

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & X_1 & \cdots & X_1^{n-1} \\ 1 & X_2 & \cdots & X_2^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_n & \cdots & X_n^{n-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix} \qquad \textbf{I.1}$$

ou de forma mais compacta, tem-se:

$$\mathbf{E} = \mathbf{X_E}.\mathbf{A_E} + \boldsymbol{\varepsilon} \qquad \textbf{I.2}$$

onde ε_i é o erro de E_i

Pelo método de mínimos quadrados, determina-se o vetor dos parâmetros:

$$\tilde{\mathbf{A}} = (\mathbf{X_E}^t.\mathbf{V_E}^{-1}.\mathbf{X_E})^{-1}.\mathbf{X_E}^t.\mathbf{V_E}^{-1}.\mathbf{E} \qquad \textbf{I.3}$$

onde

$\mathbf{V_{\tilde{A}}} = (\mathbf{X_E}^t.\mathbf{V_E}^{-1}.\mathbf{X_E})^{-1}$ é a matriz de covariância destes parâmetros.

V_E é a matriz de covariância das energias das fontes padrão [10]. Porém deve ser mencionado que estes dados fornecidos pela IAEA [10] apresentam apenas os desvios padrão das energias E_i, então V_E foi considerada diagonal. Como existe a incerteza da posição X_i (variável dependente), para que se possa usar o método dos mínimos quadrados, de forma não tendenciosa, essa incerteza deve ser propagada (1ª ordem é suficiente) para variável dependente, então:

$$\mathbf{V_E} = \left(\sigma_i^2 + \tilde{a}_2^2.\sigma_{x_i}^2\right).\delta_{i,j} \qquad \textbf{I.4}$$

onde: δ_{ij} é o delta de Kronecker e $\tilde{a}_2$ é o valor ajustado do parâmetro linear da curva de calibração.

Para determinação da curva de calibração foram utilizadas as fontes padrão de ^{152}Eu e ^{56}Co.

De posse dos parâmetros da curva de calibração e respectiva matriz de covariâncias, é possível, partindo da posição dos fotopicos das fontes em estudo, obter seus respectivos valores de energia e_i através de uma interpolação,

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & \cdots & x_1^{n-1} \\ 1 & x_2 & \cdots & x_2^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_m & \cdots & x_m^{n-1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_m \end{pmatrix} \qquad \textbf{I.5}$$

ou

$$\mathbf{e} = \mathbf{X_e}.\tilde{\mathbf{A}} + \varepsilon \qquad \textbf{I.6}$$

Como esses valores de energia foram obtidos através mesma curva de calibração, tem-se claro a necessidade de obter a covariância entre os mesmos. Utilizando o método de propagação das incertezas :

$$\mathbf{V_e} = \mathbf{X_e}.\mathbf{V_{\tilde{A}}}.\mathbf{X_e}^{t} \qquad \textbf{I.7}$$

Considerando-se a incerteza na posição x_i :

$$\mathbf{V_e} = \mathbf{X_e}.\mathbf{V_{\tilde{A}}}.\mathbf{X_e}^{t} + \tilde{a}_2^2.\sigma_{x_i}^2.\delta_{i,j} \qquad \textbf{I.8}$$

Para o cálculo dos valores de energia das transições do núcleo em estudo bem como a matriz de covariância dessas energias utilizou-se o programa INTERCOV [11].

I.4.4. Cálculo da Intensidade das Transições γ

A intensidade absoluta das transições γ é uma grandeza relacionada com a probabilidade dessa transição ocorrer. É definida como a taxa de emissão da transição pela taxa de decaimento do núcleo pai. A intensidade absoluta I está relacionada com a área do fotopico do espectro gama, A, através da equação:

$$A = N.I.\varepsilon \qquad \text{I.9}$$

onde: ε é a eficiência do detector para uma dada geometria e N é o número de decaimentos do núcleo durante um tempo de medida t, ou seja:

$$N = \int_0^t a\,.dt \qquad \text{I.10}$$

sendo a a atividade da fonte. Entretanto, será calculada no presente estudo a intensidade relativa, pois trata-se de uma forma de cálculo simplificada, por não depender da atividade da fonte. A intensidade relativa depende somente da área dos fotopicos e da eficiência relativa do detector associada à transição-gama na geometria de medida utilizada. Deve-se ressaltar que para a determinação dos parâmetros nucleares desejados, neste trabalho, não existe diferença entre o uso da intensidade relativa ou absoluta. Por não se conhecer a atividade da fonte em estudo com grande precisão, optou-se pelo método simplificado.

A curva de eficiência relativa do detector usado na medida de espectroscopia γ, um semicondutor de Ge(Li) ($35cm^3$), na geometria de detecção descrita em I.2.1, foi obtida utilizando-se fontes padrão de ^{152}Eu e ^{56}Co, as quais têm os valores da intensidade de algumas de suas transições-γ bem estabelecidos [10]. Para o cálculo da eficiência relativa, foram utilizadas as seguintes relações:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_p} \qquad \text{I.11}$$

onde:

ε_r = Eficiência relativa

ε = Eficiência

ε_p = Eficiência tomada como padrão

$$\varepsilon = \frac{A}{I.N} \qquad \text{I.12}$$

onde:

A = Área do fotopico

I = Intensidade da transição γ

N = Constante que depende da atividade da amostra

Desta forma, a eficiência para transição γ tomada como padrão é dada por:

$$\varepsilon_p = \frac{A_p}{I_p N} \qquad \text{I.13}$$

onde:

A_p= Área do fotopico tomado como padrão

I_p = Intensidade da transição γ tomada como padrão

Combinando as relações I.11 ,I.12 , e I.13. , tem-se:

$$\varepsilon_r = \frac{A}{I} \cdot \frac{I_R}{A_R} \qquad \text{I.14}$$

Deste modo, através do programa IDF [9], são determinados os valores das áreas dos fotopicos provenientes das fontes padrão, e a partir destes dados pode-se obter a eficiência relativa para os valores de energia destes fotopicos e ajustar a curva de eficiência do detector em função da energia da transição γ:

$$\varepsilon(E) = a_1.e^{-b1.E} + a_2.e^{-b2.E} \qquad \text{I.15}$$

onde a_1, a_2 e b_1, b_2 são os parâmetros ajustados.

A intensidade relativa I_r é definida como:

$$I_R = \frac{I}{I_{E_o}} \qquad \text{I.16}$$

onde E_0 é, em geral, a energia da transição gama mais intensa do decaimento e I_{E0} é um valor de referência. Usualmente utiliza-se um valor arbitrário como 100 ou 1000. Neste trabalho, por se tratarem de dois decaimentos sucessivos, foram selecionadas como referência duas transições, uma de cada decaimento, como base para o cálculo da intensidade relativa das demais transições. Essas transições, 190,74keV para o decaimento do ^{101}Mo e 305,90keV para o decaimento do ^{101}Tc, foram escolhidas, por serem as mais intensas de cada decaimento, sendo assumidas como 1000 %.

A intensidade relativa pode ser escrita em função da área e da eficiência relativa através da equação:

COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IPEN

$$I_r = \frac{A}{\varepsilon_r} \cdot \frac{\varepsilon_r(E_o)}{A(E_o)} \qquad \text{I.17}$$

onde:

$\mathbf{I_r}$ = Intensidade relativa do fotopico

A = Área do fotopico obtida com o programa Panoramix [8]

ε_r = Eficiência relativa, obtida a partir da curva de eficiência do detector

De posse da curva de eficiência relativa do detector, dos valores de energia dos fotopicos pertencentes aos núcleos estudados e sua respectiva incerteza assim como das áreas desses fotopicos e sua incerteza, através da relação I.17 foram calculados os valores de intensidade das transições referentes a esses fotopicos. Porém esses valores de intensidade foram gerados através da mesma curva de eficiência do detector e dependentes portanto de valores de energia covariantes. Novamente tem-se claro a necessidade de considerar essas covariâncias na propagação de incerteza :

$$\mathbf{V_{Ir}} = \mathbf{D}.\mathbf{V_{ab}}.\mathbf{D}^t + \left(\left.\frac{\partial I}{\partial A}\right|_i .\sigma_{A_i}^2\right)^2 .\delta_{i,j} + \left.\frac{\partial I}{\partial \varepsilon_i}\right|_i .(\mathbf{V_E})_{ij} .\left.\frac{\partial I}{\partial E}\right|_j \qquad \textbf{I.18}$$

onde

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \left.\frac{\partial I}{\partial a_1}\right|_1 & \left.\frac{\partial I}{\partial a_2}\right|_1 & \left.\frac{\partial I}{\partial b_1}\right|_1 & \left.\frac{\partial I}{\partial b_2}\right|_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \left.\frac{\partial I}{\partial a_1}\right|_m & \left.\frac{\partial I}{\partial a_2}\right|_m & \left.\frac{\partial I}{\partial b_1}\right|_m & \left.\frac{\partial I}{\partial b_2}\right|_m \end{pmatrix} \qquad \textbf{I.19}$$

A primeira parte da equação I.18 é referente à propagação de incerteza nos parâmetros a_1, a_2, b_1 e b_2 da equação da eficiência I.15, a segunda é referente à propagação de incerteza nas áreas dos fotopicos e a última leva em conta a incerteza das energias das transições γ.

Para o cálculo dos valores de intensidade das transições γ dos núcleos em estudo bem como a matriz de covariância de seus valores utilizou-se o programa INTEN [11].

I.5. Resultados

Todas as transições γ observadas na medida de espectroscopia simples tiveram o núcleo de procedência identificado.

I.5.1 Transições γ associadas ao Decaimento β^- do Núcleo ^{101}Mo

Na medidas de espectroscopia gama foram observadas 173 transições γ provenientes do decaimento β^- do núcleo ^{101}Mo, das quais 9 foram observadas pela primeira vez e várias confirmadas. Os valores de energia e intensidade das transições γ são apresentados na tabela I.1 e comparados com os valores obtidos pelo estudo mais recente realizado por trabalho de Hammed e outros [5].

Tabela I.1 : Energia e intensidade relativa dos raios γ do núcleo ^{101}Tc

Presente Estudo		**Hammed e outros [5]**	
Energia (keV)	Intensidade (%)	Energia (keV)	Intensidade (%)
80,971 (24)	198,1 (21)	80,9	202 (15)
104,7 (1)	8,8 (12)	104,7	8,4 (9)
105,84 (4)	12,1 (11)	105,9	15,8 (10)
115,48 (17)	3,38 (34)	115,8	1,5 (2)
169,8 (9)	1,58 (39)	169	1,5 (2)
187,19 (11)	7,4 (6)	187,4	23,7 (11)

Tabela I.1 : continuação

Presente Estudo		**Hammed e outros [5]**	
Energia (keV)	Intensidade (%)	Energia (keV)	Intensidade (%)
191,671 (18)	1000	191,9	1000
195,935 (19)	155,2 (9)	195,9	156 (6)
211,68 (2)	26,2 (4)	212	26 (3)
221,79 (11)	5,5 (5)	221,8	5,5 (6)
275,54 (9)	5,7 (7)	273	2,3 (12)
318,04 (4)	12,3 (7)	318	12,4 (10)
327,64 (4)	11,2 (10)	327,7	11,1 (7)
333,357 (18)	35,4 (7)	333,7	37 (3)
347,52 (9)	5,2 (10)	347,6	5,5 (9)
353,02 (11)	7,1 (9)	353,1	7,1 (9)
--------	--------	358,2	2,4 (6)
369,48 (14)	5,7 (7)	367,9	5,3 (11)
--------	--------	370,1	5,6 (9)
371,51 (9)	8,9 (10)	371,6	7,7 (8)
379,187 (38)	17,3 (7)	379,3	16,8 (8)
380,678 (37)	16,6 (8)	381,2	17,8 (14)
384,8 (6)	2,7 (8)	384,3	2,7 (6)
399,213 (16)	42,5 (6)	398,9	47,2 (17)
402,0 (5)	***0,89 (33)***	--------	--------
409,024 (12)	76,2 (6)	408,7	83 (5)
411,58 (15)	***3,76 (39)***	--------	--------
421,34 (18)	28,1 (17)	421,7	28,2 (15)
422,40 (15)	5,4 (7)	422,4	5,5 (11)
432,52 (10)	6,1 (8)	432,6	6,1 (8)
441,43 (16)	3,07 (37)	442	2,9 (6)
448,249 (17)	35,1 (4)	448,7	35,3 (29)
452,31 (6)	4,1 (9)	452,4	4,2 (4)
469,40(7)	6,2 (6)	469	6,1 (7)
482,32 (7)	4,2 (6)	482,5	4,2 (9)
484,46 (10)	***1,4 (6)***	--------	--------
486,54 (12)	4,7 (17)	486,2	4,5 (9)
491,25 (17)	2,96 (38)	491,4	3,6 (6)
--------	--------	497,1	8,2 (10)
499,923 (12)	71,4 (5)	499,7	74 (3)
--------	--------	505,5	20 (2)
506,239 (9)	614,0 (18)	505,9	628 (21)
510,81 (4)	17,9 (6)	510,1	13 (1)
513,152 (19)	55,0 (7)	512,8	70 (2)
--------	--------	514,1	19,0 (15)
515,700 (18)	41,8 (5)	515,4	44 (2)
523,95 (5)	9,43 (39)	524,2	8,9 (9)
533,61 (5)	22,1 (10)	533,6	20,9 (16)

Tabela I.1 : continuação

Presente Estudo		**Hammed e outros** [5]	
Energia (keV)	Intensidade (%)	Energia (keV)	Intensidade (%)
540,19 (9)	5,8 (5)	540,1	5,3 (8)
559,28 (5)	9,1 (11)	560,3	3,8 (7)
566,161 (16)	43,8 (5)	566,6	44 (3)
571,40 (6)	9,3 (5)	571,7	9,7 (9)
-------	-------	582,9	4,3 (8)
-------	--------	590,1	61 (3)
591,180 (9)	1079,6 (32)	590,9	1029 (40)
602,38 (8)	5,42 (38)	602,9	5,7 (8)
606,38 (34)	6,4 (18)	606,8	3,9 (5)
608,156 (11)	57,6 (26)	608,4	58 (3)
611,08 (4)	7,6 (13)	611,6	7,1 (12)
625,42 (30)	3,5 (9)	625,6	5,7 (9)
642,293 (11)	64,5 (5)	642,8	68 (4)
--------	-------	650,7	1,1 (3)
660,98 (5)	12,9 (13)	660,7	12,2 (11)
665,25 (39)	***1,4 (5)***	-------	-------
675,8 (5)	2,6 (9)	675,9	2,6 (6)
--------	-------	686	3,7 (4)
695,21 (9)	374,4 (12)	695,6	385 (18)
701,61 (15)	16,5 (4)	701,8	20,5 (21)
708,055 (11)	4,0 (4)	707,8	3,7 (10)
713,40 (11)	174,1 (23)	713	182 (13)
727,85 (4)	4,9 (8)	728,3	5,0 (10)
732,68 (4)	14,2 (13)	733,1	14,4 (10)
-------	-------	737,4	1,6 (5)
--------	--------	739,5	16,5 (10)
774,487 (32)	19,3 (9)	774,2	18,7 (11)
778,611 (15)	47,8 (12)	778,3	53,5 (37)
789,74 (22)	6,7 (15)	790,1	6,9 (9)
--------	--------	798,1	3,8 (9)
803,89 (5)	51,4 (9)	804,4	52,4 (36)
815,48 (30)	13,1 (7)	815,3	13,9 (18)
819,32 (30)	2,1 (6)	819 *	3,5 (12) *
852,73 (6)	12,3 (6)	853,2	13,4 (9)
859,15 (13)	8,0 (6)	859,1	7,9 (8)
-------	-------	869,8	15,5 (11)
871,456 (29)	88,8 (21)	871,1	96 (5)
877,692 (9)	190,1 (12)	877,1	186 (10)
883,788 (25)	33,1 (7)	883,5	35,5 (33)
886,95 (37)	8,2 (9)	887	9,9 (8)
888,62 (9)	17,4 (14)	888,7	13,4 (10)
896,19 (6)	9,6 (6)	896,3	9,1 (7)

COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IPEN

Presente Estudo		**Hammed e outros** [5]	
Energia (keV)	Intensidade (%)	Energia (keV)	Intensidade (%)
903,90 (5)	11,3 (6)	903,6	12,9 (11)
933,764 (9)	234,1 (11)	934,3	219 (13)
943,37 (11)	6,0 (6)	943,5	8,0 (12)
980,73 (4)	15,0 (7)	980,6	14,9 (17)
988,30 (7)	9,4 (7)	988,3	10,4 (10)
992,42 (29)	***2,2 (6)***	--------	--------
--------	--------	1007,4	9,8 (15)
1010,16 (6)	27,6 (12)	1011,2	49 (2)
1012,703 (8)	826,3 (21)	1012,5	696 (31)
1018,794 (17)	39,0 (9)	1018,6	41 (2)
1021,69 (36)	21,2 (15)	1020,7	21 (1)
1028,4 (4)	***2,8 (7)***	--------	--------
1030,83 (27)	4,3 (12)	1030,1	3,7 (5)
1049,35 (38)	19,7 (6)	1049,8	19,2 (18)
1063,79 (21)	13,0 (15)	1064,2	15,6 (9)
1065,23 (32)	8,4 (16)	1065,9	8,4 (7)
1160,490 (10)	227,3 (11)	1161	214 (12)
1168,67 (5)	12,33 (38)	1168,9	12,3 (21)
1183,68 (14)	10,3 (9)	1184,2	9,2 (12)
1186,885 (32)	54,9 (12)	1186,6	53 (3)
1200,181 (13)	94,6 (9)	1199,9	96,5 (40)
1209,40 (9)	7,9 (12)	1209,9	7,7 (11)
1217,42 (22)	2,15 (38)	1218	3,3 (6)
--------	--------	1249,5	12,5 (10)
1251,40 (24)	265,4 (17)	1251,1	248 (12)
1259,82 (8)	8,4 (4)	1260,2	8,7 (11)
1286,45 (12)	8,1 (6)	1286,3	5,2 (7)
1290,1 (4)	3,8 (8)	--------	--------
1292,76 (17)	8,2 (8)	1293,3	11,8 (6)
1304,24 (15)	146,1 (20)	1304	145 (5)
1308,40 (26)	3,4 (5)	1308,1	4,7 (5)
--------	--------	1310,7	1,6 (4)
1313,86 (7)	12,2 (4)	1314,3	11,8 (7)
1322,60 (16)	7,4 (7)	1323,4 *	7,8 (24) *
1325,28 (7)	16,3 (8)	1325,7	13,8 (17)
1336,76 (13)	9,1 (10)	1336,3	8,4 (6)
1339,47 (11)	11,7 (10)	1339,4	9,6 (11)
1345,20 (6)	*2,8 (7)*	--------	--------
1346,250 (26)	60,4 (19)	1346,1	52 (3)
--------	--------	1350,9	3,1 (4)
1355,425 (17)	100,5 (8)	1355,9	91 (6)
1368,99 (16)	***2,6 (7)***	--------	--------

Tabela I.1 : continuação

Presente Estudo		**Hammed e outros [5]**	
Energia (keV)	Intensidade (%)	Energia (keV)	Intensidade (%)
1377,72 (7)	9,9 (9)	1377,7	12,9 (13)
1379,7 (5)	6,8 (7)	1380,4	6,8 (8)
1382,907 (28)	64,7 (9)	1382,7	59 (3)
1387,50 (20)	4,1 (7)	1387,6	3,8 (4)
1395,034 (32)	33,6 (13)	1394,8	32,7 (27)
1414,362 (37)	26,6 (8)	1414,2	27,2 (25)
1418,767 (26)	48,1 (9)	1418,6	47,2 (38)
1425,5 (4)	5,9 (10)	1426,9	6,7 (6)
1429,86 (39)	2,4 (6)	1428,5 *	3,9 (23) *
1431,98 (15)	18,6 (16)	1431,6	18,6 (10)
1434,25 (30)	3,4 (5)	1435,1	4,4 (5)
1441,20 (12)	8,3 (13)	1440,8	8,2 (9)
1446,68 (24)	***2,29 (33)***	--------	--------
1450,99 (26)	4,0 (10)	1451,1	3,6 (7)
1485,86 (9)	4,85 (30)	1485,9	5,2 (10)
1508,11 (16)	3,69 (31)	1507	2,8 (11)
1514,68 (11)	10,4 (8)	1514,1	9,6 (9)
1518,46 (17)	10,4 (6)	1517,8	11,7 (12)
--------	--------	1526,6	5,3 (5)
1523,33 (35)	12,5 (6)	1523	15,3 (8)
1526,69 (11)	7,8 (4)	1526,6	5,3 (5)
1531,35 (28)	5,9 (8)	1530,3	6,8 (16)
1532,805 (24)	336,9 (24)	1532,5	319 (15)
1543,93 (26)	3,6 (10)	1544,2 *	4,1 (12) *
1546,7 (4)	3,6 (9)	1548,7	8,4 (14)
1549,53 (15)	9,7 (13)	1548,7	8,4 (9)
1584,04 (20)	4,7 (7)	1583,1	4,6 (7)
1589,86 (8)	15,7 (9)	1589,7	14,2 (9)
--------	--------	1594,8	1,1 (3)
1599,603 (33)	93,0 (10)	1599,3	94 (6)
1606,89 (34)	2,4 (6)	1605,3	2,2 (4)
1609,85 (27)	4,9 (9)	1609,2	4,7 (7)
1615,02 (25)	3,4 (7)	1615	3,2 (5)
1629,98 (20)	2,3 (4)	1629,4	3,1 (4)
1646,33 (12)	5,34 (32)	1646,4	4,5 (8)
1652,82 (16)	3,89 (31)	1653,3	4,8 (4)
1662,86 (4)	35,6 (7)	1662,4	36 (3)
1674,273 (36)	90,7 (9)	1673,9	90 (6)
1713,14 (9)	9,7 (10)	1712,8	10,9 (11)
1722,09 (30)	1,6 (7)	1722,1	1,8 (7)
1754,44 (6)	19,1 (6)	1754,9	19,7 (16)
1760,14 (4)	53,3 (11)	1759,8	51,5 (37)

Tabela I.1 : continuação

Presente Estudo		**Hammed e outros [5]**	
Energia (keV)	Intensidade (%)	Energia (keV)	Intensidade (%)
1768,48 (10)	9,4 (7)	1768,2	7,7 (9)
1840,84 (5)	73,9 (11)	1840,3	74 (4)
-------	-------	1876,3	1,4 (3)
1882,30 (16)	4,05 (30)	1882,3	4,7 (4)
1889,3 (8)	2,2 (7)	1888,3	2,5 (6)
1913,9 (4)	1,18 (24)	1913,7 *	1,7 (6) *
1921,75 (6)	3,86 (29)	1921,4	2,7 (7)
1941,93 (28)	2,42 (26)	1941,8	2,9 (5)
1946,78 (16)	4,27 (32)	1946,5	4,0 (5)
--------	--------	2024,4	3,6 (5)
2032,78 (7)	363 (8)	2032,1	351 (12)
2041,11 (7)	116,6 (9)	2041,2	115 (5)
2047,22 (7)	4,0 (4)	2047,3	4,8 (5)
2089,49 (8)	41,7 (14)	2088,8	41,3 (35)
2114,11 (8)	32,6 (5)	2114,3	31,6 (20)
2131,16 (29)	1,70 (21)	2131,4	1,9 (5)
2145,69 (25)	1,01 (31)	2146	1,0 (2)
2222,72 (15)	8,70 (31)	2223,2	9,0 (7)
2339,5 (6)	0,9 (4)	2337,8	0,8 (2)
2405,0 (4)	1,15 (20)	2404,7	1,1 (2)

= Transições γ observadas pela primeira vez.
* Ref. [3]

Os ajustes dos fotopicos, obtidos com o programa IDF [9], referentes às transições γ observadas pela primeira vez, são apresentados nas figuras de I.3 a I.10.

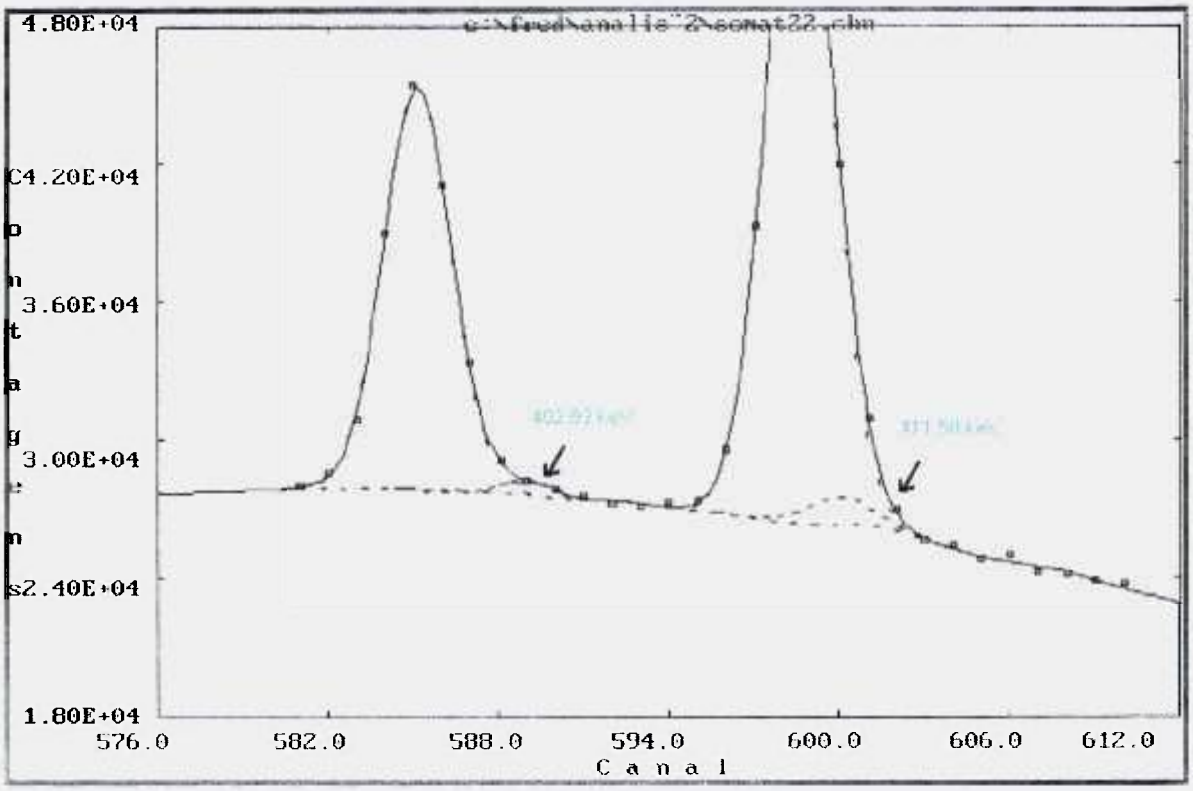


Figura I.3 Ajuste obtido para as transições de 402 keV e 412 keV.

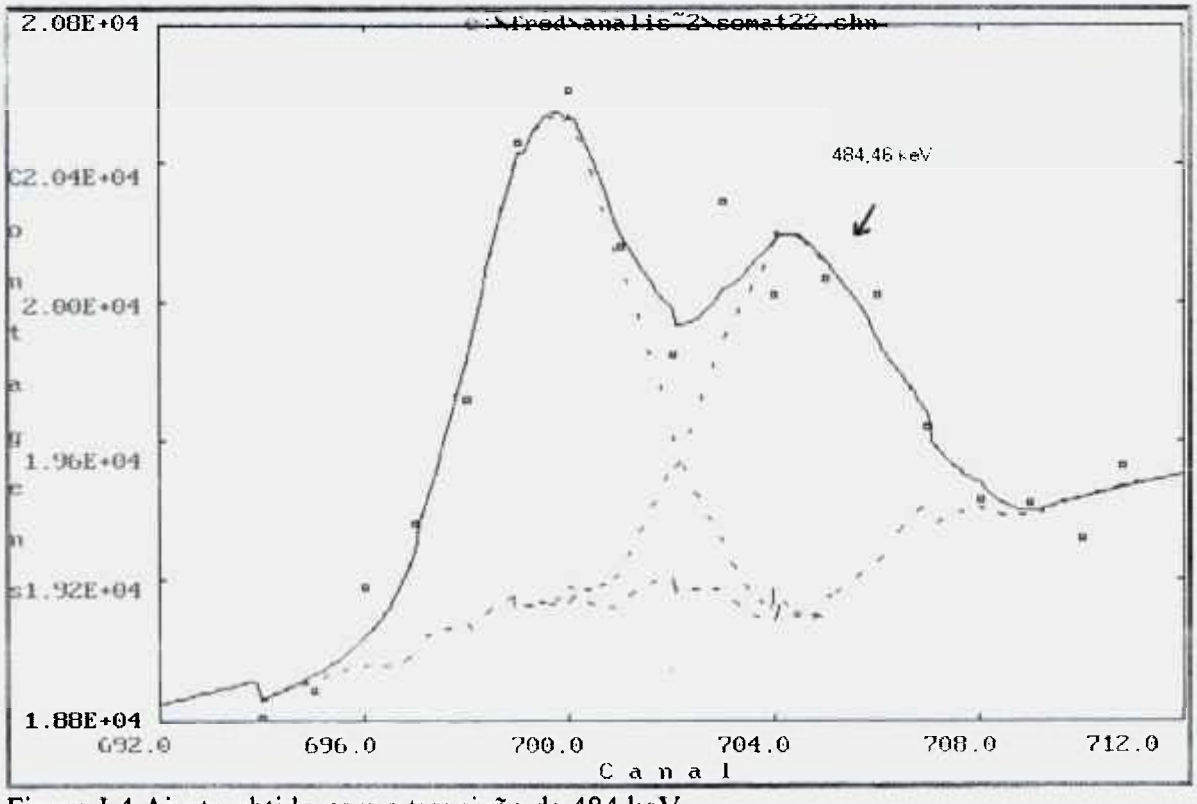


Figura I.4 Ajuste obtido para a transição de 484 keV.

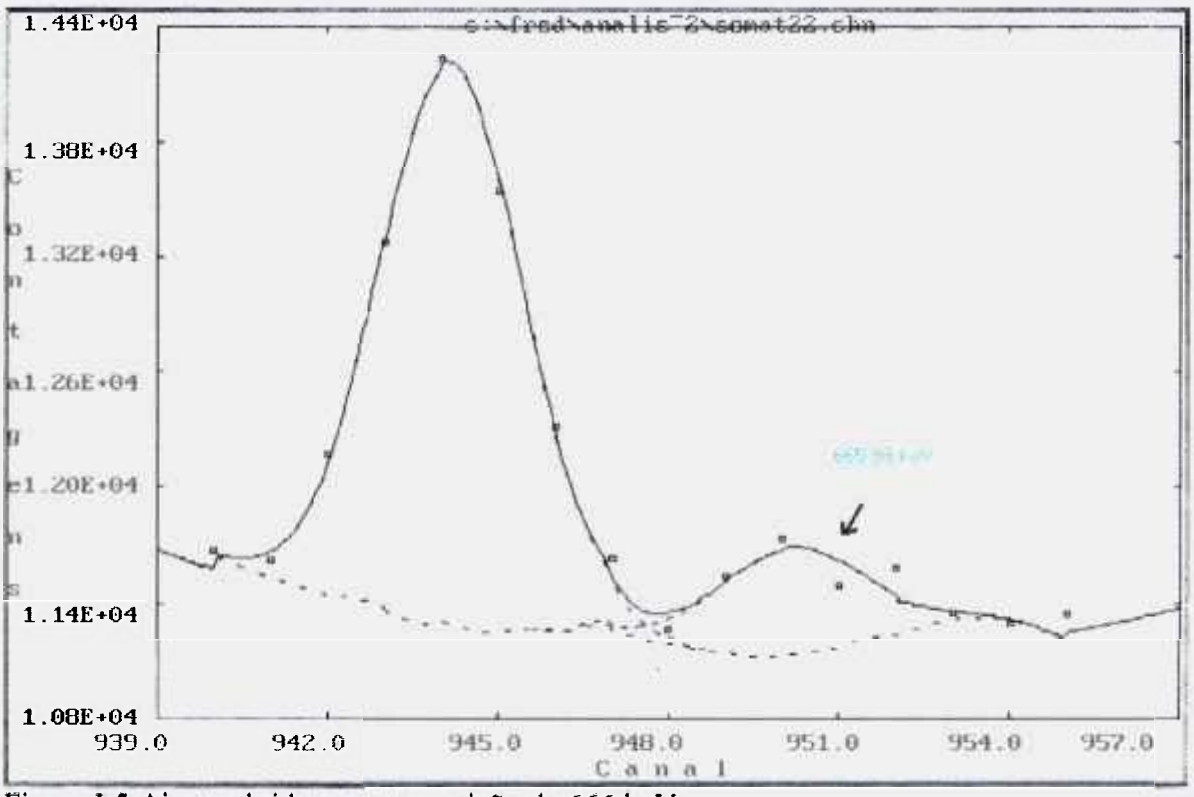


Figura I.5 Ajuste obtido para a transição de 666 keV.

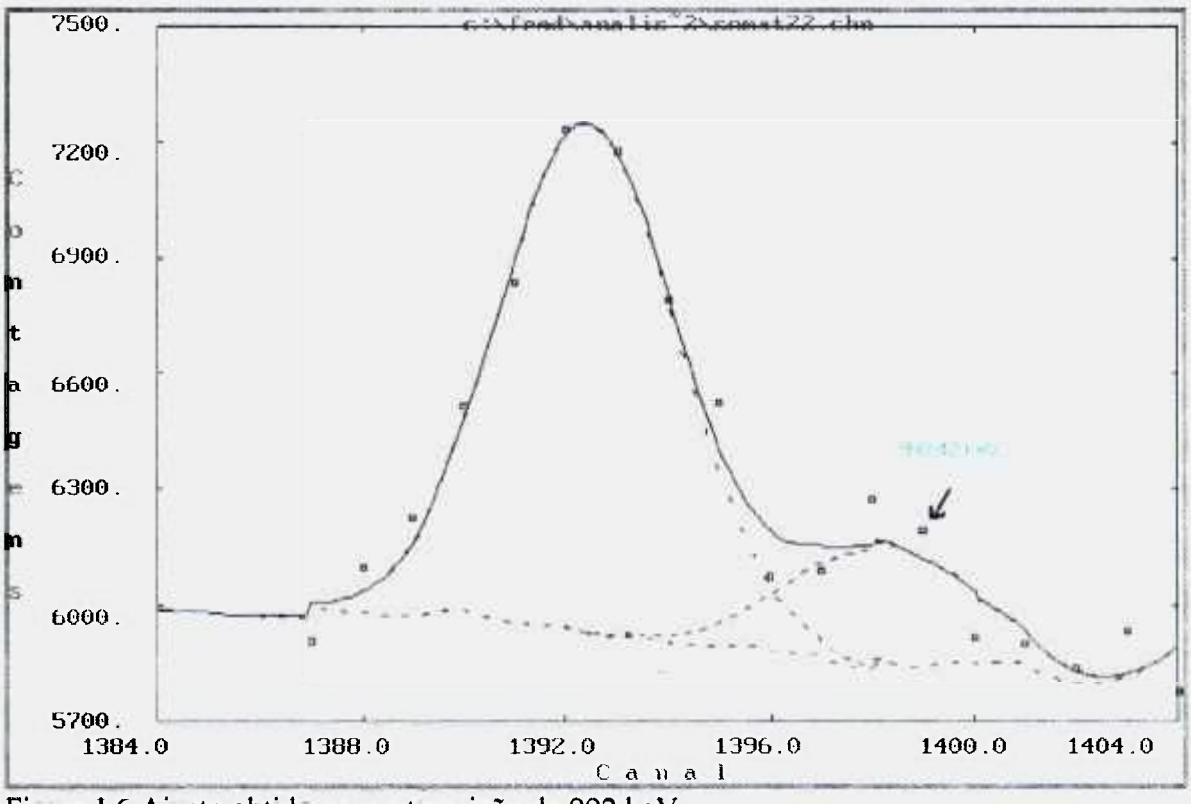


Figura I.6 Ajuste obtido para a transição de 992 keV.

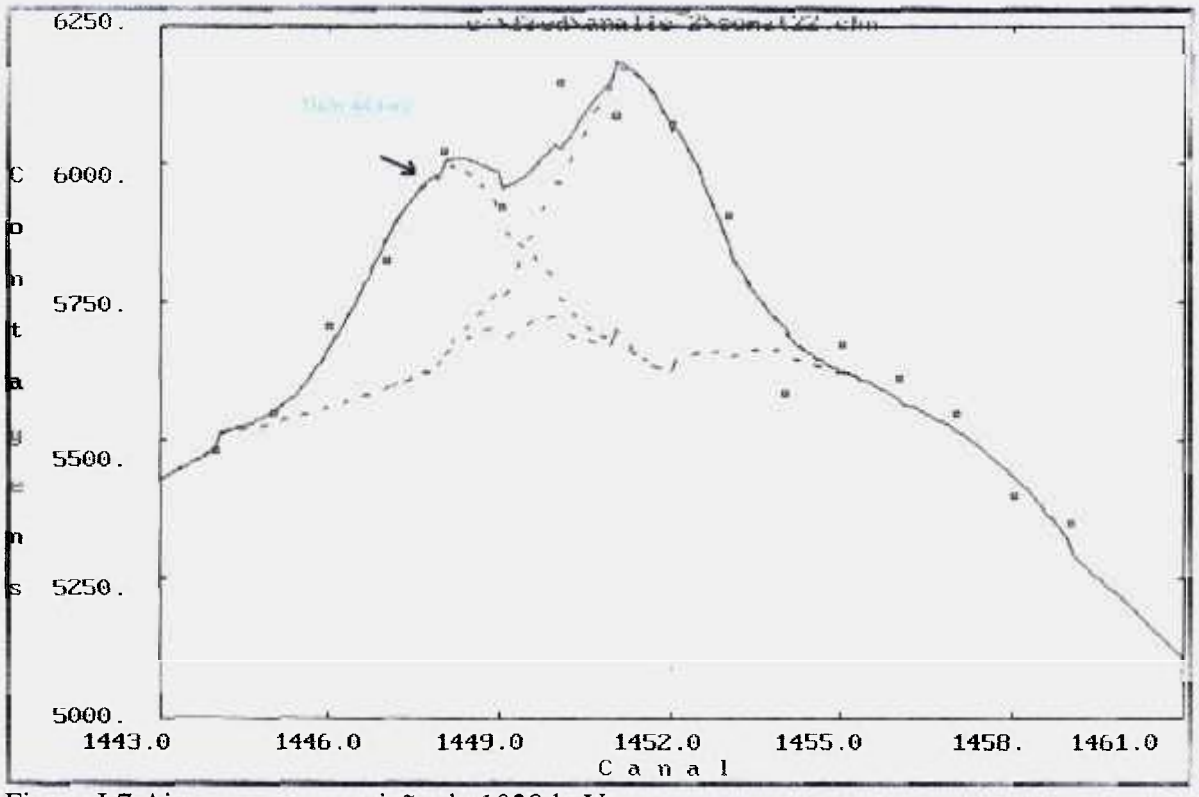


Figura I.7 Ajuste para a transição de 1028 keV

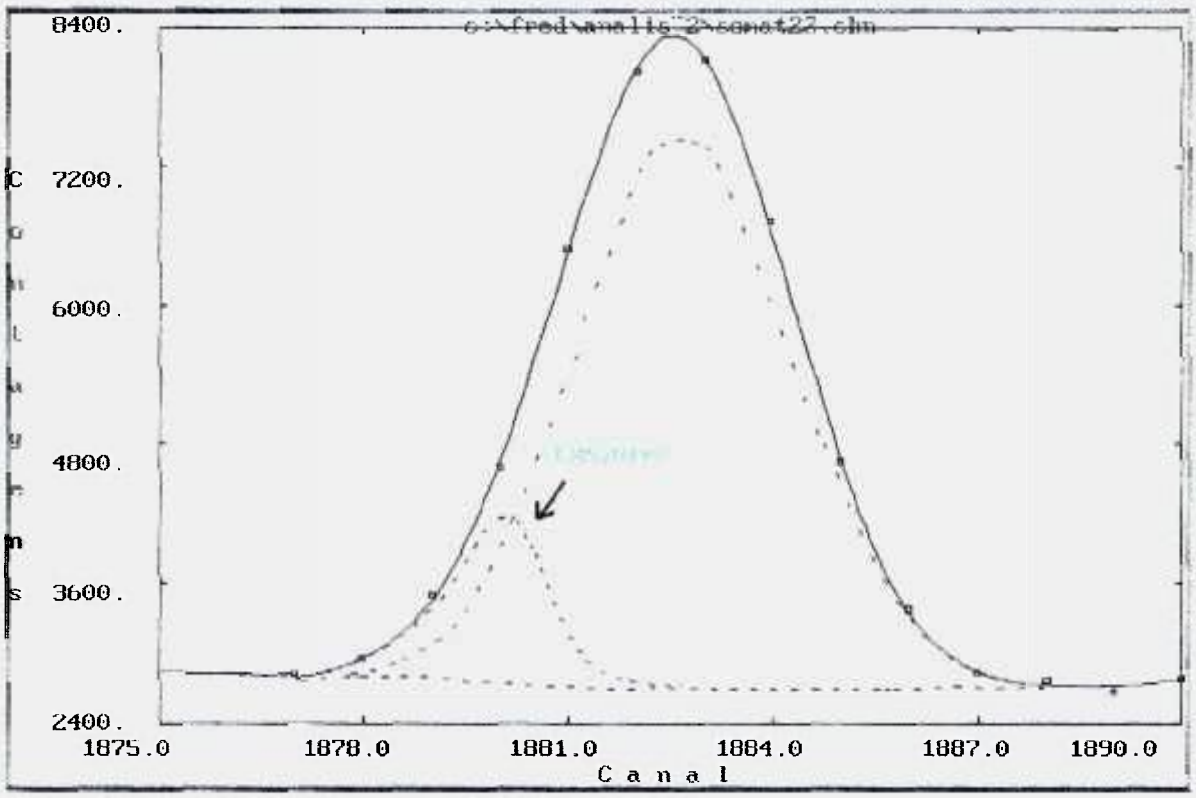


Figura I.8 Ajuste obtido para a transição de 1345 keV.

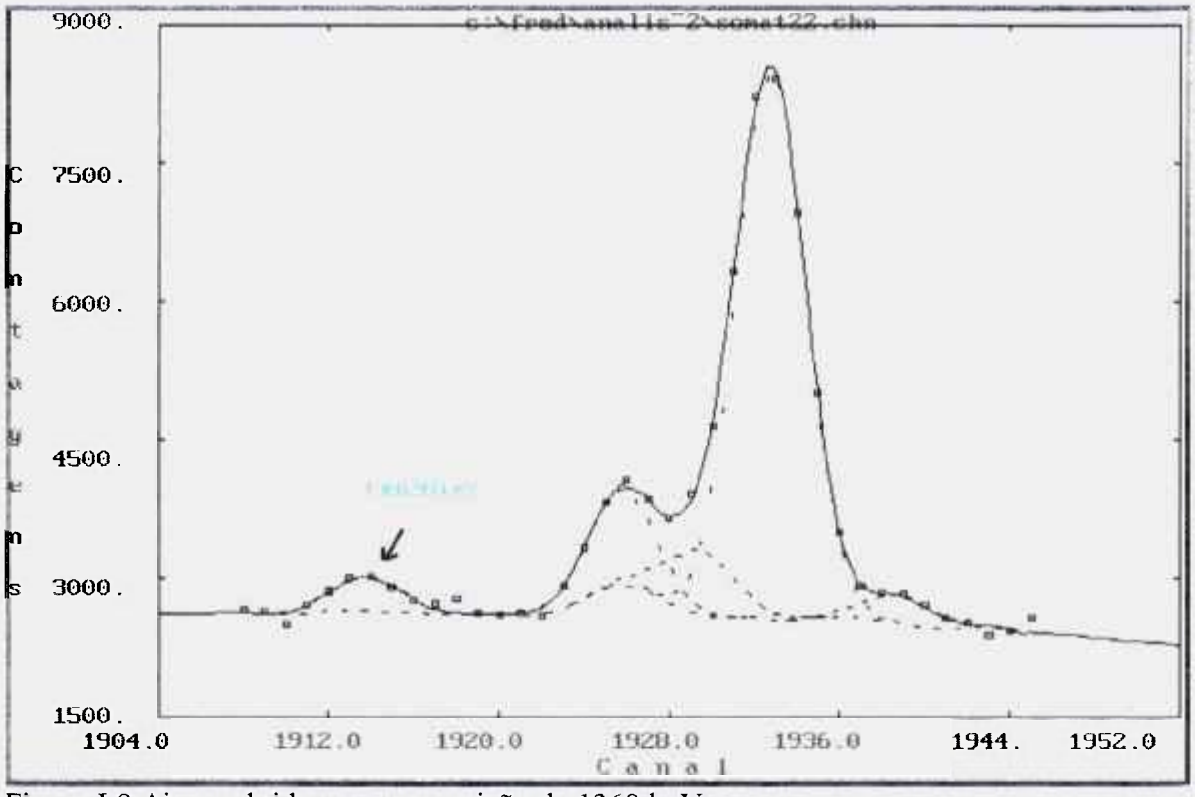


Figura I.9 Ajuste obtido para a transição de 1369 keV.

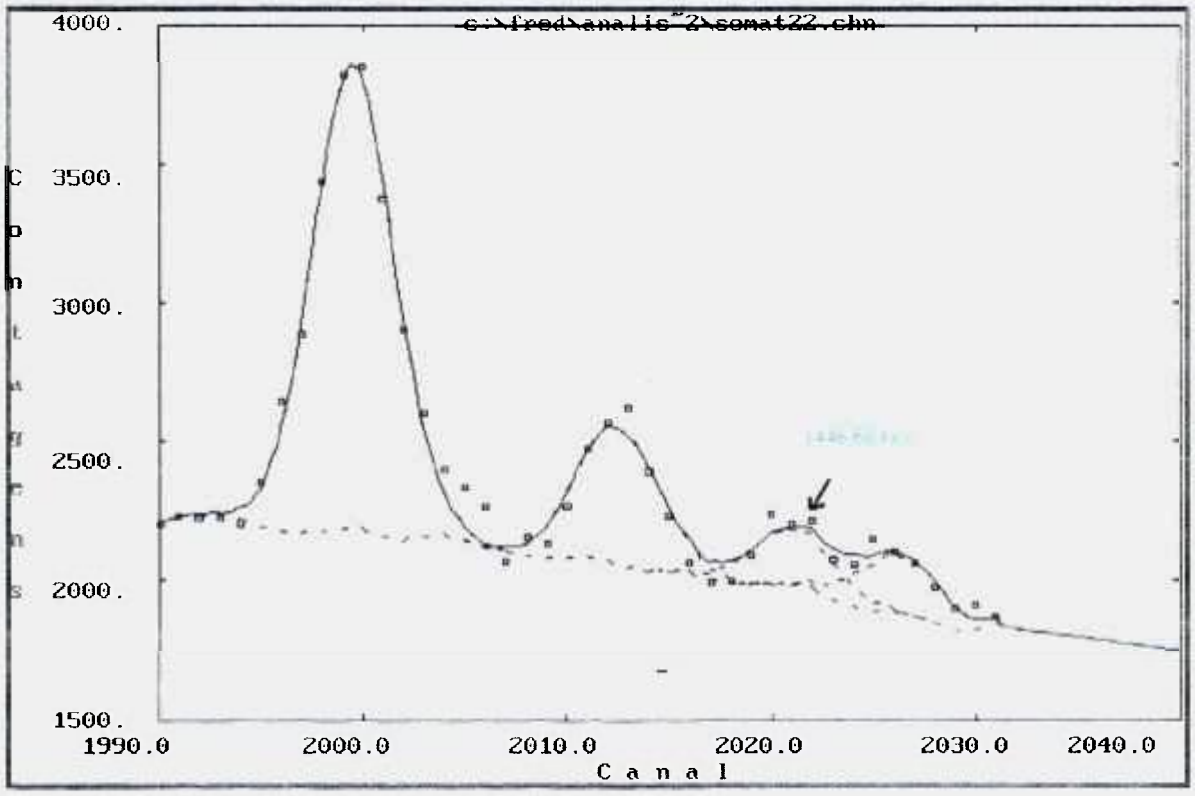


Figura I.10 Ajuste obtido para a transição de 1447 keV.

II.5.2 Transições γ associadas ao decaimento β^- do núcleo ^{101}Tc

Na medidas de espectroscopia gama foram observadas 32 transições γ provenientes do decaimento β^- do núcleo ^{101}Tc, sendo a transição γ de 226,92 keV observada pela primeira vez e uma confirmada. Os valores de energia e intensidade das transições γ pertencentes ao decaimento β^- do núcleo ^{101}Tc são apresentados na tabela I.2 juntamente com os dados do estudo mais recente realizado por Hammed e outros [5].

O ajuste do fotopico referente a transições γ de 226,92 keV, utilizando o programa IDF [9], é apresentado na figura I.11.

Tabela I.2 : Energia e intensidade relativa dos raios γ do núcleo de ^{101}Ru.

Presente Estudo		**Hammed e outros** [5]	
Energia (keV)	Intensidade (%)	Energia (keV)	Intensidade (%)
127,120 (21)	31,37 (38)	127,2	29,5 (12)
175,032 (23)	0,28 (6)	174,9 *	0,39 (9) *
179,359 (20)	6,73 (15)	179,7	6,5 (5)
183,944 (20)	19,90 (23)	184,1	18,1 (9)
226,92 (21)	***1,04 (19)***	--------	--------
233,39 (4)	2,74 (19)	233,7	3,01 (25)
238,487 (26)	3,664 (20)	238,3	3,5 (3)
281,75 (35)	0,31 (8)	281,6	0,30 (8)
295,27 (4)	1,22 (13)	295,3	0,83 (20)
306,782 (13)	1000,0 (11)	306,8	1000
311,60 (9)	2,82 (8)	311,3	2,5 (5)
321,67 (22)	0,32 (7)	322,1	0,41 (9)
383,86 (29)	0,60 (12)	383,8	0,47 (14)
393,34 (5)	1,23 (11)	393,3	1,23 (22)
422,6 (6)	0,28 (8)	422,4	0,36 (10)
489,05 (15)	0,696 (35)	489,1	0,52 (14)
516,0 (6)	1,21 (13)	516,1	1,19 (18)
531,602 (15)	11,69 (11)	531,4	11,5 (8)
545,271 (9)	66,57 (22)	545,1	67,8 (24)
617,40 (13)	0,85 (5)	616,3	0,63 (5)
622,45 (9)	1,18 (6)	621,9	0,99 (11)
627,058 (21)	1,62 (6)	627,1	5,1 (4)
631,74 (20)	0,48 (6)	631,7	0,49 (7)
673,62 (35)	0,30 (7)	673,4	0,45 (10)
695,92 (9)	2,14 (19)	694,3	13,0(41)
715,746 (27)	8,07 (15)	715,6	7,4 (6)
719,56 (4)	2,54 (7)	720	2,52 (23)
810,57 (32)	0,51 (12)	811,2	0,78 (20)
842,83 (4)	2,61 (14)	842,8	2,54 (16)
912,14 (12)	1,2 (5)	911,6	0,91 (22)
928,93 (10)	1,40 (10)	928,6	1,40 (18)
938,62 (14)	1,16 (9)	938,7	1,06 (13)

— Transição γ observada pela primeira vez.

* Ref. [3]

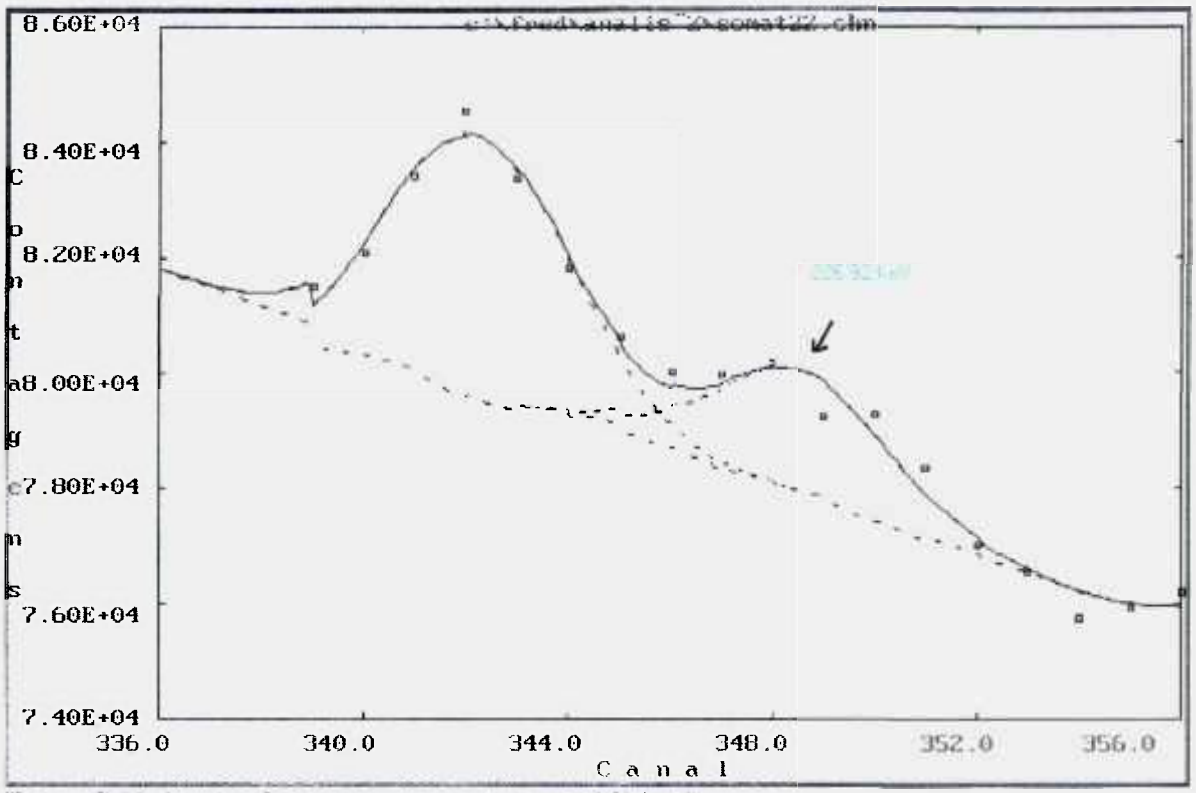


Figura I.11 Ajuste obtido para a transição de 227keV.

O espectro das transições gama do decaimento β^- dos núcleos ^{101}Mo e ^{101}Tc correspondente à aquisição de 27,5 horas, já subtraído o espectro de fundo, é apresentado na figura I.12. Os valores de energia apresentados correspondem a valores aproximados e são dados em keV.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IPEN

Figura I.12. Espectro das transições γ dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru.

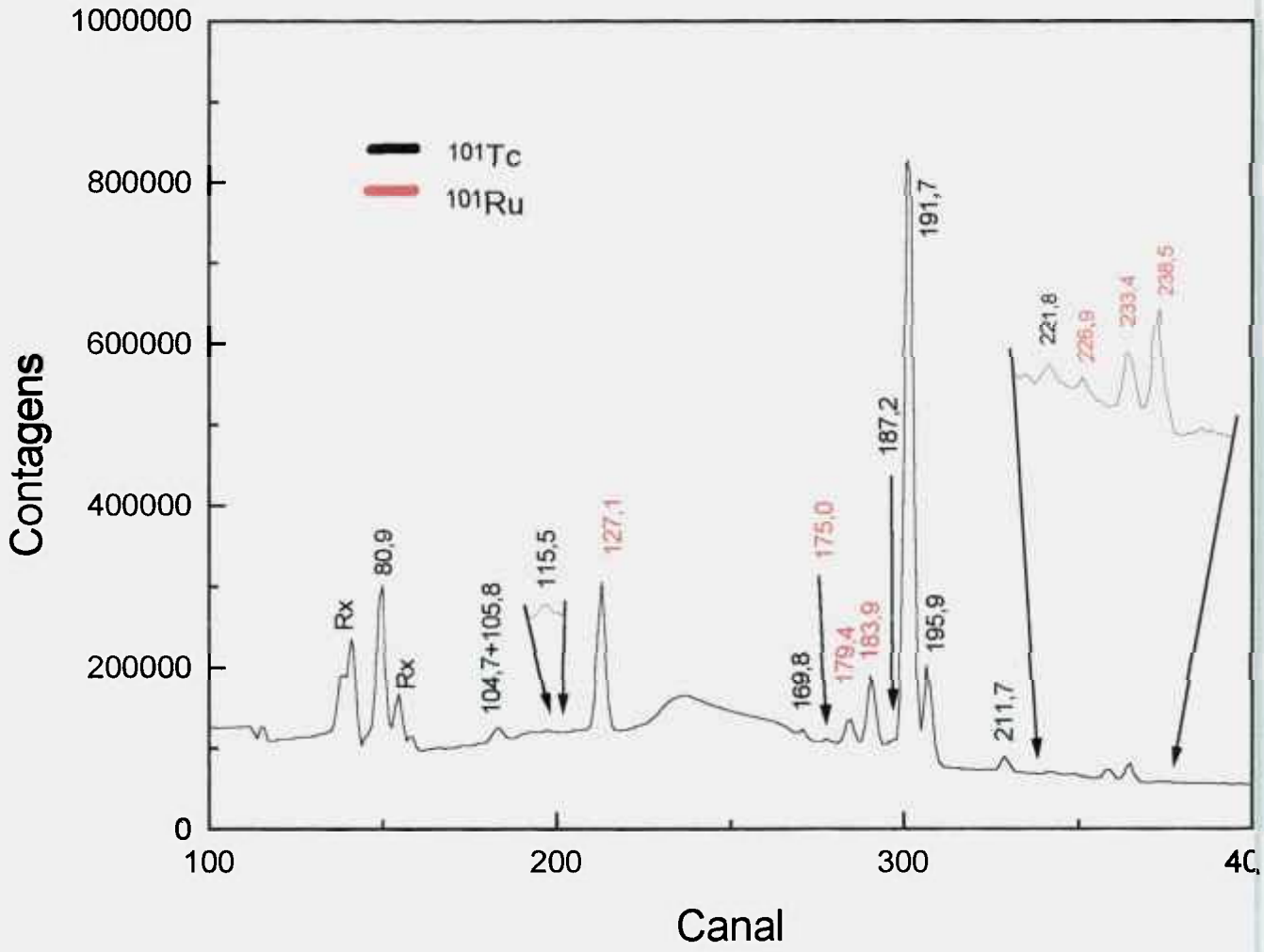


Figura I.12.continuação

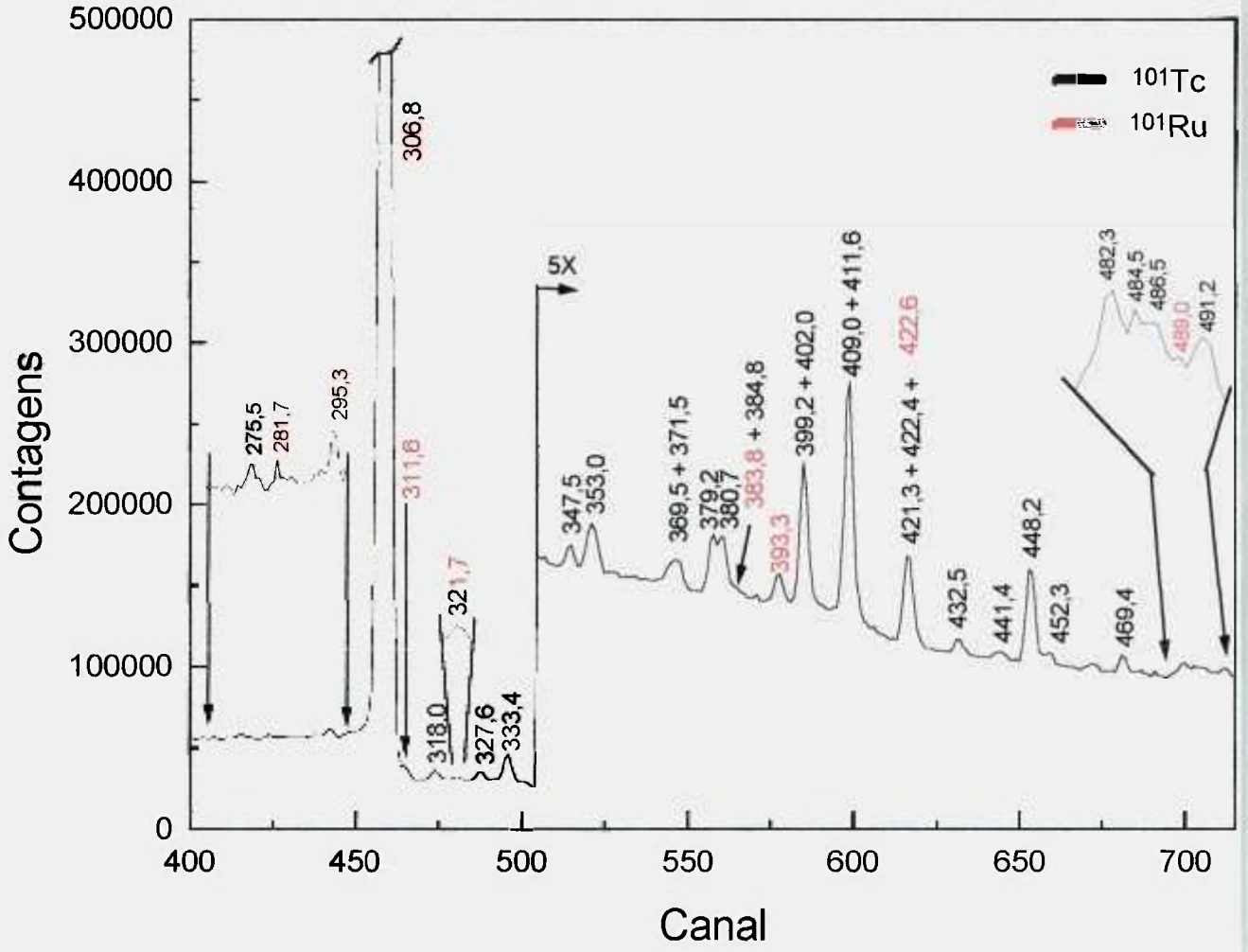


Figura I.12.continuação.

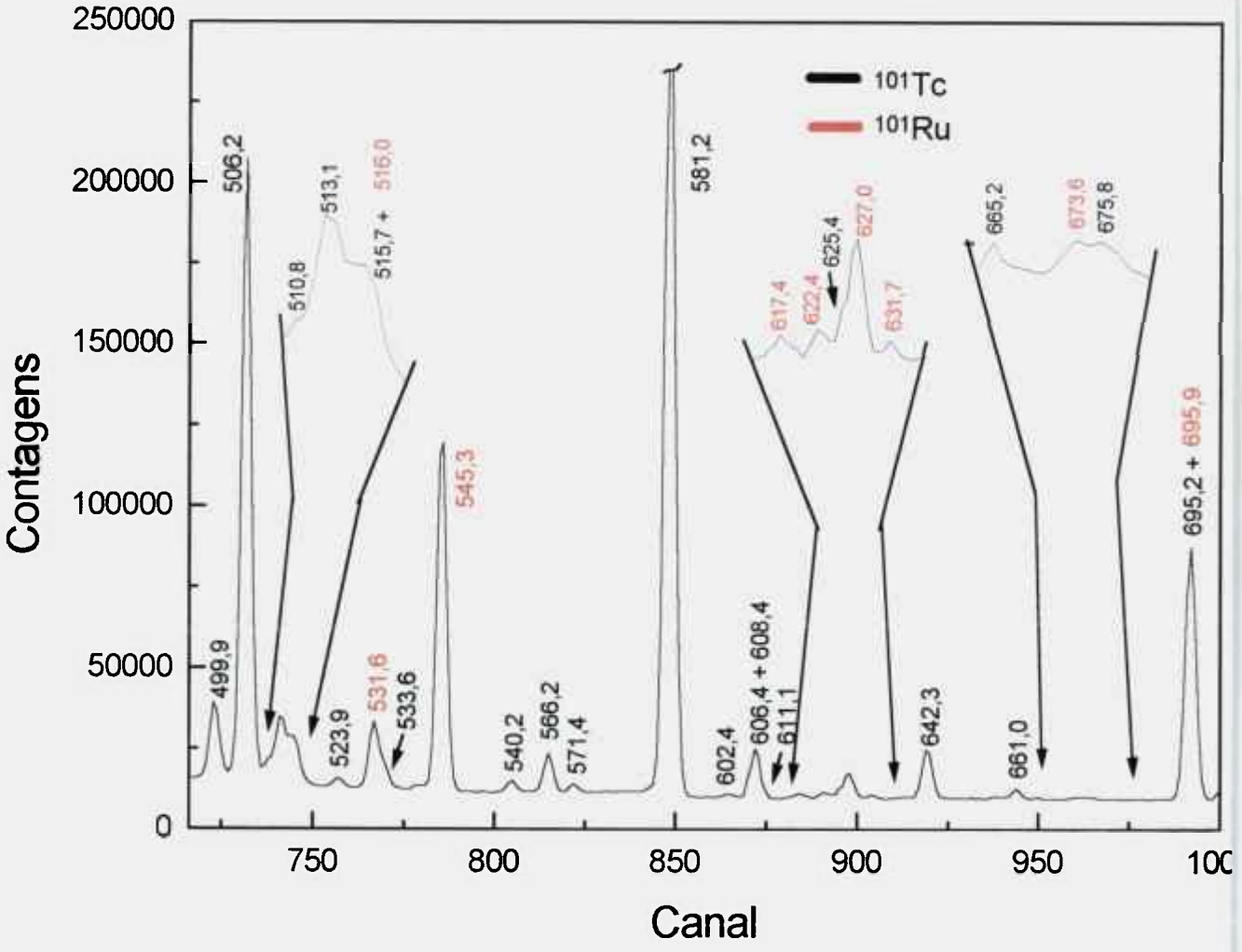


Figura I.12.continuação.

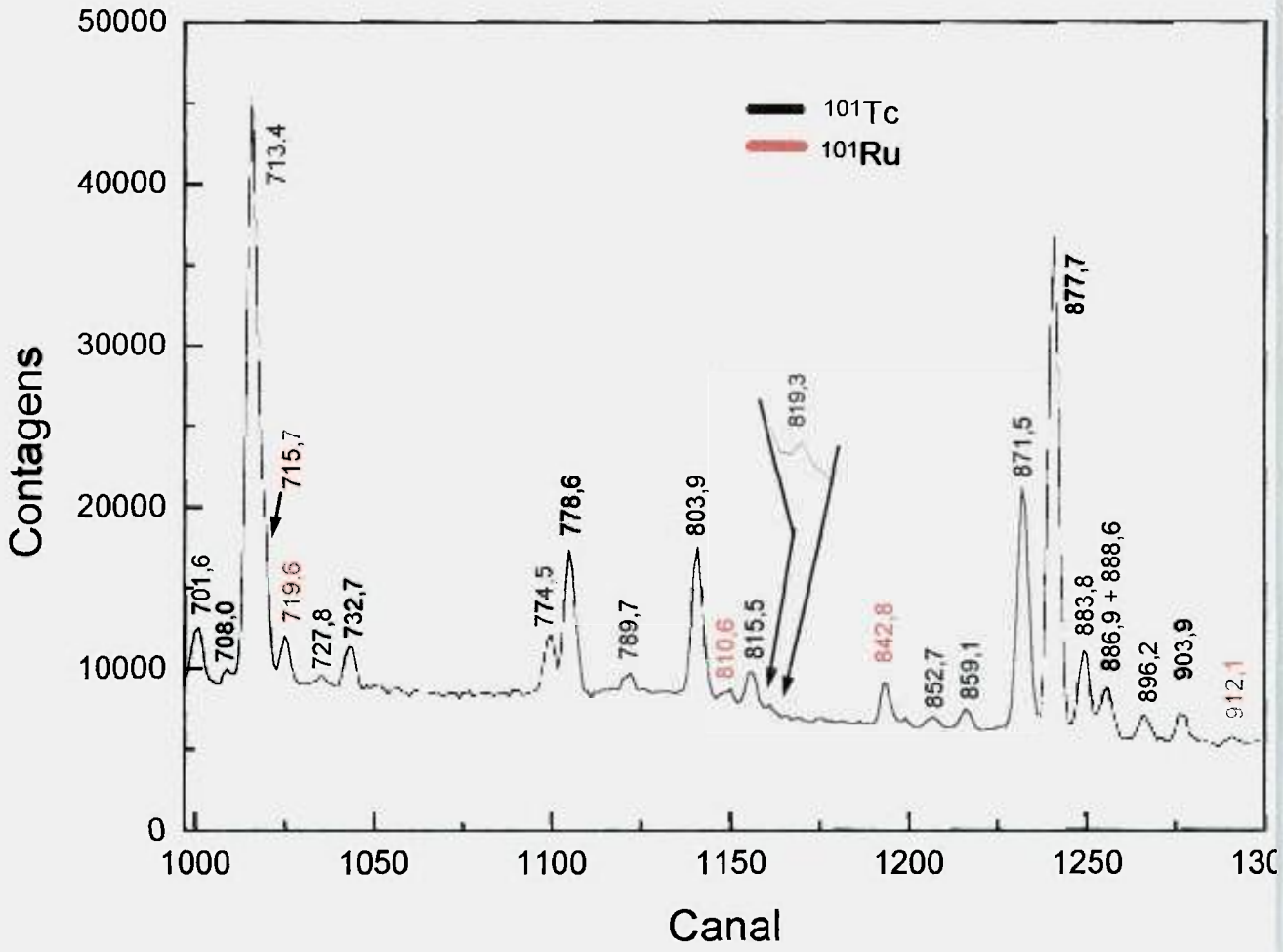


Figura I.12.continuação.

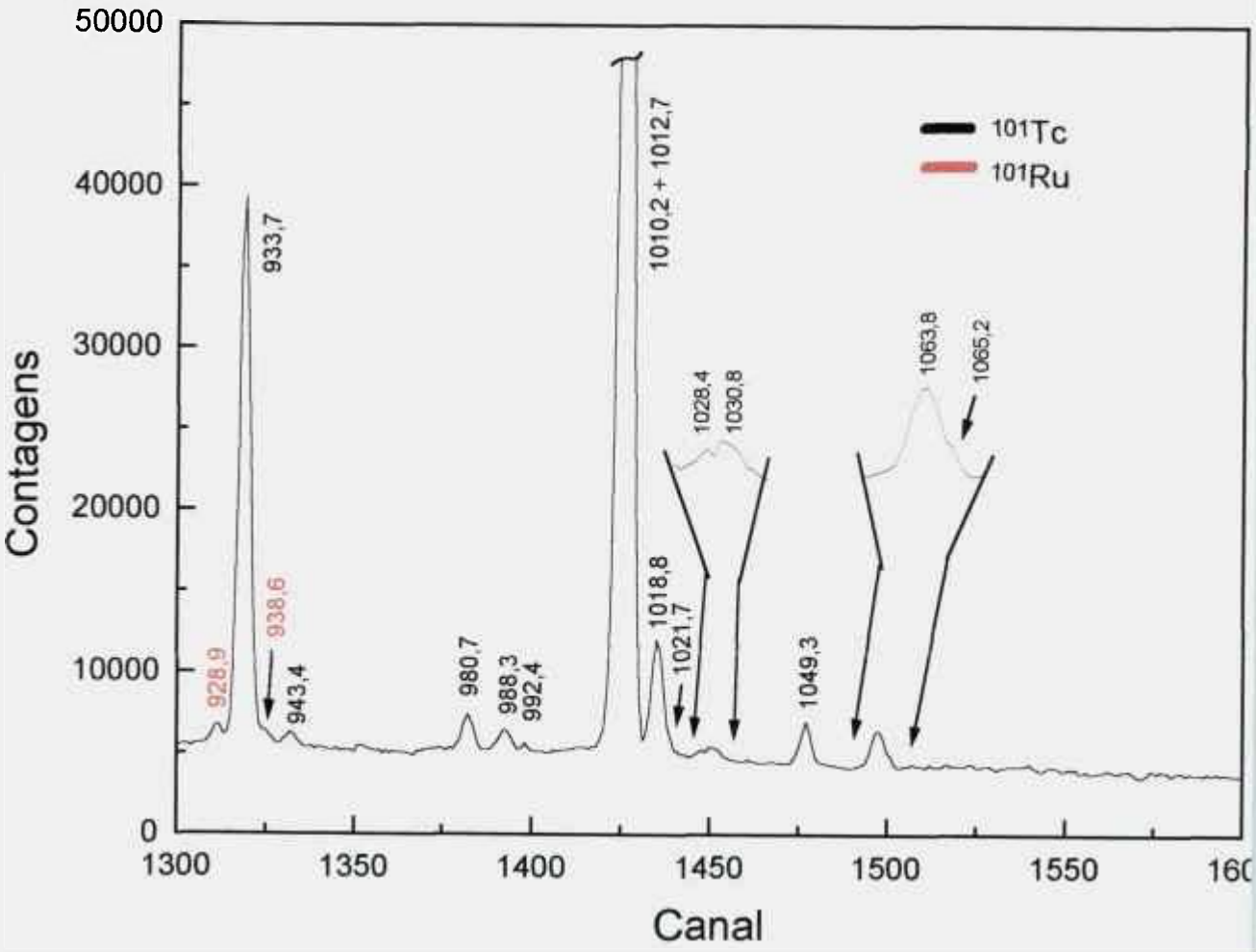


Figura I.12.continuação

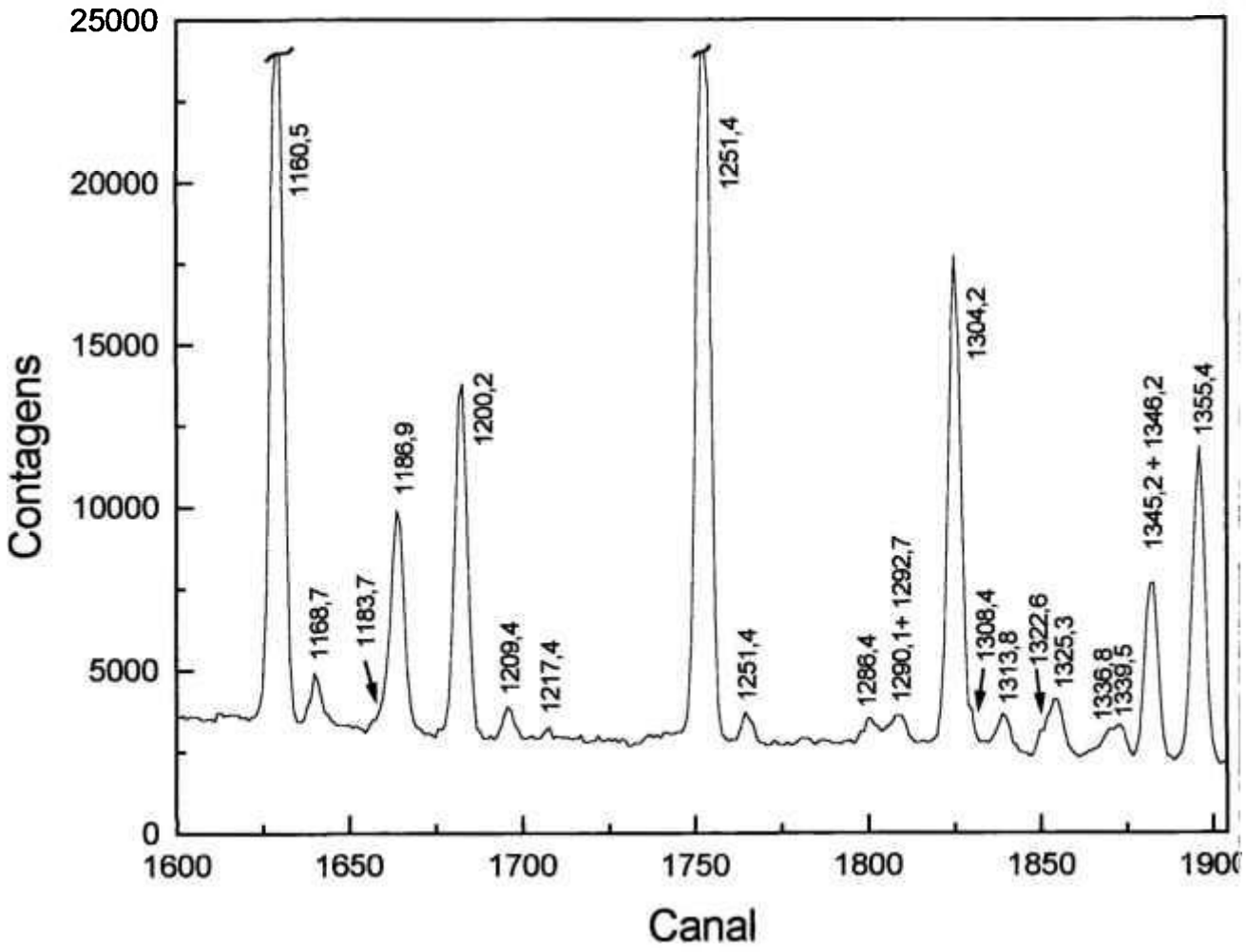


Figura I.12.continuação.

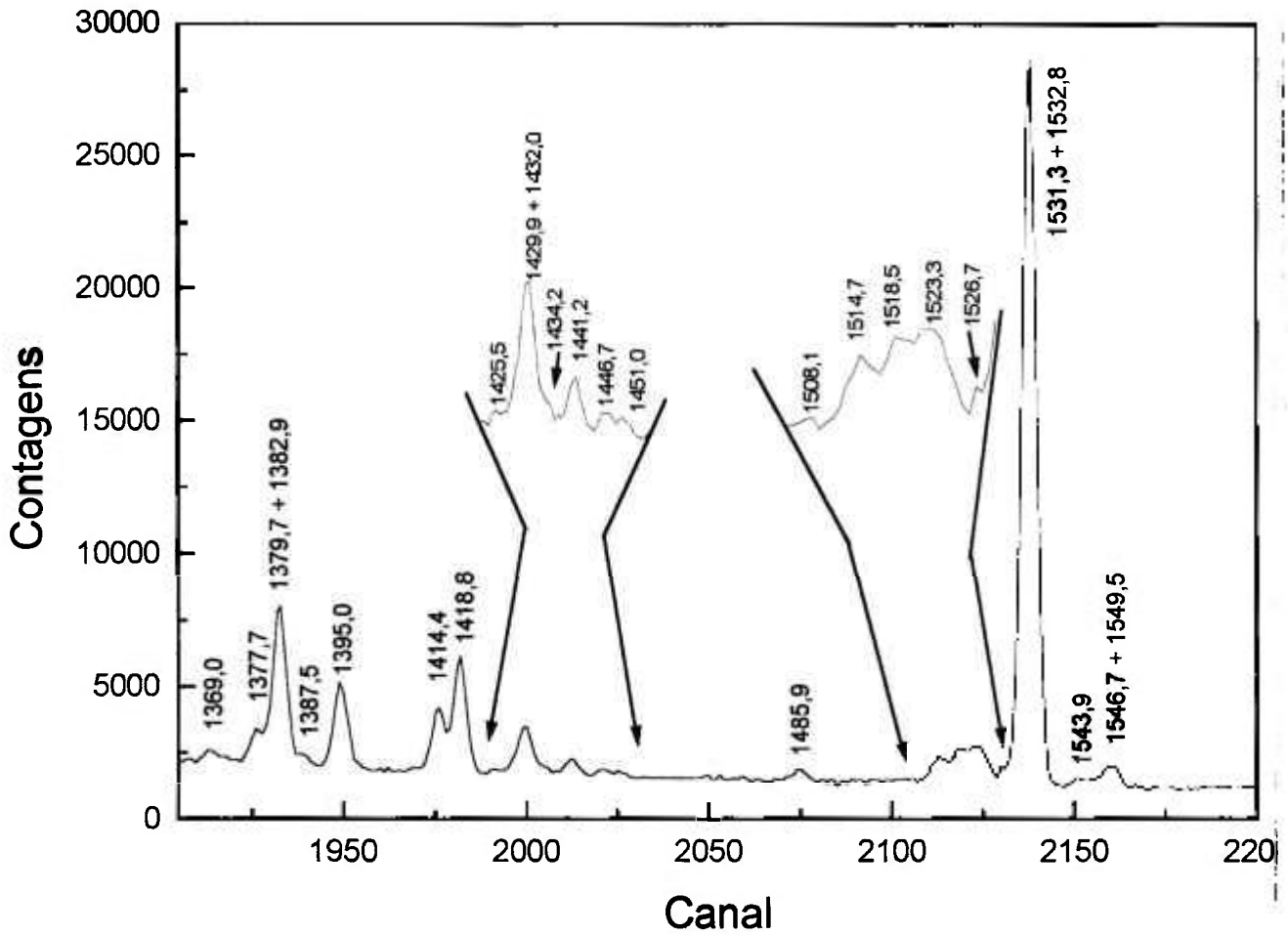
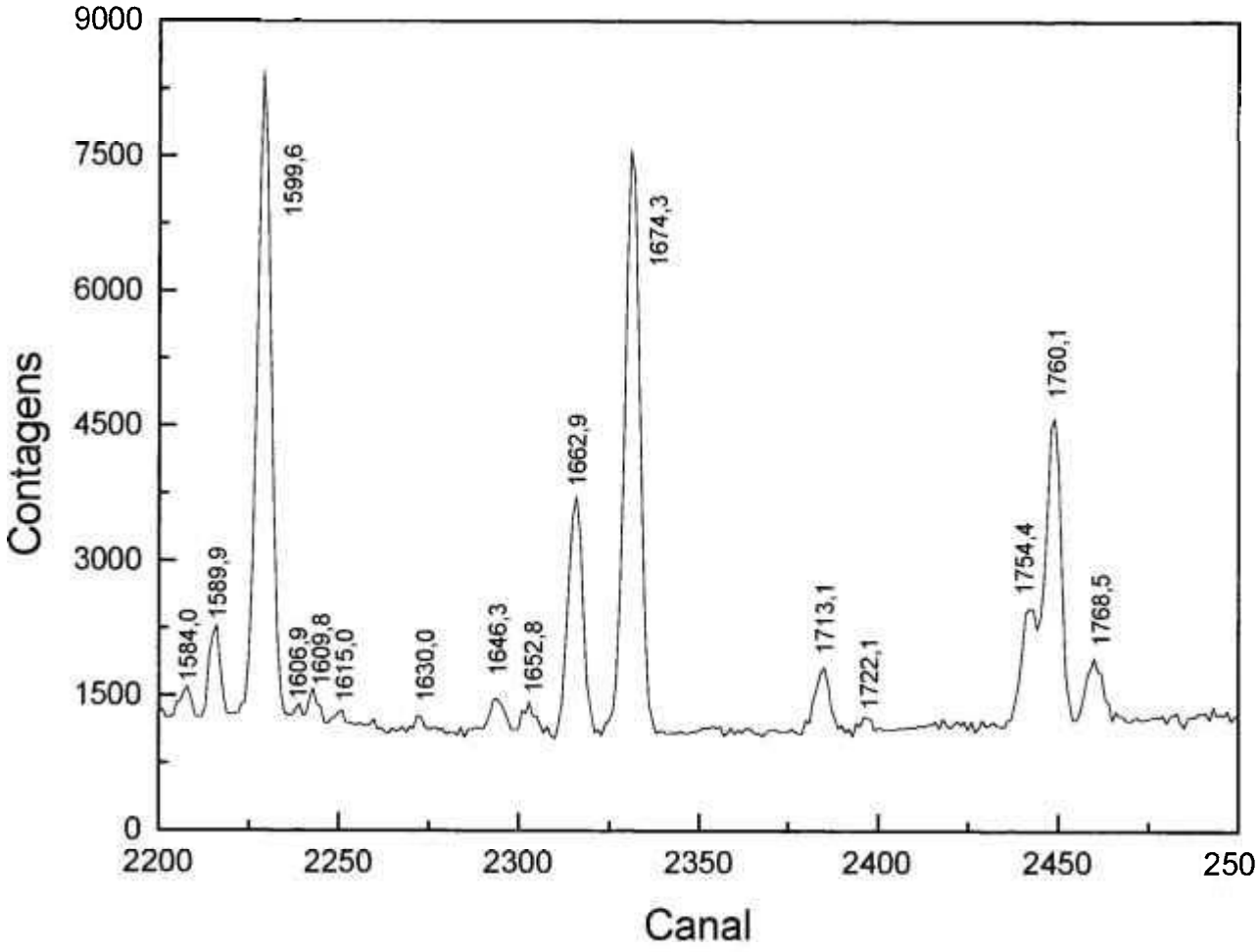
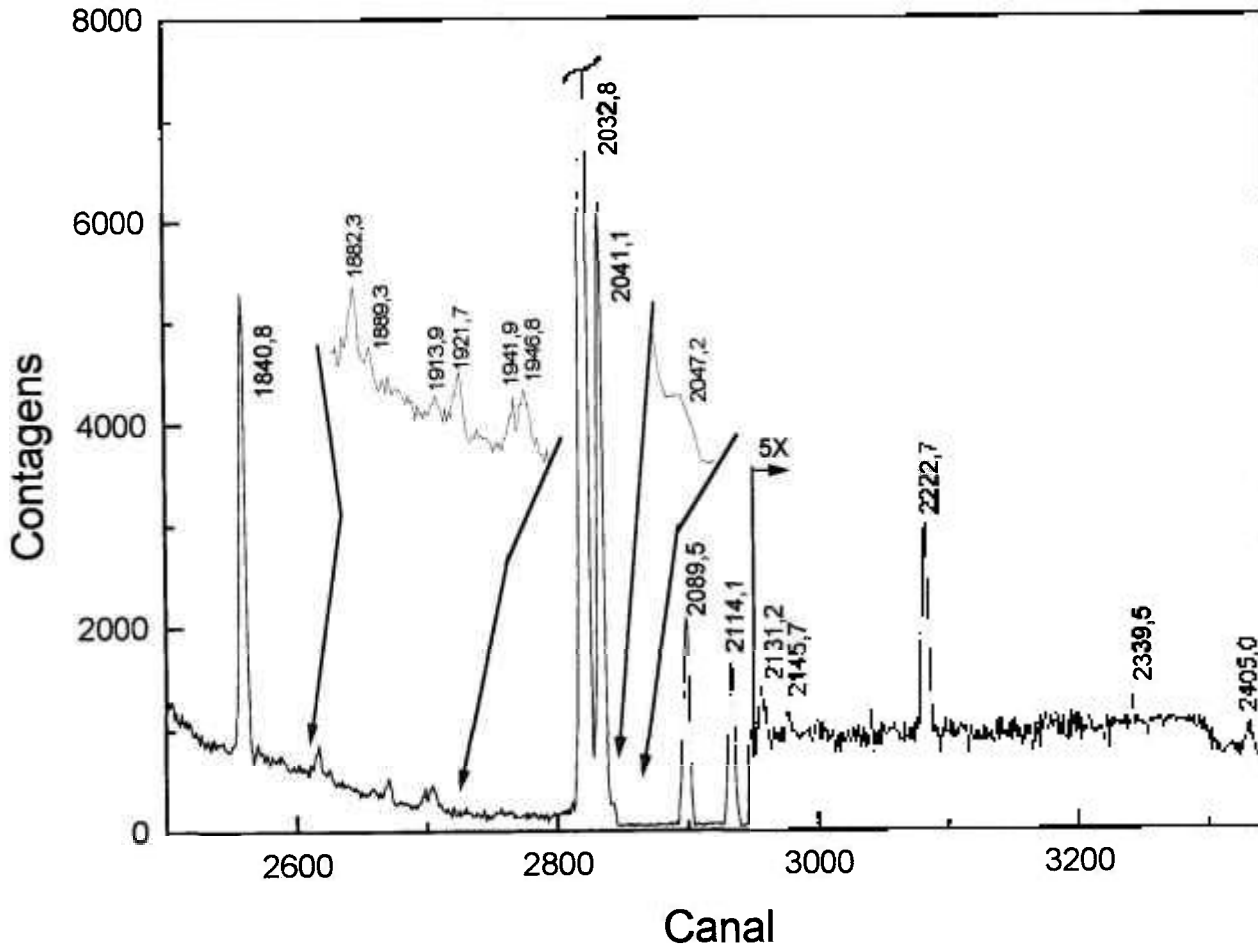


Figura I.12.continuação.



COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IPEN

Figura I.12.continuação.



Capítulo II. Coincidência multiparamétrica

II.1. Introdução

Neste capítulo será descrita a medida de coincidência multiparamétrica das transições γ provenientes dos decaimentos β^- dos núcleos ^{101}Mo e ^{101}Tc. Esta medida visa confirmar e posicionar as transições γ observadas no experimento de espectroscopia gama.

Diz-se que duas transições γ estão em coincidência quando são emitidas sucessivamente (em cascata direta ou indireta) pelo mesmo núcleo. Essas emissões têm diferenças de tempo da ordem da meia-vida dos estados excitados intermediários envolvidos, muito menor que a resolução temporal dos sistemas de aquisição (geralmente ns). A coincidência assim descrita é denominada coincidência real, em oposição à coincidência acidental, onde raios γ provenientes de núcleos distintos são detectados com uma diferença de tempo menor que o nível de discriminação do sistema de detecção.

A medida de coincidência γγ é usualmente realizada utilizando-se dois detectores, cada um medindo um fóton, na condição de serem aceitos somente os sinais processados dos dois detectores, quando a diferença de tempo entre a detecção dos dois fótons for menor que o nível de discriminação do sistema de detecção.

Portanto esta medida conterá fótons em coincidência real e acidental, valendo-lhe o nome de medida de coincidência total. Coincidências reais ocorrem com uma diferença de tempo menor que a resolução do sistema formando um pico no histograma de diferença de tempo entre os dois detectores ($\Delta T=T_2-T_1$), (cuja "centroide" é posicionada em $\Delta T=0$) com largura da ordem da resolução temporal do sistema (figura II.1), enquanto coincidências acidentais não têm preferência temporal, e portanto são representadas no histograma de diferença de tempo por uma distribuição uniforme.

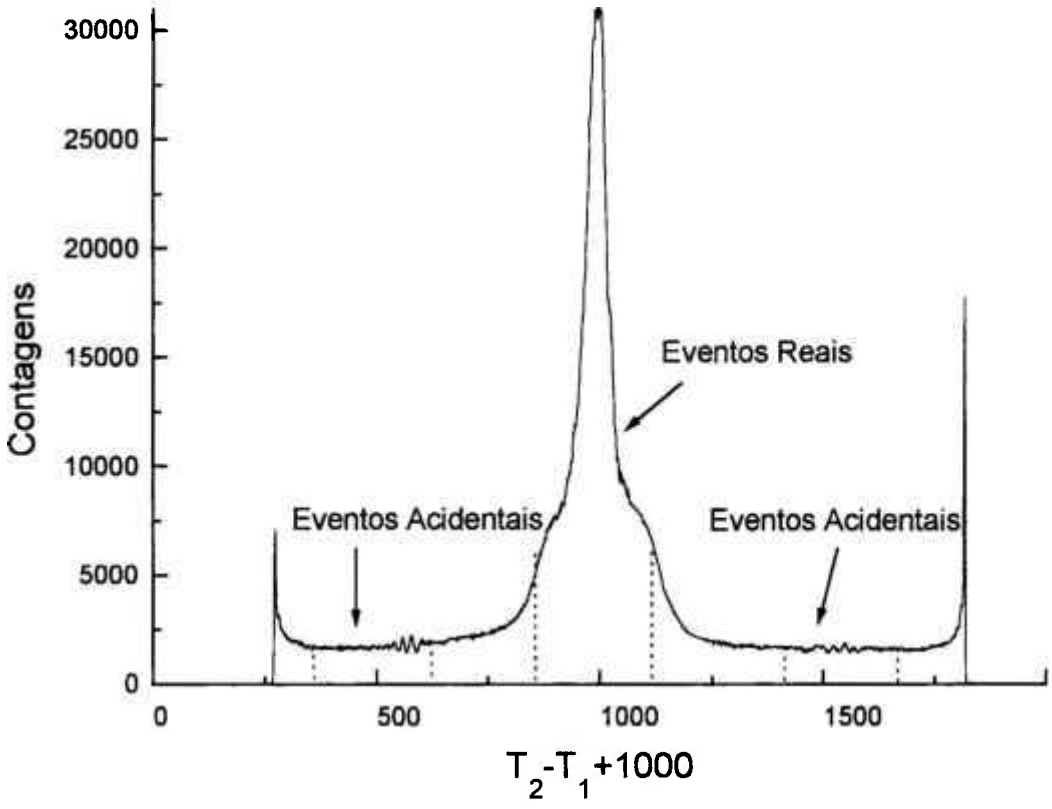


Figura II.1. Histograma de tempo obtido com os dados da presente medida.

Na prática, as coincidências reais são obtidas subtraindo-se as coincidências acidentais das coincidências totais.

II.2. Instrumentação

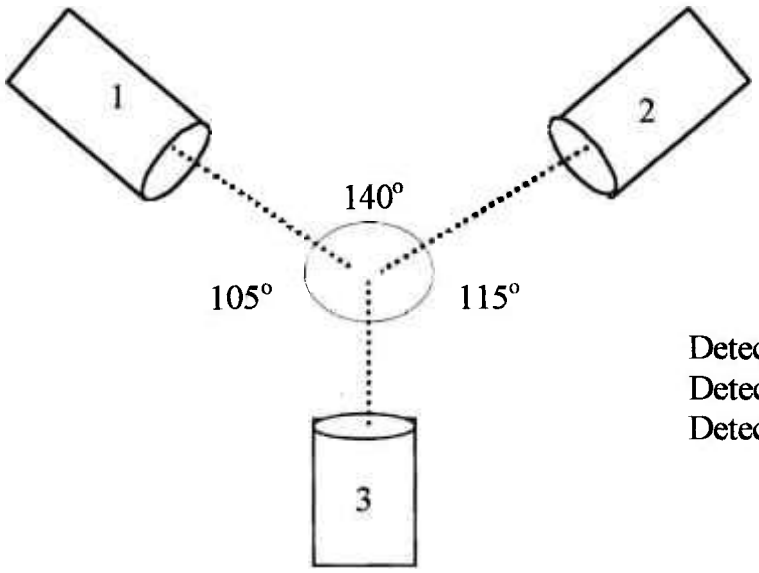
A medida de coincidência γγ do presente estudo foi realizada utilizando- se um sistema multiparamétrico instalado no Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP.

A instrumentação nuclear utilizada na aquisição dos dados de coincidência multiparamétrica constitui-se de um espectrômetro γγγ e um sistema eletrônico associado descritos a seguir.

II.2.1. Espectrômetro γγγ

O espectrômetro γγγ utilizado consiste de três detectores de estado sólido : detector 1: Ge(Li) de 45cm^3 de volume, resolução de 2,50 keV (1,332 MeV do ^{60}Ni) e intervalo de energia entre 85 e 2530 keV; detector 2: HPGe 45 cm^3 de volume, resolução de 1,87 keV (1,332 MeV do ^{60}Ni) e intervalo de energia entre 114 e 2600 keV; detector 3: HPGe de 90cm^3 de volume, resolução de 1,90 keV (1,332 MeV do ^{60}Ni) e intervalo de energia entre 85 e 2540 keV. Os detectores foram dispostos de maneira que o ângulo formado entre o detector 1 e o detector 2 fosse de 140^0 e entre os detectores 2 e 3 fosse de 115^0 , como mostra a figura II.2. Em todos os detectores foram acoplados colimadores de chumbo.

Figura II.2. Espectrômetro γγγ



II.2.2 Eletrônica de coincidência

A eletrônica de coincidência utilizada consiste de três amplificadores lineares ORTEC-572, três amplificadores rápidos ORTEC-579, três discriminadores de fração constante ORTEC-473A, três conversores analógicos digitais ORTEC-800, um conversor de diferença de tempo LeCroy 2228A, e o controlador multidetector. Esses dois últimos módulos operam em padrão CAMAC, diferentemente dos outros que operam em padrão NIM. O diagrama de blocos da eletrônica utilizada está esquematizado na figura II.3.

De cada detector são extraídos dois sinais, um sinal lento e o outro rápido. Os sinais lentos alimentam amplificadores lineares, e após receberem tratamento adequado alimentam os ADCs. Do amplificador linear também são extraídos os sinais de BUSY e INHIBIT, que

avisam para o controlador multidetector toda vez que o amplificador está processando um pulso e toda vez que ocorrer empilhamento de pulsos, respectivamente. O ADC trabalha em modo coincidência, e então ele precisa receber um sinal de gate (lógico) coincidente com o sinal linear para processá-lo e fornecer a informação referente à energia do pulso. Os sinais rápidos são processados por amplificadores rápidos e alimentam os CFD, que tem a função de marcar com precisão o tempo de sinais, emitindo um sinal lógico toda vez que receber um pulso. Esse sinal lógico alimenta o controlador multidetector.

O controlador multidetector é um módulo eletrônico padrão CAMAC, desenvolvido no Laboratório do Acelerador Linear [12], destinado à realização de medidas em coincidência com até oito detectores, registrando a ocorrência de coincidência entre dois ou mais deles, desde que quaisquer dois detectores apresentem sinais separados por menos de 200 ns. Maiores detalhes a respeito da forma de operação do controlador multidetector podem ser obtidos na figura II.4. Supondo que o controlador multidetector receba dois pulsos contendo informação de tempo dos detectores, sua primeira tarefa é verificar se esses pulsos estão dentro da discriminação do controlador. Para isso ele prolonga os sinais em 200 ns e os soma. Se a soma desses sinais exceder um nível de discriminação, significa que os dois pulsos são coincidentes e então ele envia um sinal de GATE para o ADC. O primeiro dos dois pulsos que chega no controlador é atrasado em 150 ns e alimenta o TDC disparando o START. O STOP é fornecido pelos dois pulsos atrasados em 200 ns. Dessa forma, tem-se a medida absoluta do tempo dos eventos em cada detector. Essa informação de tempo é devolvida ao controlador pois este é responsável pela interface com o microcomputador no qual se faz a aquisição dos dados. Note que se durante o processamento de sinais o controlador receber um pulso INHIBIT ou não receber o pulso BUSY, ele aborta a operação pois isso significa que o não foi um pulso que disparou o amplificador linear ou que ele empilhou dois pulsos, respectivamente. O ADC recebendo o pulso do amplificador linear e o gate do controlador, processa o pulso linear e envia a informação de energia do pulso para o controlador, novamente porque ele é o responsável pela interface de aquisição. Portanto cada evento registrado deve conter a informação de energia e tempo das transições que chegaram nos dois detectores. Essa forma de aquisição é denominada modo fila (evento por evento).

Figura II.3. Eletrônica de coincidência do sistema multidedetor do LAL/ IFUSP

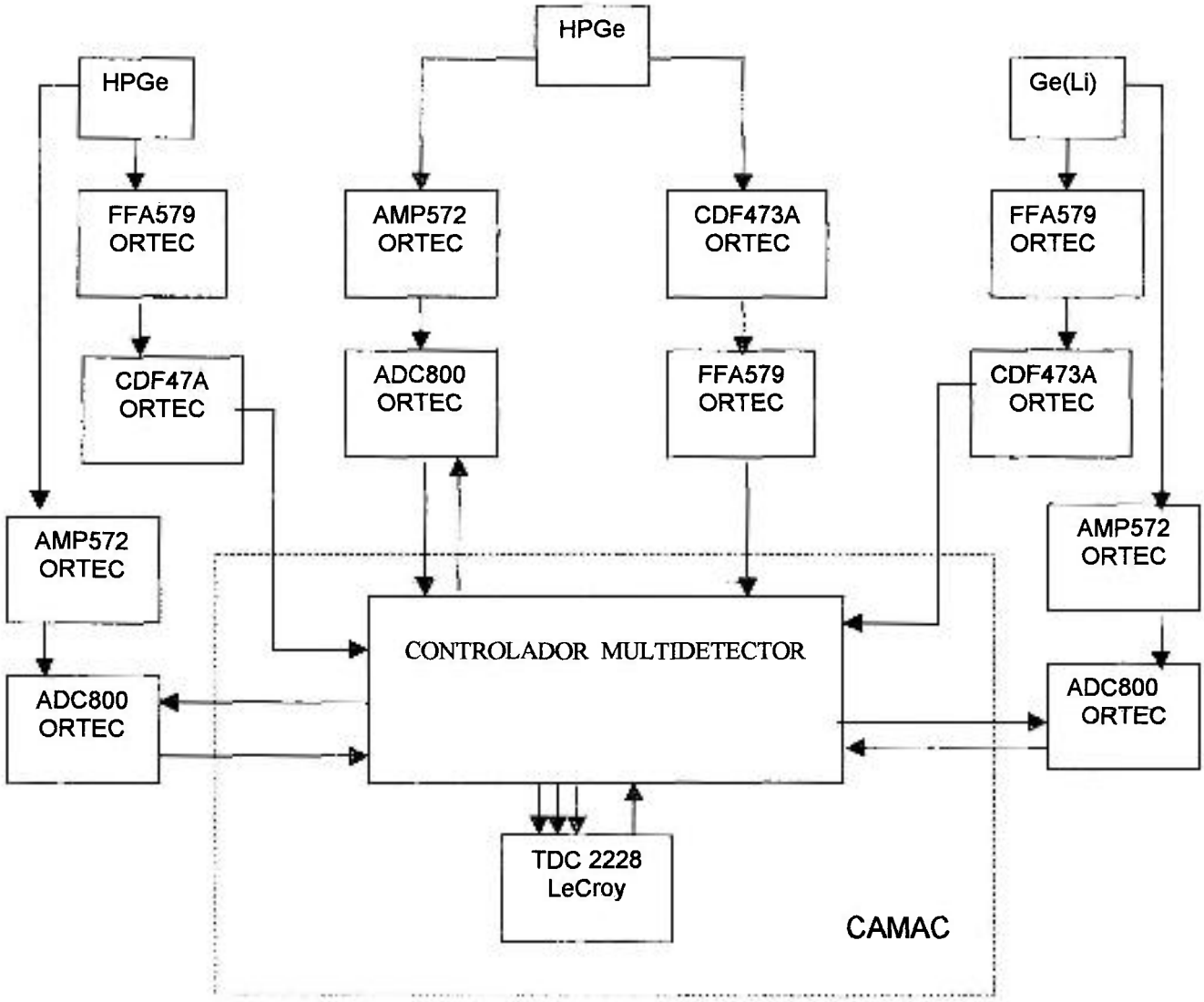
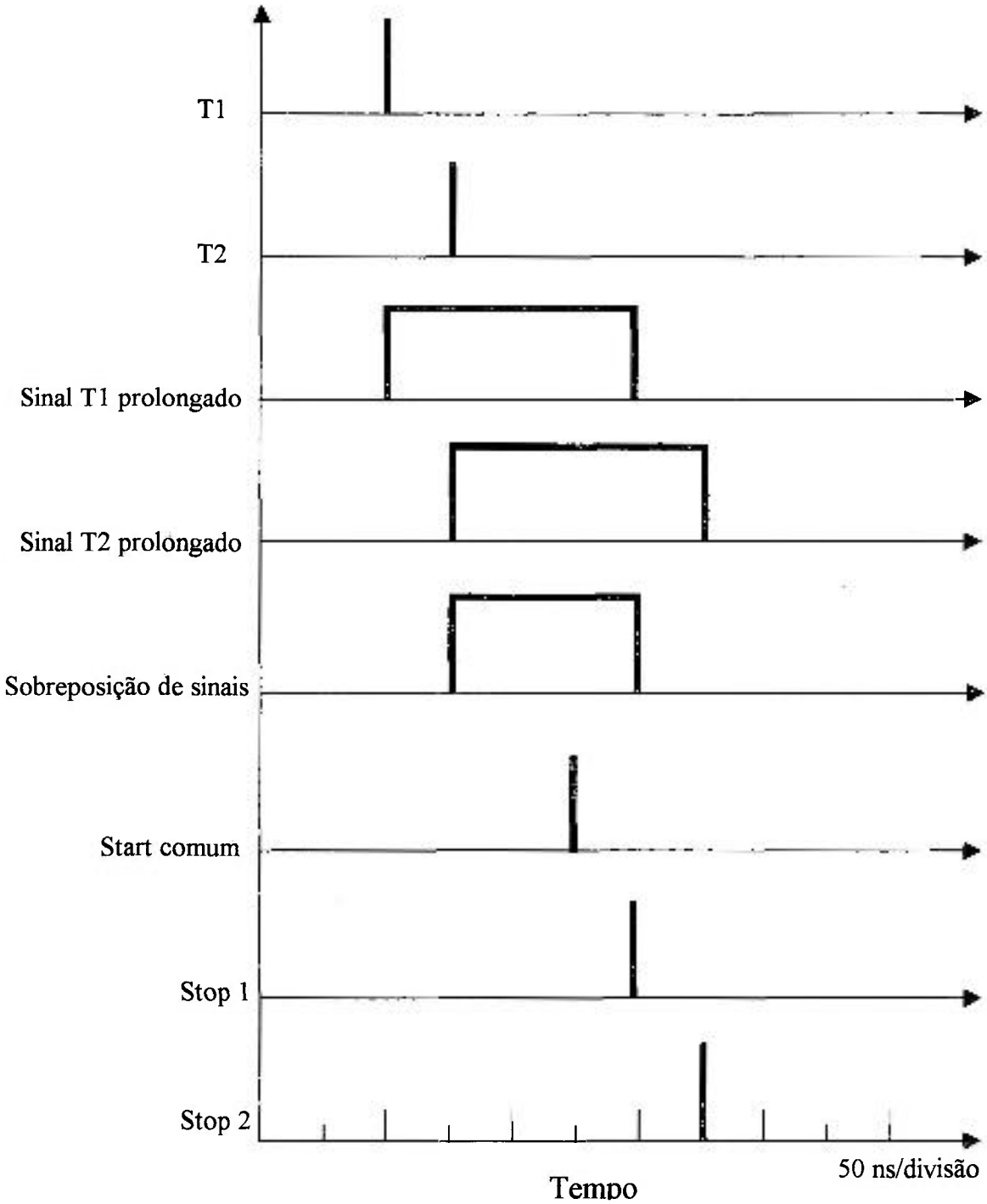


Figura II.4. Carta de tempo do controlador multidetector



II.3. Técnica Experimental e Análise de Dados

Nesta etapa será descrita a obtenção das fontes de ^{101}Mo bem como o procedimento da aquisição e análise de dados em modo bidimensional.

II.3.1. Produção de fontes de ^{101}Mo para as medidas de coincidência

As fontes de ^{101}Mo utilizadas no experimento de coincidência $\gamma\gamma$ foram obtidas da mesma forma conforme descrito em I.3.1. Foram preparadas 13 amostras de ^{100}Mo, com mesma massa (~5mg), as quais foram utilizadas em rodízio para evitar o aumento da atividade inicial das fonte de ^{101}Mo. Para esta etapa do trabalho foram produzidas 57 fontes.

II.3.2. Aquisição de Dados Via Multidetecção

A aquisição dos dados foi feita através do programa MULTI [13] que registra os dados em modo fila (evento por evento).

O arquivo resultante da aquisição, tem um cabeçalho que contém informações sobre a configuração do arranjo, e os registros de cada evento. Estes registros, são compostos por uma máscara que informa a relação de detectores que participaram de sua detecção, seguido da lista E (energia),T (tempo) de todos os detectores participantes.

A aquisição de dados resultou em um total de ~50 horas de medidas.

Para obtenção das curvas de calibração em energia e eficiência do espectrômetro de coincidência foram feitas medidas com fontes de ^{60}Co e ^{152}Eu, com duração de 30 minutos. Para a realização da calibração da eficiência do detector foram feitas aquisições unidimensionais, para simplificar a tarefa, isto é , excluindo o módulo multidetector do arranjo eletrônico.

II.3.3. Análise de Dados

Para estabelecer o posicionamento das transições γ no esquema de níveis do seu respectivo núcleo foram utilizados dados referentes às medidas de coincidência $\gamma\gamma$ entre os dois detectores de melhor resolução (detectores 2 e 3). Os fatores que mais contribuíram para esta opção foram a necessidade do desenvolvimento de um método para a análise da medida de coincidência $\gamma\gamma\gamma$ e o tempo que seria empregado para sua realização. Os dados de coincidência $\gamma\gamma$ envolvendo o detector 1 foram usados eventualmente, quando foi necessária a confirmação de resultados duvidosos ou quando a coincidência entre os detectores 2 e 3 apresentava contribuições indesejadas, não observadas na coincidência envolvendo o detector 1 devido à diferença da eficiência dos detectores.

A separação dos dados de coincidência $\gamma\gamma$ foi feita utilizando o programa SEPARA, desenvolvido no LAL, que separa os eventos em que só participaram os dois detectores de interesse e quando o evento envolve três detectores o programa projeta os dados tridimensionais em um plano bidimensional desejado.

A análise do espectro de coincidência $\gamma\gamma$ foi feita por meio de ajustes em fotopicos bidimensionais, que têm algumas vantagens em relação ao método que utiliza projeções unidimensionais. Destaca-se a facilidade na resolução de dubletos, muito freqüentes no presente estudo. Esta análise foi feita com auxílio do programa BIDIM [15], descrito no apêndice A.

Todos os fotopicos bidimensionais presentes no espectro de eventos reais foram ajustados. Da mesma forma todos os fotopicos bidimensionais presentes no espectro de eventos acidentais foram ajustados. O evento considerado real foi aquele cujo valor da área do espectro de coincidência total era superior ao valor de sua área no espectro de coincidências acidentais.

II.4. Cálculo da Intensidade Relativa

Transições γ que não foram observadas na medida de espectrocopia simples ou cuja determinação de intensidade relativa por meio desta medida é dificil, como no caso de dubletos não resolvidos, podem, a partir do seu posicionamento no esquema de níveis, ter este valor estimado.

Considere duas transições coincidentes, γ_i detectada por um detector 1, que precede γ_j detectada por um detector 2. A área do fotopico bidimensional é dado por:

$$A_{i,j} = N.y_{ij}^{\gamma}.\varepsilon_1(E_i).\varepsilon_2(E_j).W(\theta_{ij}).\varepsilon_{coinc} \qquad \text{II.1}$$

onde:

$N = \int_0^t A(t).dt$ = Número de decaimentos do núcleo durante o período t, A(t) é a atividade da fonte. II.2

y_{ij}^{γ} = Probabilidade de que γ_j seja emitido sendo que γ_i foi emitido.

$\varepsilon_1(E_i)$ = Eficiência do detector 1 na energia E_i.

$\varepsilon_2(E_j)$ = Eficiência do detector 2 na energia E_j.

$W(\theta_{ij})$ = Função de correlação angular para o ângulo de emissão entre os fótons γ_i e γ_j.

ε_{coinc} = Eficiência temporal do sistema de coincidência $\gamma\gamma$.

O termo y_{ij}^{γ} é a probabilidade de que um núcleo emita o fóton γ_j, sendo que já emitiu o fóton γ_i. Portanto este termo pode ser decomposto em:

$$y_{ij}^{\gamma} = I_i.br_j \qquad \text{II.3}$$

onde:

I_i = Intensidade absoluta do fóton γ_i.

br_j = Razão de ramificação da transição γ_j.

O termo ε_{coinc} é a eficiência temporal do sistema de coincidência. Este efeito é gerado principalmente pelo amplificador rápido, que devido a sua restrita resolução em energia, ocasiona perda de parte da informação do fotopico processado, quando este é de baixa energia. Esta eficiência deveria ser calibrada porém para o sistema de coincidência $\gamma\gamma$ utilizado neste estudo não foi feita nenhuma medida que possibilitasse esta calibração. O procedimento

adotado aqui, foi atribuir valor 1 a esta eficiência e evitar utilizar transições de baixa energia ($E_\gamma < 300$ keV) para estimativa da intensidade relativa.

Então:

$$A_{i,j} = N.I_i.br_j.\varepsilon_1(E_i).\varepsilon_2(E_j).W(\theta_{ij}) \qquad \text{II.4}$$

Considerando um segundo par de transições, γ_k detectada no detector 1 e γ_l detectada no detector 2, pode-se estimar a intensidade da transição γ_j. A razão entre as áreas dos fotopicos bidimensionais i-j e k-l será :

$$\frac{A_{i,j}}{A_{k,l}} = \frac{I_i.br_j.\varepsilon_1(E_i).\varepsilon_2(E_j).W(\theta_{ij})}{I_k.br_l.\varepsilon_1(E_k).\varepsilon_2(E_l).W(\theta_{kl})} \qquad \text{II.5}$$

É possível fazer duas simplificações: a primeira é quando $\gamma_i = \gamma_k$, e Segunda é considerar a razão $\frac{W(\theta_{ij})}{W(\theta_{il})}$ igual a 1.

$$\frac{A_{i,j}}{A_{i,l}} = \frac{br_j.\varepsilon_2(E_j)}{br_l.\varepsilon_2(E_l)} \qquad \text{II.6}$$

A razão da intensidade relativa de γ_j e γ_l pode ser igualada a :

$$\frac{I_{r_j}}{I_{r_l}} = \frac{br_j}{br_l} \qquad \text{II.7}$$

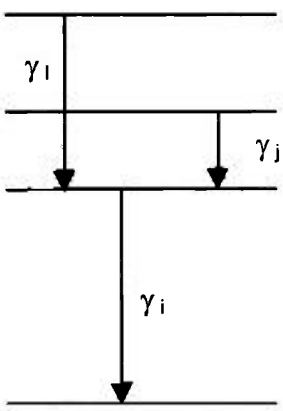
Portanto

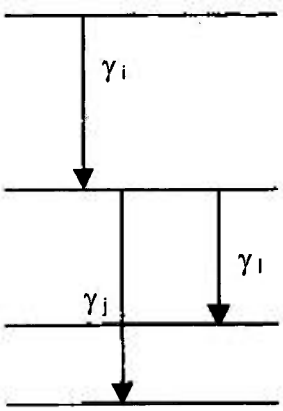
$$\frac{A_{i,j}}{A_{i,l}} = \frac{I_{r_j}.\varepsilon_2(E_j)}{I_{r_l}.\varepsilon_2(E_l)} \qquad \text{II.8}$$

ou

$$I_{r_j} = I_{r_l}.\frac{A_{i,l}.\varepsilon_2(E_j)}{A_{i,j}.\varepsilon_2(E_l)} \qquad \text{II.9}$$

A estimativa da intensidade relativa pode ser obtida considerando-se duas configurações:





II.5. Posicionamento das transições γ no esquema de níveis

O posicionamento de uma transição γ no esquema de níveis do núcleo é determinado com base nas relações de coincidência que a envolvem. No presente estudo, grande parte das transições tiveram seu posicionamento determinado através das relações de coincidência. Porém, quando as relações de coincidência de uma transição γ não podem ser observadas experimentalmente devido à limitações instrumentais, é necessário que se faça a proposição do posicionamento por outro método. Com esse objetivo foi utilizado o critério de energia.

O critério de energia baseia-se no fato de que a energia perdida pelo núcleo, durante a emissão de um raio γ, é igual a diferença de energia entre os dois níveis (nível de saída e nível de chegada), considerando as incertezas experimentais. A formulação utilizada neste critério será descrita a seguir.

Sejam G_i e G_j as energias propostas para o nível de saída e chegada respectivamente, D_k a energia da transição, σ_{gi}, σ_{gj}, σ_{dk} seus respectivos desvios padrão.

A energia perdida pelo núcleo na emissão de um raio γ é obtida somando o valor desta energia com a energia de recuo do núcleo:

$$D_k' = D_k \left(1 + \frac{D_k}{2MC^2} \right) \qquad \text{II.10}$$

onde M é a massa do núcleo e C a velocidade da luz. A matriz de covariância de D_k' foi considerada igual a de D_k, já calculada conforme descrito em II.4.2.
O critério de energia pode ser descrito pela equação:

$$\frac{\left| D'_k - \left| G_i - G_j \right| \right|}{\sigma} \leq Z \qquad \text{II.11}$$

onde $\sigma = \sqrt{(\sigma_{D'K})^2 + (\sigma_{G_i})^2 + (\sigma_{G_j})^2}$ e Z determina a precisão escolhida.

Para que fosse feito o posicionamento das transições γ no esquema de níveis, por meio do critério da energia, foi utilizado o programa ESQUEMA [11].

Para transições γ que não foram observadas na medida de coincidência γγ e que a aplicação do critério de energia resultou em mais de um posicionamento possível, foi utilizado o valor da alimentação beta do nível (que será descrito no capítulo III) para posicioná-la.

II.6. Resultados

II.6.1. Relações de coincidências no núcleo ^{101}Tc

Um sumário das relações de coincidência é apresentado na tabela II.1. A primeira coluna diz respeito à transição gama selecionada e a outra às coincidências observadas.

tabela II.1: Sumário das relações de coincidência das transições γ do decaimento beta do núcleo ^{101}Mo

Energia (keV)	Transição γ coincidente (keV)
105	399, 591, 608, 884, 904, 1187, 1251
106	222, 276, 282, 988, 1346, 1653, 1662
115	212, 412, 484, 513, 1346, 1607
170	212, 484, 1293
187	222, 276, 282, 1674

Tabela II.1 : Continuação

Energia (keV)	Transição γ coincidente (keV)
196	448, 452, 500, 506, 513, 516, 608, 642, 884, 887, 904, 1064, 1187, 1214, 1251, 1290, 1337, 1339, 1345, 1527
212	115, 170, 276, 602, 819, 859[a], 1430, 1547, 1630, 1919
222	106, 188, 379, 385, 412, 571, 1346
276	106, 187, 212, 379, 385, 1293
282	106, 187, 379, 1380
284	1663
318	713, 1200, 1355
328	571, 774, 1346, 1432
333	481, 1184, 1426, 1434, 1508
348	904, 1600
353	517, 524, 534, 1010, 1160
369	1663
372	500, 506, 1010, 1160
379	222, 282, 276, 1346, 1653, 1662
381	106, 379, 1293, 1378, 1388
385	222, 276, 1674
394	540, 1013
399	105, 421, 642, 713, 1200, 1355, 1395
402	887, 1590
409	412, 571, 733, 1432, 1440
412	116, 222, 409
421	399, 566, 779, 934, 1022, 1209
422	591, 1251
433	904, 1600
441	904, 1600
448	196, 448, 506, 524, 534, 695, 887, 1065, 1083, 1584, 1600
452	196, 524, 566, 884
469	1380
481	333
482	506, 1050
484	115, 170, 602
487	506, 608, 713, 1304
491	506, 1050, 1450
500	196, 372, 511, 513, 642, 608, 804, 884, 934, 1050, 1083, 1251, 1383, 1414, 1486
506	196, 372, 448, 482, 487, 491, 511, 513, 566, 608, 642, 779, 804, 904, 934, 1050, 1083, 1160, 1251, 1260, 1383, 1414, 1447, 1486, 1615
511	499, 506, 516

Tabela II.1 : Continuação

Energia (keV)	Transição γ coincidente (keV)
513	195, 500, 506, 516, 566, 779, 934, 1022, 1028
516	196, 511, 513, 608, 804, 1050, 1251, 1383, 1415, 1533
517	353, 524, 534, 1065
524	353, 448, 790, 1065, 1515
534	353, 448, 790, 1065, 1160, 1515
540	394, 815
559	1663
566	421, 452, 307, 513, 591, 1013
571	222, 328, 409, 774, 859[b]
591	105, 422, 566, 608, 625, 642, 713, 728, 815, 884, 934, 988, 992, 1200, 1251, 1286, 1323, 1355, 1395, 1441, 1451, 1525, 1544, 1646
602	212, 448
606	1308, 1314
608	105, 196, 487, 500, 506, 516, 591, 642, 695, 702
623	904, 1600
625	591, 815
642	196, 399, 500, 506, 591, 608, 695, 713, 804, 713, 1031, 1304
661	1293, 1378
665	853
676	695, 1383
695	448, 608, 642, 676, 884, 887, 904, 1064, 1187, 1217, 1251, 1290, 1337, 1339
702	608, 884, 1187, 1251
708	878
713	318, 399, 487, 591, 642, 728
728	591, 713, 804
733	790, 1308, 1314
774	328, 409, 571, 981
779	421, 506, 513, 1013
790	524, 534, 733
804	500, 506, 516, 642, 728
815	540, 591, 625
819	212
853	665
859[a]	212, 896
859[b]	571, 981
871	889, 1010, 1160
878	708, 1010, 1160, 1531
884	105, 196, 452, 500, 506, 591, 695, 702

Tabela II.1 : Continuação

Energia (keV)	Transição γ coincidente (keV)
886	1010, 1160
887	196,402, 448, 695
889	871, 878
896	859[a], 843
904	105, 196, 348, 433, 441, 506, 623
934	421, 500, 506, 513, 591, 1012, 1019
943	896
981	773, 859[b]
988	106, 591
992	591
1010	353, 372, 871, 878, 886
1013	394, 566, 779, 934, 1022, 1028, 1209, 1325
1019	934
1022	421, 513, 1013
1028	513, 1013
1031	642
1049	482, 491, 500, 506, 516
1064	196, 695
1065	448, 517, 524, 534
1083	448, 500, 506
1160	353, 372, 506, 534, 871,878, 886
1169	591
1184	333
1187	105, 196, 695, 702
1200	318, 399, 591
1209	421, 1013
1217	196, 695
1251	105, 195, 422, 500, 506, 516, 591, 695, 702
1260	506
1286	591
1290	196, 506, 695
1293	170, 276, 381, 661
1304	487, 642
1308	606, 733
1314	606, 733
1323	591
1325	513, 1013
1337	196, 695
1339	695
1345	196, 695
1346	106, 115, 222, 328, 379, 409

Tabela II.1 : Continuação

Energia (keV)	Transição γ coincidente (keV)
1355	318, 399, 591
1378	381, 661
1380	282, 469
1383	500, 506, 516, 676
1388	380
1395	399, 591
1414	500, 506, 516
1419	196, 500, 506, 695
1426	333
1430	212
1432	328, 409
1434	333
1440	409
1441	591
1447	506
1451	591
1486	500, 506
1508	333
1515	524, 534
1523	591
1527	196
1531	878
1533	500, 506, 516
1544	591
1547	212
1550	491
1584	448
1590	402, 448
1600	348, 433, 441, 623
1607	106
1615	506
1630	212
1646	591
1653	106, 379
1662	106, 379
1663	284, 369, 559
1674	187, 385
1919	212

Onde : a → 859,12 keV [1962,2 keV → 1103,5 keV]
b → 859,15 keV [2047,8 keV → 1187,8 keV]

Das 173 transições γ observadas na medida de espectroscopia simples, apenas cinco não foram posicionadas no esquema de níveis e 19 tiveram seu posicionamento modificado.

Durante a análise das medidas de coincidência γγ, mais 12 transições γ foram observadas pela primeira vez, sendo 8 delas dubletos que não foram identificados (isto é: não resolvidos) na medida de espectroscopia γ. Os valores das intensidades dessas transições foram estimados pelo método descrito em II.5, apresentados na tabela II.3 e os valores de energia fornecidos pelo programa BIDIM [13] (considerou-se o detector de melhor resolução). Além disso, 23 transições γ foram posicionadas pelo critério de energia e 38 transições γ confirmam posicionamento atribuído por Cook e Jonh [3] e 8 por Wright e outros [4].

Três níveis foram propostos pela primeira vez para o decaimento β^- do ^{101}Mo, a saber: 676,71 keV; 1323,34 keV e 1422,13 keV. Estes níveis foram observados anteriormente em medidas envolvendo a reação ^{100}Mo(^{3}He,pnγ)^{101}Tc [14].

O posicionamento das transições γ atribuído por este trabalho é apresentado na tabela II.2. Dados referentes aos estudos mais recentes [3,4] bem como a última compilação fornecida pelo NDS [16] são apresentados para comparação.

Tabela II.2: Posicionamento das transições γ do decaimento beta do núcleo ^{101}Mo.

Presente Estudo			**NDS** [16]		**Cook e Johns** [3]		**Wright e outros**[4]	
Energia (keV)	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}
80,971 (24) [a]	288,8	207,5	288,4	207,5	288,4	207,5	288	208
104,7 (1)	711,1	606,6	----	----	711,1	606,4	----	----
105,84 (4)	395,1	288,8	----	----	394,4	288,4	*np*	*np*
115,48 (17)	616,3	500,8	616,2	500,4	616,2	500,4	616	500
169,8 (9)	669,7	500,8	----	----	669,4	500,4	----	----

Tabela II.2: continuação.

Energia (keV)	Presente Estudo		NDS [16]		Cook e Johns [3]		Wright e outros [4]	
	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}
187,19 (11)	395,1	207,5	394,9	207,5	----	----	395	208
191,671 (18)	207,5	15,8	207,5	15,6	207,5	15,6	208	16
195,935 (19)	711,1	515,6	711,2	515,3	711,1	505,2	711	515
211,68 (2)	500,8	288,8	500,4	288,4	500,4	288,4	500	288
221,79 (11)	616,3	395,1	742,3	520,6	616,2	394,4	742	520
275,54 (9)	669,7	395,1	669,9	394,9	669,4	394,4	670	395
281,82 (9)	676,7	395,1	----	----	----	----	----	----
284,35(16)	1962,2	1678,3	----	----	----	----	----	----
318,04 (4)	606,6	288,8	1962,4	1644,3	606,4	288,4	1962	1644
327,64 (4)	616,3	288,8	616,2	288,4	616,2	288,4	616	288
333,357 (18)	622,0	288,8	622,1	288,4	622,1	288,4	622	288
347,52 (9)	1962,2	1615,1	1962,4	1614,8	1962,1	1614,7	1962	1615
353,02 (11)	887,2	533,5	886,7	533,5	886,6	533,5	887	533
369,48 (14)	2047,8	1678,3	2047,8	1678,0	2047,6	1677,8	2048	1678
371,51 (9)	887,2	515,6	886,7	515,3	886,6	515,2	887	515
379,187 (38)	395,1	15,8	394,9	15,6	394,4	15,6	395	15
380,678 (37)	669,7	288,8	669,9	288,4	669,4	288,4	670	288
384,8 (6)	395,1	9,5	----	----	394,4	9,3	*np*	*np*
393,50 (21)	1422,1	1028,5	----	----	----	----	----	----
399,213 (16)	606,6	207,5	606,5	207,5	606,4	207,5	606	207
402,0 (5)	2001,8	1599,5	----	----	----	----	----	----
409,024 (12)	616,3	207,5	616,2	207,5	616,2	207,5	616	207
411,58 (15)	1028,5	616,3	----	----	----	----	----	----
421,34 (18)	1028,5	606,6	1028,1	606,5	1027,9	606,4	1028	606
422,40 (15)	711,1	288,8	----	----	711,1	288,4	----	----
432,52 (10)	2047,8	1615,1	----	----	2047,6	1614,7	----	----
441,43 (16)	2056,9	1615,1	2056,8	1614,8	2056,4	1614,7	2057	1615
448,249 (17)	2047,8	1599,5	2047,8	1599,1	2047,6	1598,9	2048	1599
452,31 (6)	2047,8	1594,8	1122,1	669,9	2047,6	1594,4	1122	670
469,40(7)	676,7	207,5	----	----	*np*	*np*	*np*	*np*
480,71(14)	1103,5	622,0	----	----	----	----	----	----
482,32 (7)	2047,8	1565,1	----	----	2047,6	1565,1	----	----
484,46 (10)	500,8	15,8	----	----	----	----	----	----
486,54 (12)	1806,9	1319,8	----	----	1197,3	711,1	----	----
491,25 (17)	2056,9	1565,1	500,4	9,3	500,4	9,3	500	9
499,923 (12)	515,6	15,8	515,3	15,6	515,2	15,6	515	16
506,239 (9)	515,6	9,5	515,3	9,3	515,2	9,3	515	9
510,81 (4)	1026,4	515,6	2557,9	2047,8	1025,6	515,2	2558	2048
513,152 (19)	1028,5	515,6	1028,1	515,3	1027,9	515,2	1028	515
515,700 (18)	515,6	9,5	1122,1	606,5	515,2	0,0	1122	606
517,23 (15)	533,5	15,8	----	----	----	----	----	----

IPEN

Tabela II.2: continuação.

Energia (keV)	Presente Estudo		NDS [16]		Cook e Johns [3]		Wright e outros [4]	
	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}
523,95 (5)	533,5	9,5	533,5	9,3	533,5	9,3	533	9
533,61 (5)	533,5	0,0	533,5	0,0	533,5	0,0	533	0
540,19 (9)	1962,2	1422,1	2218,4	1678,0	----	----	2218	1678
559,28 (5)	2237,7	1678,3	2237,9	1678,0	2237,8	1677,8	2238	1678
566,161 (16)	1594,8	1028,5	1594,7	1028,1	1594,4	1027,9	1594	1028
571,40 (6)	1187,8	616,3	1188,1	616,2	1188,0	616,2	1188	616
591,180 (9)	606,6	15,8	606,5	15,6	606,4	15,6	606	16
602,38 (8)	1103,5	500,8	1103,7	500,4	1103,5	500,4	1103	500
606,38 (34)	1929,8	1323,3	616,2	9,3	----	----	616	9
608,156 (11)	1319,8	711,1	1319,6	711,2	1319,5	711,1	1320	711
611,08 (4)	*np*	*np*	2573,6	1962,4	----	----	2573	1962
622,74 (15)	2237,7	1615,1	----	----	----	----	----	----
625,42 (30)	2047,8	1422,1	1232,2	606,5	1231,3	606,4	1232	606
642,293 (11)	1962,2	1319,8	1962,4	1319,6	1141,5	500,4	1962	1320
660,98 (5)	669,7	9,5	669,9	9,3	669,4	9,3	670	9
665,25 (39)	1806,9	1141,6	----	----	----	----	----	----
675,8 (5)	2574,0	1898,2	2573,6	1897,9	----	----	2573	1898
695,21 (9)	711,1	15,8	711,2	15,6	711,1	15,6	711	16
701,61 (15)	711,1	9,5	711,2	9,3	711,1	9,3	711	9
708,055 (11)	1594,8	887,2	1594,7	886,7	----	----	1594	887
713,40 (11)	1319,8	606,6	1319,6	606,5	1319,5	606,4	1320	606
727,85 (4)	2047,8	1319,8	2047,8	1319,6	2047,6	1319,5	2048	1320
732,68 (4)	2056,9	1323,3	742,3	9,3	742,2	9,3	742	9
774,487 (32)	1962,2	1187,8	----	----	1962,1	1188,0	*np*	*np*
778,611 (15)	1806,9	1028,5	1806,4	1028,1	1806,3	1027,9	1806	1028
789,74 (22)	1323,3	533,5	----	----	*np*	*np*	*np*	*np*
803,89 (5)	1319,8	515,6	1319,6	515,3	1319,5	515,2	1320	515
815,48 (30)	1422,1	606,6	1103,7	288,4	1103,5	288,4	1103	288
819,32 (30)	1319,8	500,8	----	----	1319,5	500,4	----	----
852,73 (6)	1141,6	288,8	----	----	1141,5	288,4	2659	1806
859,12 (24)	1962,2	1103,5	----	----	----	----	----	----
859,15 (13)	2047,8	1187,8	1962,4	1103,7	2047,6	1188,0	1962	1103
871,456 (29)	887,2	15,8	886,7	15,6	886,6	15,6	887	16
877,692 (9)	887,2	9,5	886,7	9,3	886,6	9,3	887	9
883,788 (25)	1594,8	711,1	1594,7	711,2	1594,4	711,1	1594	711
886,14 (17)	887,2	0,0	----	----	----	----	----	----
886,95 (37)	1599,5	711,1	886,7	0,0	1599,9	711,1	887	0
888,62 (9)	1775,5	887,2	1775,4	886,7	1775,3	886,6	1775	887
896,19 (6)	1103,5	207,5	1103,7	207,5	1103,5	207,5	1103	207
903,90 (5)	1615,1	711,1	1614,8	711,2	1614,7	711,1	1615	711
933,764 (9)	1962,2	1028,5	1962,4	1028,1	1962,1	1027,9	1962	1028

Tabela II.2: continuação.

Presente Estudo			NDS [16]		Cook e Johns [3]		Wright e outros [4]	
Energia (keV)	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}
943,37 (11)	2047,8	1103,5	1232,2	288,4	1231,3	288,4	1232	288
980,73 (4)	1187,8	207,5	1188,1	207,5	1188,0	207,5	1188	207
988,30 (7)	1594,8	606,6	1594,7	606,5	1594,4	606,4	1594	606
992,42 (29)	1599,5	606,5	----	----	----	----	----	----
1010,16 (6)	1898,2	887,2	1617,8	606,5	1897,5	886,6	1618	606
1012,703 (8)	1028,5	15,8	1028,1	15,6	1027,9	15,6	1028	16
1018,794 (17)	1028,5	9,5	1028,1	9,3	1028,5	9,3	1028	9
1021,69 (36)	2047,8	1028,5	2047,8	1028,1	2047,6	1028,9	2048	1028
1028,4 (4)	2056,9	1028,5	----	----	----	----	----	----
1030,83 (27)	1319,8	288,8	2218,4	1188,1	*np*	*np*	2218	1188
1049,35 (38)	1565,1	515,6	2237,9	1188,1	1565,1	515,2	2238	1188
1063,79 (21)	1775,5	711,1	1775,4	711,2	1775,3	711,1	1775	711
1065,23 (32)	1599,5	533,5	1599,1	533,5	1598,9	533,5	1599	533
1083,40 (25)	1599,5	515,6	----	----	----	----	----	----
1160,490 (10)	2047,8	887,2	2047,8	886,7	2047,6	886,6	2048	887
1168,67 (5)	1775,5	606,6	1775,4	606,5	1775,3	606,4	1775	606
1183,68 (14)	1806,9	622,0	1806,4	622,1	1806,3	622,1	1806	622
1186,885 (32)	1898,2	711,1	1897,9	711,2	1897,5	711,1	1898	711
1200,181 (13)	1806,9	606,6	1806,4	606,5	1806,3	606,4	1806	606
1209,40 (9)	2237,7	1028,5	2237,9	1028,1	2237,8	1027,9	2238	1028
1217,42 (22)	1929,8	711,1	2129,8	911,5	----	----	2130	911
1251,40 (24)	1962,2	711,1	1962,4	711,2	1962,1	711,1	1962	711
1259,82 (8)	1775,5	515,6	1775,4	515,3	1775,3	515,2	1775	515
1286,45 (12)	1893,1	606,6	----	----	1892,9	606,4	*np*	*np*
1290,1 (4)	2001,8	711,1	1806,4	515,3	----	----	1806	515
1292,76 (17)	1962,2	669,7	1808,5	515,3	1962,1	669,4	1808	515
1304,24 (15)	1319,8	15,8	1319,7	15,6	1319,5	15,6	1320	16
1308,40 (26)	1323,3	15,8	1808,5	500,4	----	----	1808	500
1313,86 (7)	1323,3	9,5	2056,8	742,3	2056,4	742,2	*np*	*np*
1322,60 (16)	1929,8	606,6	----	----	1928,9	606,4	2057	742
1325,28 (7)	2353,7	1028,5	2557,9	742,3	2353,9	1027,9	2558	1232
1336,76 (13)	2047,8	711,1	2047,8	711,2	2047,6	711,1	2048	711
1339,47 (11)	*np*	*np*	----	----	----	----	2659	1319
1345,20 (58)	2056,9	711,1	----	----	----	----	----	----
1346,250 (26)	1962,2	616,3	1962,4	616,2	1962,1	616,2	1962	616
1355,425 (17)	1962,2	606,6	1962,4	606,5	1962,1	606,4	1962	606
1368,99 (16)	*np*	*np*	----	----	----	----	----	----
1377,72 (7)	2047,8	669,7	2047,8	669,9	2047,6	669,4	2048	670
1379,7 (5)	2056,9	676,7	1775,4	394,9	----	----	1775	395
1382,907 (28)	1898,2	515,6	1897,9	515,3	1897,5	515,2	1898	515
1387,50 (20)	2056,9	669,7	2129,8	742,3	2056,4	669,4	2130	742

Tabela II.2: continuação.

Energia (keV)	Presente Estudo $E_{inicial}$	Presente Estudo E_{final}	NDS [16] $E_{inicial}$	NDS [16] E_{final}	Cook e Johns [3] $E_{inicial}$	Cook e Johns [3] E_{final}	Wright e outros [4] $E_{inicial}$	Wright e outros [4] E_{final}
1395,034 (32)	2001,8	606,6	----	----	2001,0	606,4	2001	606
1414,362 (37)	1929,8	515,6	2442,3	1028,1	1928,9	515,2	2442	1028
1418,767 (26)	2129,9	711,1	2129,8	711,2	2129,2	711,1	2130	711
1425,5 (4)	2047,8	622,0	----	----	----	----	2659	1232
1429,86 (39)	1929,8	500,8	----	----	1928,9	500,4	*np*	*np*
1431,98 (15)	2047,8	616,3	2047,8	616,2	2047,6	616,2	2048	616
1434,25 (30)	2056,9	622,0	2056,8	622,1	2056,4	622,1	2057	622
1440,1 (4)	2056,9	616,3	----	----	----	----	----	----
1441,20 (12)	2047,8	606,6	2047,8	606,5	2047,6	606,4	2048	606
1446,68 (24)	1962,2	515,6	----	----	----	----	----	----
1450,99 (26)	2056,9	606,6	2573,6	1122,1	*np*	*np*	2573	1122
1485,86 (9)	2001,8	515,6	----	----	2001,0	515,2	2001	515
1508,11 (16)	2129,8	622,0	2129,8	622,1	2129,2	622,1	2218	711
1514,68 (11)	2047,8	533,5	2047,8	533,5	2047,6	533,5	2048	533
1518,46 (17) [a]	1806,9	288,8	1806,4	288,4	1806,3	288,4	1806	288
1523,33 (35)	2129,8	606,6	2129,8	606,5	2129,2	606,4	2130	606
1526,69 (11)	2237,7	711,1	2237,9	711,2	----	----	2238	711
1531,35 (28)	2419,6	887,2	2557,9	1028,1	2418,3	886,6	2558	1028
1532,805 (24)	2047,8	515,6	2047,8	515,3	2047,6	515,2	2048	515
1543,93 (26)	2150,1	616,3	----	----	2150,3	606,4	----	----
1546,7 (4)	2047,8	500,8	----	----	2047,6	500,4	----	----
1549,53 (15)	1565,1	15,8	2218,4	669,9	----	----	2218	670
1584,04 (20)	1599,5	15,8	1599,1	15,6	1598,9	15,6	1599	16
1589,86 (8)	1599,5	9,5	1599,1	15,6	1598,9	9,3	1599	9
1599,603 (33)	1615,1	15,8	1614,8	15,6	1614,7	15,6	1615	16
1606,89 (34)	2001,8	395,1	1614,8	9,3	----	----	1615	9
1609,85 (27) [a]	1898,2	288,8	2129,8	520,6	1897,5	288,4	2130	520
1615,02 (25)	2129,8	515,6	1614,8	0,0	----	----	1615	0
1629,98 (20)	2129,8	500,8	2129,8	500,4	2129,2	500,4	2130	500
1646,33 (12)	2253,0	606,6	2557,9	911,5	2252,6	606,4	2558	911
1652,82 (16)	2047,8	395,1	2047,8	394,9	2047,6	394,4	2048	395
1661,78 (14)	2056,9	395,1	----	----	----	----	----	----
1662,86 (4)	1678,3	15,8	1678,0	15,6	1677,8	15,6	1678	16
1674,273 (36)	2056,9	395,1	1962,4	288,4	1962,1	288,4	1962	288
1713,14 (9) [a]	2001,8	288,8	----	----	2001,0	288,4	2001	288
1722,09 (30) [a]	2237,7	515,6	2237,9	515,3	----	----	2238	515
1754,44 (6) [a]	1962,2	207,5	1962,4	207,5	1962,1	207,5	1962	207
1760,14 (4)	1775,5	15,8	1775,4	15,6	1775,3	15,6	1775	15
1768,48 (10) [a]	2056,9	288,8	2056,8	288,4	2056,4	288,4	2057	288
1840,84 (5) [a]	2047,8	207,5	2047,8	207,5	2047,6	207,5	2048	207
1882,30 (16) [a]	1898,2	15,8	1897,9	15,6	1897,5	15,6	1898	16

Tabela II.2: continuação.

Energia (keV)	Presente Estudo		NDS [16]		Cook e Johns [3]		Wright e outros [4]	
	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}
1889,3 (8) [a]	1898,2	9,5	1897,9	9,3	----	----	1898	9
1913,9 (4)	1929,8	15,8	----	----	1928,9	15,6	----	----
1919,48 (22)	2419,6	500,8	----	----	----	----	----	----
1921,75 (6) [a]	2129,9	15,8	2442,3	520,6	2129,2	207,5	2442	520
1941,93 (28) [a]	2150,1	207,5	2557,9	616,2	2150,3	207,5	2558	616
1946,78 (16) [a]	1962,2	15,8	1962,4	15,6	1962,1	15,6	1962	16
2032,78 (7) [a]	2047,8	15,8	2047,8	15,6	2047,5	15,6	2048	16
2041,11 (7) [a]	2056,9	15,8	2056,8	15,6	2056,4	15,6	2057	16
2047,22 (7) [a]	2056,9	9,5	2056,8	9,3	2056,4	9,3	2057	9
2089,49 (8)	*np*	*np*	----	----	*np*	*np*	*np*	*np*
2114,11 (8) [a]	2129,9	15,8	2129,8	15,6	2129,2	15,6	2130	16
2131,16 (29) [a]	2419,6	288,8	----	----	2418,3	288,4	*np*	*np*
2145,69 (25) [a]	2353,7	207,5	----	----	2353,9	207,5	----	----
2222,72 (15) [a]	2237,7	15,8	----	----	2237,8	15,6	*np*	*np*
2339,5 (6)	*np*	*np*	----	----	----	----	*np*	*np*
2405,0 (4) [a]	2419,6	15,8	----	----	2418,3	15,6	*np*	*np*

— - Transições γ observadas pela primeira vez na medida de espectroscopia simples.
— - Transições γ observadas pela primeira vez na medida de espectroscopia γγ.
[a] - Transições γ posicionadas por meio do critério de energia e o valor da intensidade beta.
np - Transições gama não posicionadas.

A tabela II.3 apresenta os valores estimados para intensidade relativa (%) das transições γ , observadas somente nas medidas de coincidência γγ, para o núcleo ^{101}Tc.

OMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IP

Tabela II.3: Intensidade relativa das transições γ observadas pela medida de coincidência.

Energia (keV)	Intensidade (%)
281,82 (9)	1,6 (5)
284,35 (16)	2,6 (8)
393,50 (21)	2,1(6)
480,71 (14)	1,13 (33)
517,23 (15)	2,3 (6)
622,74 (17)	3,0 (12)
859,12 (24)	4,2(12)
886,14 (17)	4,1 (12)
1083,40 (15)	2,7 (5)
1440,1 (4)	2,6 (5)
1661,78 (14)	10,8 (19)
1919,48 (22)	0,95 (25)

II.6.2 Relações de coincidências no núcleo ^{101}Ru

Um sumário das relações de coincidência é apresentado na tabela II.4 A primeira coluna diz respeito à transição gama selecionada e a outra às coincidências observadas.

Tabela II.4: Sumário das relações de coincidência das transições γ do decaimento beta do núcleo ^{101}Tc

Energia (keV)	**Transições γ coincidentes (keV)**
127	173, 184, 226, 233, 238, 295, 322, 489, 516, 532, 617, 626, 716, 810
175	233, 238, 307, 545
179	127, 238
184	127, 233, 532, 617, 627
227	127, 489, 617
233	127, 175, 184, 312, 393
238	127, 175, 179, 307, 393
282	720
295	127, 516
307	175, 238, 393, 622, 632, 696, 912

Tabela II.4: continuação.

Energia (keV)	**Transições γ coincidentes (keV)**
312	233, 393, 532, 627
322	127, 489, 617
384	545
393	233, 238, 307, 312, 545
423	516
489	127, 227, 322
516	127, 295, 422
532	127, 184, 312
545	175, 384, 393, 674
617	127, 184, 227, 322
622	307
627	127, 184, 312
632	307
674	545
696	307
716	127
720	282
811	127
912	307

Todas as transições γ observadas na medida de espectroscopia simples foram posicionadas no esquema de níveis, destacando-se a transição γ de energia 226,91 keV, observada pela primeira vez, bem como o posicionamento de duas transições γ : 673,62 keV e 912,14 keV. Das 32 transições γ posicionadas, 2 confirmam posicionamentos atribuídos por Cook e Jonhs [3] e 3 por Wright e outros[4]. Três transições foram posicionadas pelo critério de energia.

O nível a 1218,94 keV foi proposto pela primeira vez neste estudo com atribuição de spin e paridade $7/2^+$, $9/2^+$ tendo sido observado anteriormente em medidas envolvendo a reação $^{98}Mo(\alpha,n)^{101}Ru$ [17].

O posicionamento das transições γ atribuído por este trabalho é apresentado na tabela II.5. Dados referentes aos estudos mais recentes [3,4] bem como a última compilação fornecida pelo NDS [16] são apresentados para comparação.

Tabela II.5: Posicionamento das transições γ do núcleo de ^{101}Ru.

Presente Estudo			**NDS** [16]		**Cook e Jonhs** [3]		**Wright e outros**[4]	
Energia (keV)	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}	$E_{inicial}$	E_{final}
127,120 (21)	127,3	0,0	127,2	0,0	127,2	0,0	127	0
175,032 (234)	720,2	545,3	720,0	545,1	720,0	545,1	----	----
179,359 (20)	306,8	127,3	306,9	0,0	306,9	127,2	307	127
183,944 (20)	311,4	127,3	311,3	127,2	311,3	127,2	311	127
226,92 (21)	843,0	616,9	----	----	----	----	----	----
233,39 (4)	545,3	311,4	545,1	311,4	545,1	311,3	545	311
238,487 (26)	545,3	306,8	545,1	306,9	545,1	306,9	545	307
281,75 (35)	1002,7	720,2	----	----	----	----	1002	720
295,27 (4)	422,7	127,3	422,3	127,2	422,1	127,2	422	127
306,782 (13)	306,8	0,0	306,9	0,0	306,9	0,0	307	0
311,60 (9)	311,4	0,0	311,3	0,0	311,3	0,0	311	0
321,67 (22)	938,5	616,9	938,5	616,3	939,3	616,2	----	----
383,86 (29)	929,1	545,3	928,7	545,1	929,0	545,1	929	545
393,34 (5)	938,5	545,3	938,5	545,1	938,3	545,1	939	545
422,6 (6)	422,7	0,0	422,3	0,0	422,1	0,0	422	0
489,05 (15)	616,9	127,3	616,3	127,2	616,2	127,2	----	----
516,0 (6)	938,5	422,7	938,5	422,3	938,3	422,1	939	422
531,602 (15)	843,0	311,4	842,8	311,3	848,8	311,3	843	311
545,271 (9)	545,3	0,0	545,1	0,0	545,1	0,0	545	0
617,40 (13)	929,1	311,4	928,7	311,3	929,0	311,3	929	311
622,45 (9)	929,1	306,8	928,7	306,9	929,0	306,9	929	307
627,058 (21)	938,5	311,4	938,5	311,3	938,3	311,3	939	311
631,74 (20)	938,5	306,8	938,5	306,9	939,3	306,9	939	307
673,62 (35)	1218,9	545,3	----	----	----	----	*np*	*np*
695,92 (9)	1002,7	306,8	----	----	----	----	1002	307
715,746 (27)	843,0	127,3	842,8	127,2	842,8	127,2	843	127
719,56 (4)	720,2	0,0	720,0	0,0	720,0	0,0	720	0
810,57 (32)	938,5	127,3	938,5	127,2	938,3	127,2	939	127
842,83 (4) [a]	843,0	0,0	842,8	0,0	842,8	0,0	843	0
912,14 (12)	1218,9	306,8	----	----	----	----	----	----
928,93 (10) [a]	929,1	0,0	928,7	0,0	929,0	0,0	929	0
938,62 (14) [a]	938,5	0,0	938,5	0,0	938,3	0,0	939	0

— - Transições γ observadas pela primeira vez na medida de espectroscopia simples.

[a] - Transições γ posicionadas por meio do critério de energia e o valor da intensidade beta.

np - Transições gama não posicionadas.

Capítulo III. Esquema de Níveis

Neste capítulo será descrita a elaboração dos esquemas de níveis dos núcleos em estudo e posteriormente apresentada uma discussão relacionada à atribuição de spin e paridade de cada nível estabelecido.

Para a montagem dos esquemas de níveis dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru foram utilizadas as informações obtidas nas medidas de espectroscopia simples e coincidência $\gamma\gamma$, conforme descrito nos capítulos I e II, bem como os esquemas de níveis propostos na literatura [15,16].

A proposição de spin e da paridade dos níveis foi feita considerando-se as informações obtidas no presente estudo, as regras de seleção dos decaimentos gama e beta e dados propostos por trabalhos anteriores tanto de decaimento beta como estudos envolvendo reações nucleares.

III.1. Cálculo das Energias dos Níveis

A partir do valor de energia associada à transição, estabelecido pelo estudo de espectroscopia simples, e conhecendo-se o seu posicionamento no esquema de níveis é possível determinar o valor de energia dos níveis excitados do núcleo investigado.

Cada transição γ de energia D'_k representa a diferença de energia entre dois níveis, ou seja, $D'_k = G_i - G_j$.

De forma genérica:

$$D = X \,.\, G + \varepsilon \qquad \text{III.1}$$

Onde ε é o vetor erro de D e X a matriz desenho, que é definida por:

$$X_{ki} = \frac{(\partial D)_k}{(\partial G)_i} \qquad \text{III.2}$$

Onde $X_{ki} = \begin{cases} 1, \text{ se a transição } D_k \text{ sai do nível } G_i \\ -1, \text{ se a transição } D_k \text{ chega ao nível } G_i \\ 0, \text{ se a transição } D_k \text{ independe do nível } G_i \end{cases}$

Os valores de energia dos níveis são calculados pelo método dos mínimos quadrados:

$$G = (X^t.V_D^{-1}.X)^{-1}.X^t.V_D^{-1}.D \qquad \text{III.3}$$

onde

$$V_G = (X^t.V_D^{-1}.X)^{-1} \qquad \text{III.4}$$

é a matriz de covariâncias das energias dos níveis

Utilizando-se este formalismo, o Programa NINJA [11] foi desenvolvido para o cálculo das energias dos níveis.

III.2. Intensidade da Alimentação Beta

A desexcitação dos estados nucleares pode ocorrer por dois processos: [a] emissão de radiação eletromagnética; [b] pela conversão interna, ou seja, a transferência da energia de desexcitação para um elétron da camada eletrônica.

O coeficiente de conversão interna é a grandeza α dada pela expressão:

$$\alpha = \frac{\lambda_{c.i.}}{\lambda_\gamma} = \frac{I_{c.i.}}{I_\gamma} \qquad \text{III.5}$$

onde:

λ_γ é a probabilidade, por unidade de tempo, de que o núcleo emita um fóton

$\lambda_{c.i.}$ é a probabilidade, por unidade de tempo, de que o núcleo transfira sua energia a um elétron qualquer do átomo.

$I_{c.i.}$ e I_γ designam a intensidade desses dois processos.

Os dois processos de desexcitação nuclear são competitivos e independentes, ou seja, a intensidade total de transição entre dois níveis de energia é descrita por:

$$I_t = I_\gamma + I_{c.i.} = I_\gamma.(1+\alpha) \quad \text{III.6}$$

Portanto, para obter o valor da intensidade da transição entre dois níveis é necessário que se faça a correção apresentada na equação III.6. Os cálculos são feitos utilizando a intensidade relativa das transições γ e valores do coeficiente α obtidos em Firestone e outros [7].

A partir dos valores da intensidade total das transições, I_t , é possível obter a intensidade de alimentação beta dos níveis, que é definida por:

$$I_\beta = \sum_{i=1}^{n} B_i . I_t \qquad \text{III.7}$$

onde n é o número de transições relacionadas com o nível em questão e o coeficiente B_i é definido por:

$$B_i \begin{cases} 1, \text{ se a transição é emitida do nível} \\ -1, \text{ se a transição alimenta o nível} \end{cases}$$

A propagação das incertezas é feita através de derivadas parciais em primeira ordem e os valores obtidos para a alimentação beta dos níveis normalizados em 100%.

III.3. Resultados

III.3.1 Esquema de Níveis do Núcleo ^{101}Tc

Utilizando-se o valor máximo da energia da partícula beta, $Q_{máx}$ = 2812 (24) keV extraído da compilação do NDS [16], a energia dos níveis (E_γ) e a intensidade de alimentação beta (I_β), obtidos no presente estudo, determinou-se os valores de log *ft* dos níveis estabelecidos no presente estudo. A tabela III.1 apresenta os valores das energias dos níveis, E_γ e spin e paridade (I^π), estabelecidos neste estudo. Na tabela III.2 são apresentados os valores obtidos para alimentação beta dos níveis juntamente com os valores obtidos nos estudos mais recentes [3,4]. O esquema de níveis proposto para o núcleo ^{101}Tc é apresentado na figura III.1. Na figura III.2 o esquema de decaimento do núcleo ^{101}Mo proposto pelo NDS [15,16].

Tabela III.1.Valores de E_γ, spin e paridade (I^π) do decaimento β^- do núcleo ^{101}Mo, estabelecidos neste estudo, comparados com os valores extraídos do NDS [16].

Presente Estudo		NDS [16]	
$E_{nível}$ (keV)	I^π	$E_{nível}$ (keV)	I^π
207,539 (19)	$1/2^-$	207,53 (4)	$1/2^-$
288,831 (23)	$3/2^-$	288,45 (6)	$(1/2,3/2)^-$
395,126 (28)	$5/2^-$	394,9 (2)	$5/2^-$
500,765 (31)	$5/2^-$	500,45 (8)	-------
515,606 (17)	$5/2^+$	515,26 (4)	$5/2^+$
533,556 (34)	$7/2^+$	533,50 (10)	$(5/2, 7/2)^+$
606,641 (19)	$3/2^+$	606,50 (5)	(1/2+,7/2+)
616,300 (24)	$3/2^-$	616,25 (6)	(3/2+,5/2-)
621,995 (29)	$1/2^-$, $3/2^-$	622,1 (2)	(1/2-,3/2-)
669,697 (31)	$5/2^-$	669,9 (2)	5/2-

Tabela III.1.Continuação

Presente Estudo		NDS [16]	
$E_{nível}$ (keV)	I^{π}	$E_{nível}$ (keV)	I^{π}
676,71 (6)	$5/2^-$	-------	-------
711,097 (19)	$3/2^+$	711,24 (6)	-------
887,258 (19)	$5/2^+$	886,73 (6)	-------
1026,38 (4)	3/2	-------	-------
1028,468 (19)	$3/2^+$	1028,12 (5)	$(3/2^+)$
1103,48 (5)	$1/2^+,3/2,5/2^-$	1103,7 (2)	-------
1141,58 (6)	$1/2^-$, 3/2	-------	-------
1187,857 (30)	3/2	1188,1 (2)	-------
1319,769 (20)	$3/2^+$	1319,57 (6)	$3/2^+$
1323,34 (5)	$5/2^+,7/2^+$	-------	-------
1422,13 (5)	$3/2^+$	-------	-------
1565,121 (37)	$3/2^-$	-------	-------
1594,779 (23)	$1/2^+,3/2^+$	1594,73 (10)	-------
1599,554 (27)	$3/2^+$,5/2, $7/2^+$	1599,1 (1)	-------
1615,152 (30)	$1/2^+,3/2^+$	1614,8 (1)	-------
1678,29 (6)	3/2	1678,0 (2)	-------
1775,522 (35)	$1/2^+,3/2^+$	1775,4 (2)	-------
1806,941 (22)	$1/2^+$	1806,45 (8)	$1/2^+,3/2^+$
1893,12 (12)	$1/2^-,3/2$	-------	-------
1898,223 (27)	$1/2^+,3/2^+$	1897,91 (12)	$1/2^+,3/2^+$
1929, 84 (27)	$3/2^+$	-------	-------
1962,225 (21)	$3/2^+$	1962,37 (5)	-------
2001,764 (36)	$3/2^+$	2001,3 (2)	-------
2047,822 (22)	$3/2^+$	2047,76 (6)	$1/2^+,3/2^+$
2056,956 (31)	$3/2^+$	2056,8 (1)	$1/2^+,3/2^+$
2129,959 (33)	$3/2^+$	2129,85 (12)	$1/2^+,3/2^+$
2150,08 (19)	$1/2^-,3/2$	-------	-------
2237,69 (6)	$1/2^+,3/2^+$	2237,9 (2)	$1/2^+,3/2^+$
2252,99 (12)	$1/2^+,3/2^+$	-------	-------
2353,72 (7)	$1/2^+,3/2^+$	-------	-------
2419,58 (7)	$3/2^+$	-------	-------
2574,1 (5)	$1/2^+,3/2^+$	2573,6 (5)	$1/2^+,3/2^+$

Tabela III.2. Valores obtidos para alimentação beta (I_β) e log *ft* dos níveis juntamente com os valores obtidos nos estudos mais recentes [3,4] para comparação.

$E_{nível}$ (keV)	Presente Estudo		Wrigth e outros [4]	Cook e outros [3]
	Log *ft*	I_β (%)	I_β (%)	I_β (%)
207,539 (19)	6,8	11,83 (13)	15,5 (14)	13,6 (16)
288,831 (23)	7,5	2,40 (6)	3,1 (5)	< 0,6
395,126 (28)	8,3	0,32 (5)	0,33 (10)	0,15 (10)
500,765 (31)	8,7	0,093 (27)	0,12 (8)	< 0,065
515,606 (17)	--	0,0	0	< 1,6
533,556 (34)	--	0,0	0	< 1,4
606,641 (19)	6,4	10,96 (9)	6,0 (16)	11,7 (11)
616,300 (24)	--	0,0	0,66 (12)	0,33 (17)
621,995 (29)	8,3	0,201 (29)	0,53 (5)	0,30 (9)
669,697 (31)	8,2	0,210 (38)	0,16 (4)	0,24 (7)
676,71 (6)	--	0,0	-------	1,50 (70)
711,097 (19)	7,5	1,07 (7)	0	0,10 (5)
887,258 (19)	8,2	0,30 (7)	0,9 (3)	< 0,8
1026,38 (4)	7,7	0,319 (11)	-------	3,30 (38)
1028,468 (19)	6,2	11,01 (7)	3,5 (16)	7,9 (11)
1103,48 (5)	8,6	0,036 (20)	0	0,34 (4)
1141,58 (6)	7,8	0,192 (14)	-------	0,28 (3)
1187,857 (30)	--	0,0	0,04 (3)	< 0,03
1319,769 (20)	6,1	6,41 (8)	6,8 (3)	0,08 (2)
1323,34 (5)	--	0,0	-------	-------
1422,13 (5)	7,8	0,104 (25)	-------	-------
1565,121 (37)	7,0	0,363 (11)	-------	0,25 (4)
1594,779 (23)	6,4	1,530 (25)	1,49 (13)	1,46 (10)
1599,554 (27)	--	0,0	0,0	<0,11
1615,152 (30)	6,4	1,522 (38)	1,99 (10)	1,49 (15)
1678,29 (6)	7,4	0,13 (4)	0,46 (7)	0,25 (9)
1775,522 (35)	6,1	1,86 (4)	1,95 (8)	1,39 (16)
1806,941 (22)	5,8	3,03 (5)	3,20 (13)	2,90 (19)
1893,12 (12)	7,0	0,143 (10)	-------	0,09 (2)
1898,223 (27)	5,75	2,51 (4)	2,83 (11)	3,07 (23)
1929, 84 (27)	6,2	0,83 (4)	-------	0,64 (6)
1962,225 (21)	4,8	14,20 (6)	15,2 (5)	14,2 (6)
2001,764 (36)	5,9	0,991 (34)	0,95 (4)	0,85 (6)
2047,822 (22)	4,5	21,16 (17)	20,9 (6)	19,3 (9)
2056,956 (31)	5,3	3,22 (6)	2,88 (13)	2,87 (19)
2129,959 (33)	5,5	1,667 (33)	2,17 (7)	1,94 (12)

Tabela III.2. Continuação

$E_{nível}$ (keV)	Presente Estudo		Wrigth e outros [4]	Cook e outros [3]
	Log *ft*	I_β (%)	I_β (%)	I_β (%)
2150,08 (19)	6,6	0,107 (19)	-------	0,10 (2)
2237,69 (6)	5,6	0,667 (31)	0,77 (4)	0,29 (7)
2252,99 (12)	6,4	0,095 (6)	-------	-------
2353,72 (7)	5,6	0,307 (15)	-------	-------
2419,58 (7)	5,6	0,172 (15)	-------	0,13 (3)
2574,1 (5)	5,5	0,046 (16)	0,34 (4)	-------

Figura III.1 Esquema de níveis do núcleo ^{101}Tc propostos neste estudo.

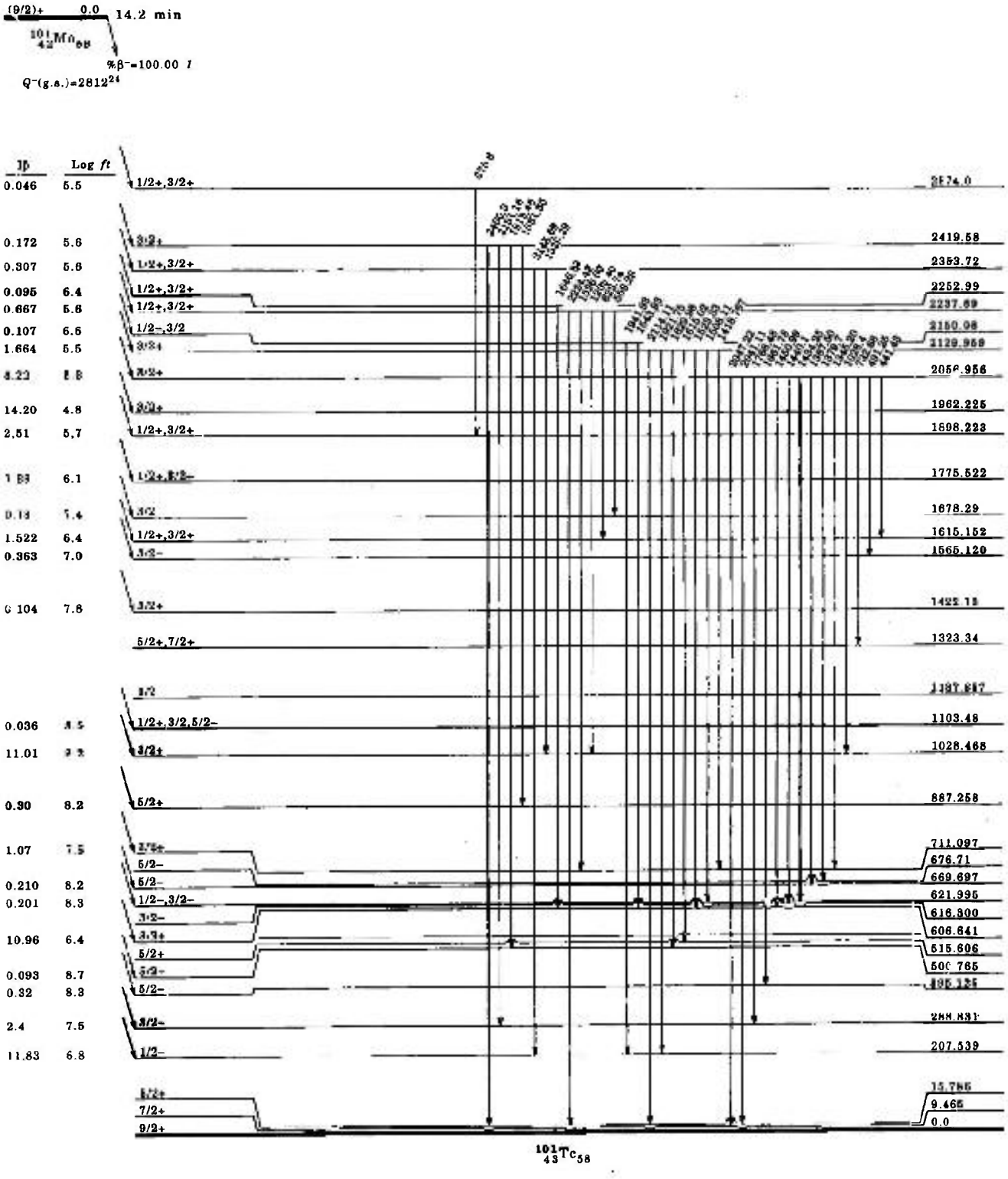


Figura III.1 continuação.

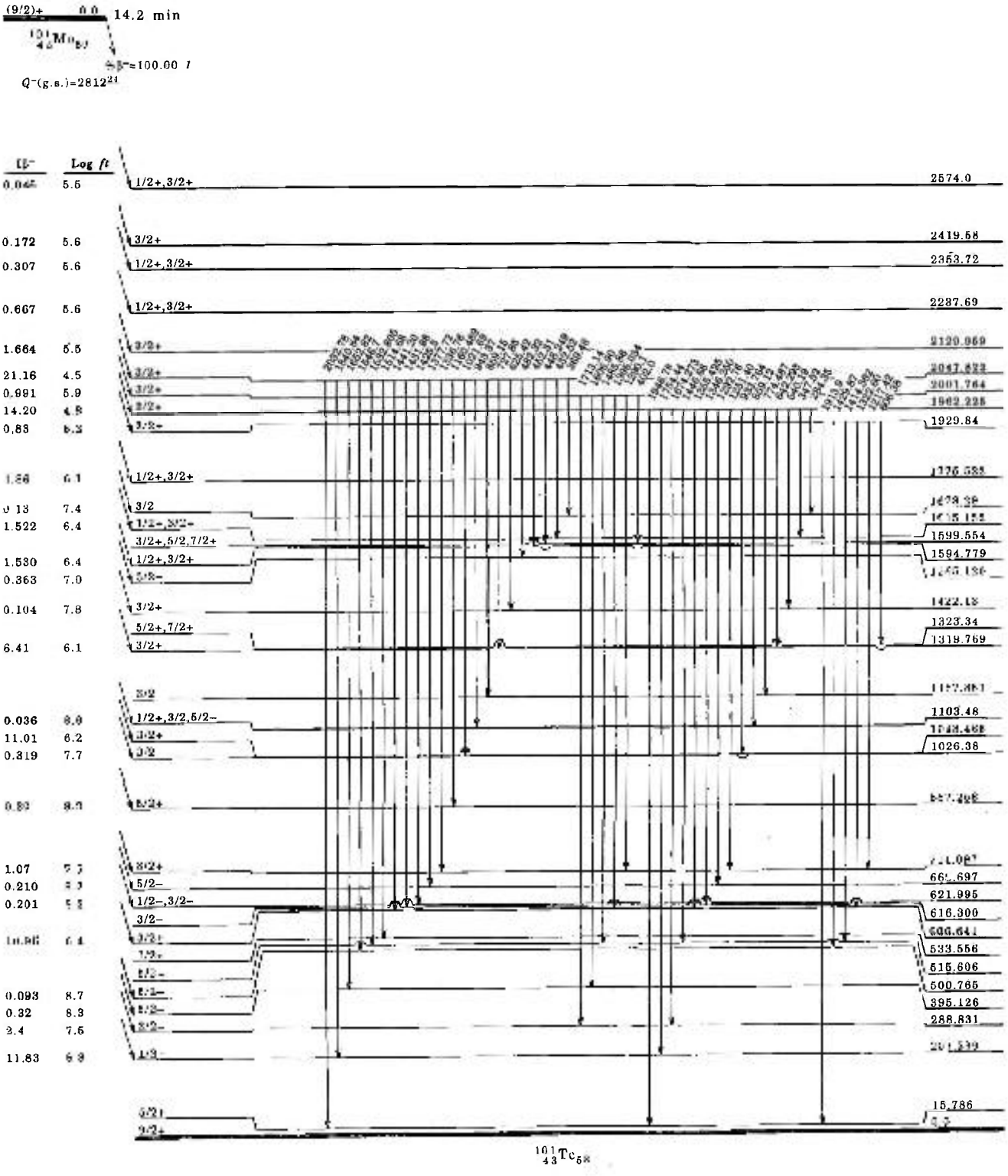


Figura III.1 Continuação.

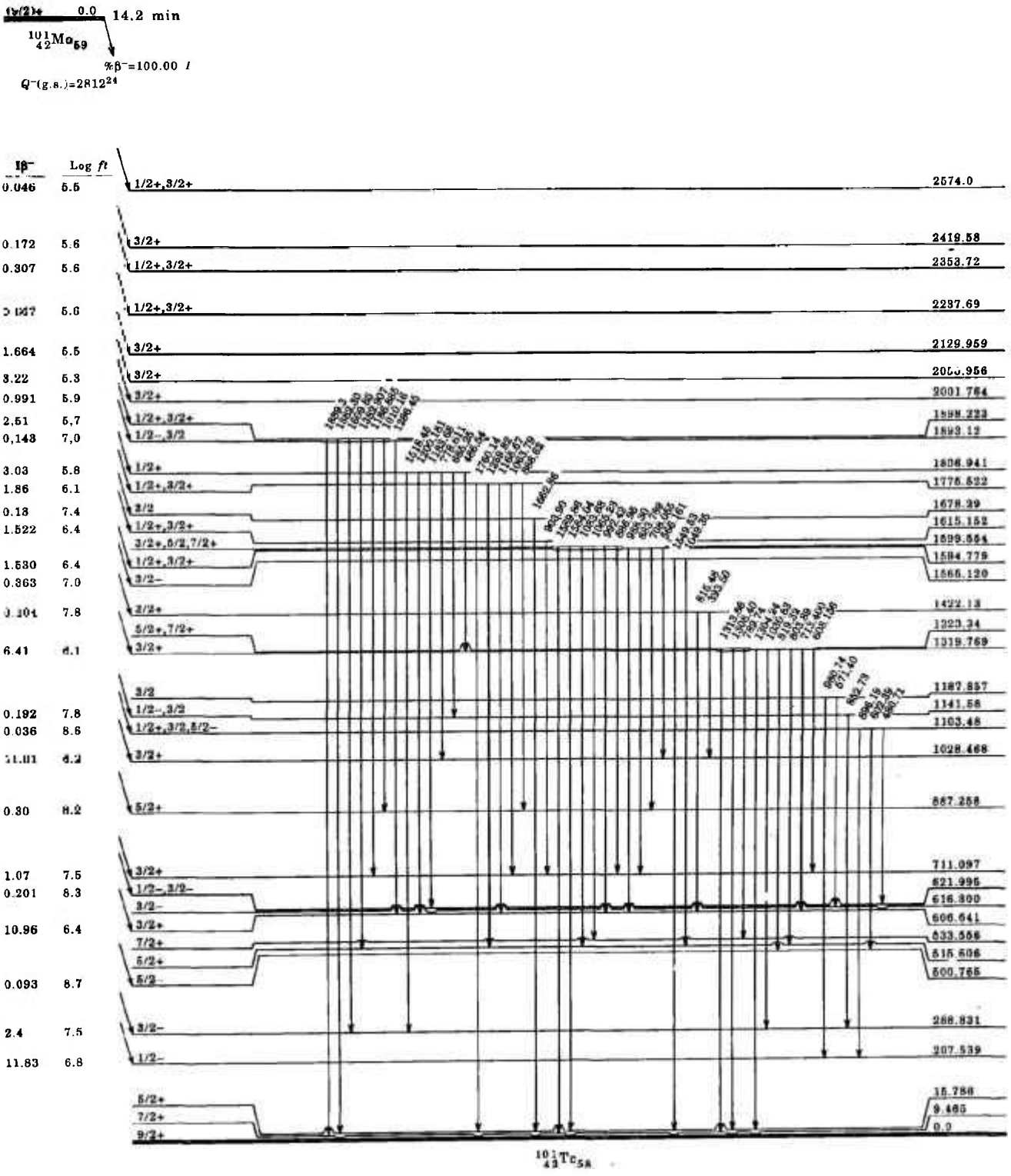


Figura III.1 Continuação.

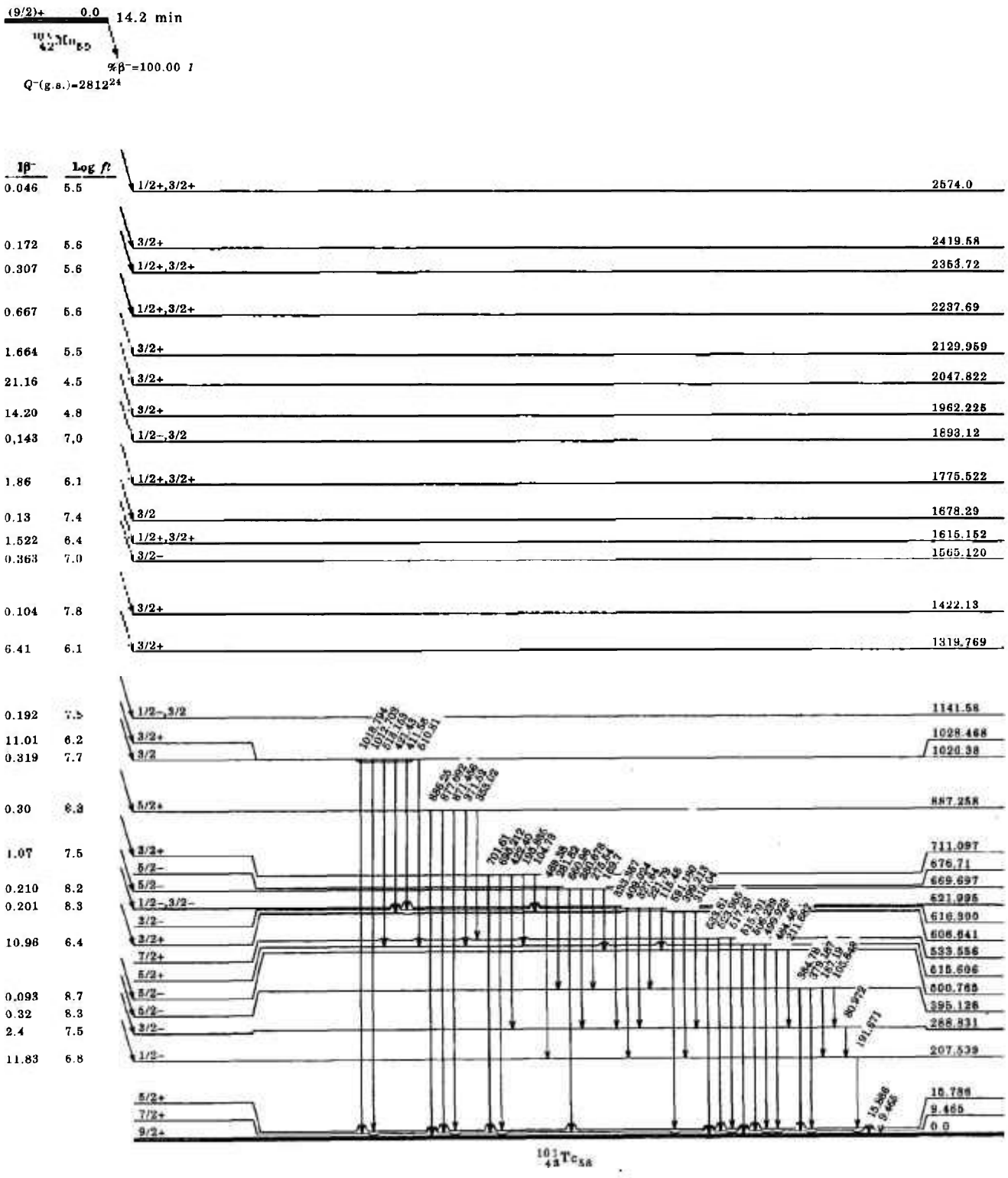


Figura III.2 Esquema de níveis do núcleo ^{101}Tc propostos pelo NDS [15,16]

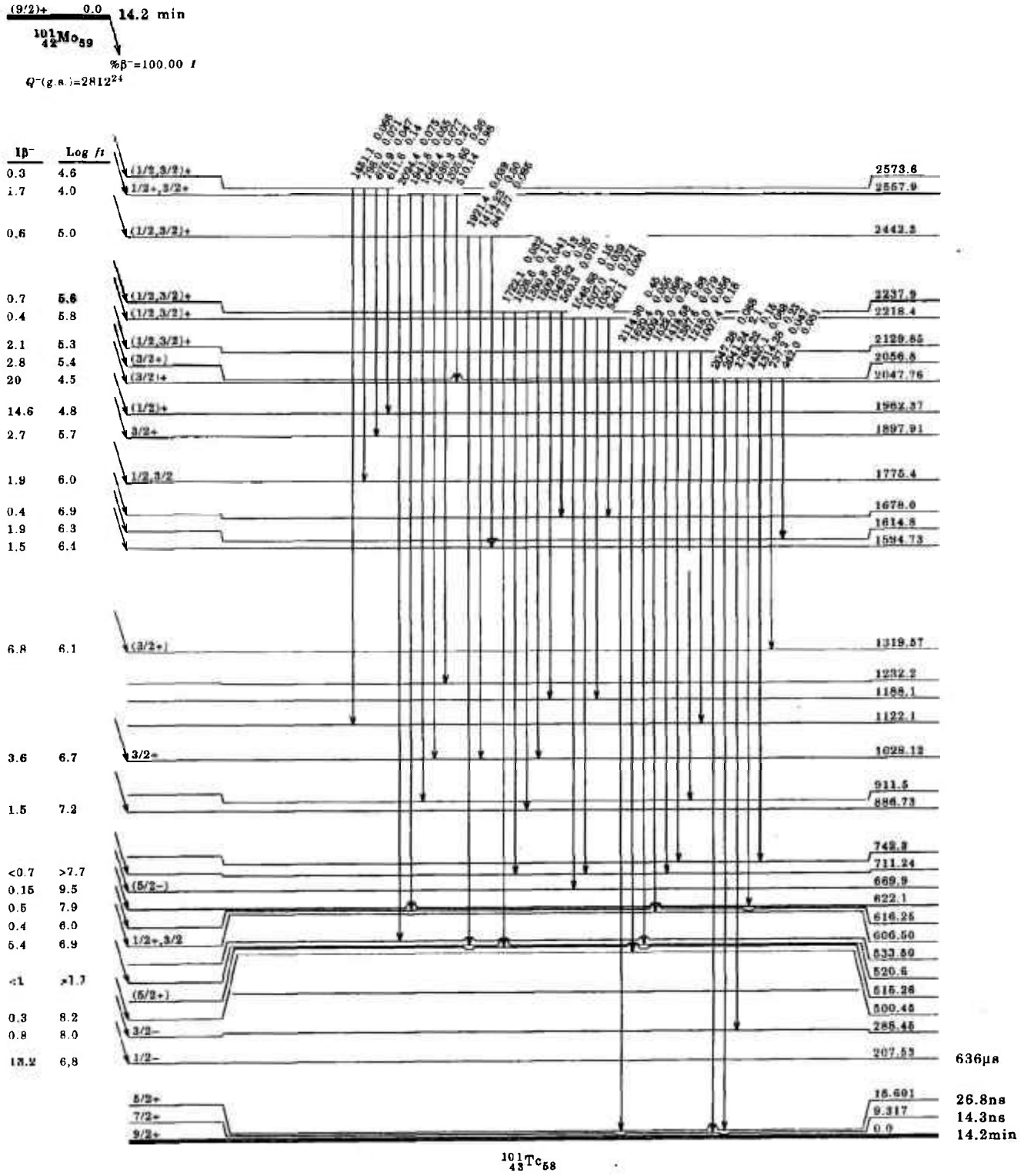


Figura III.2 Continuação.

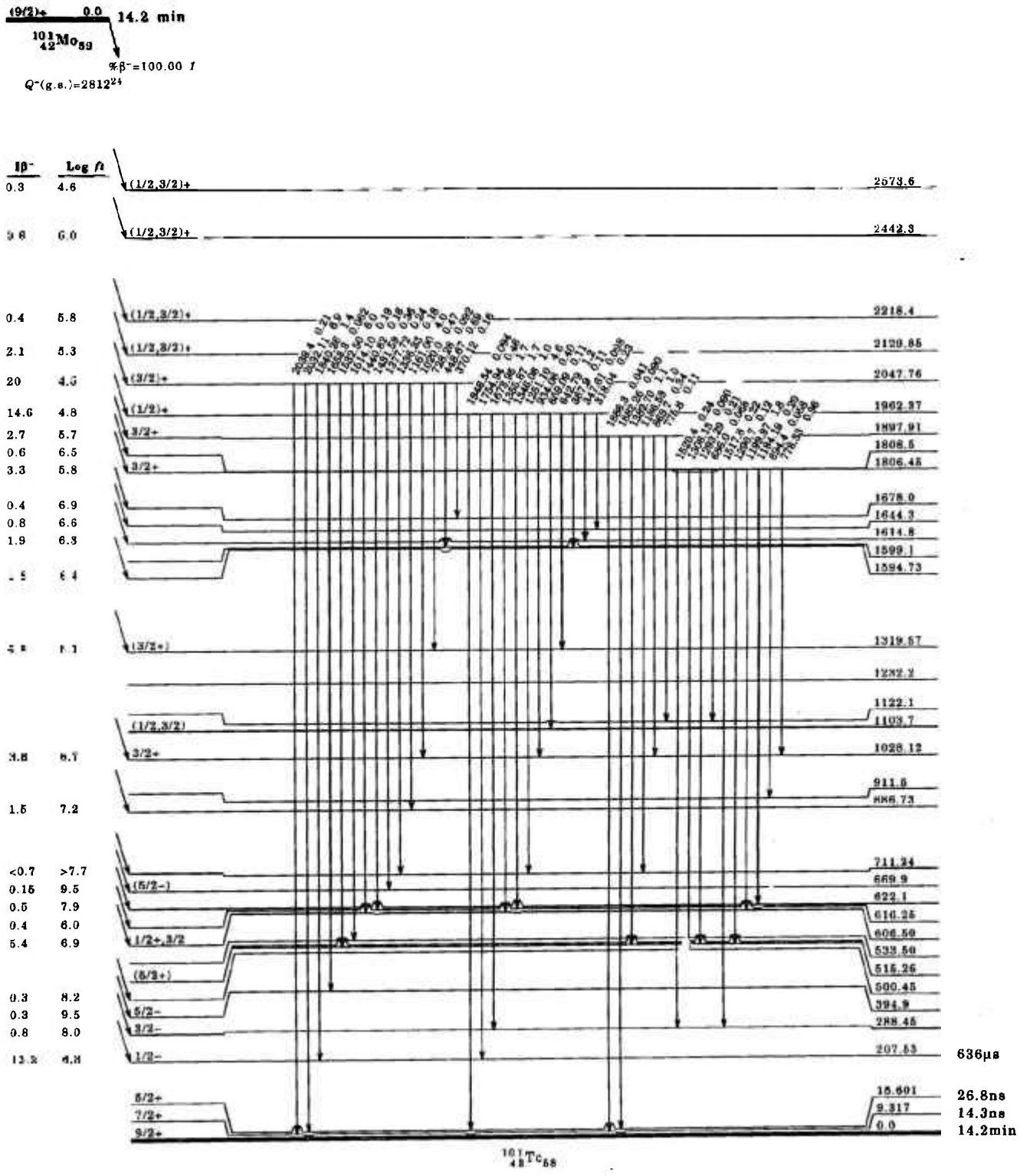


Figura III.2 Continuação.

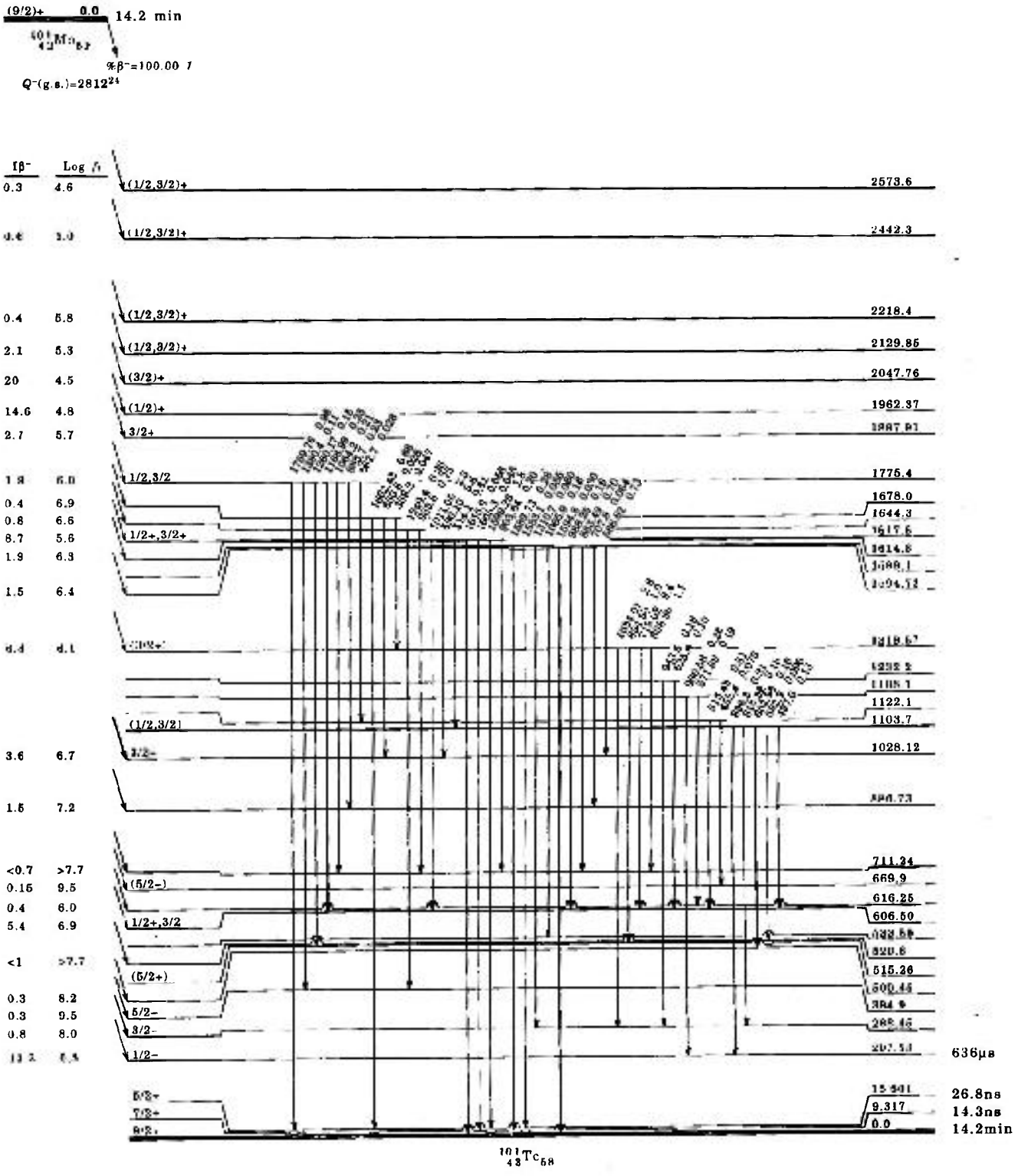
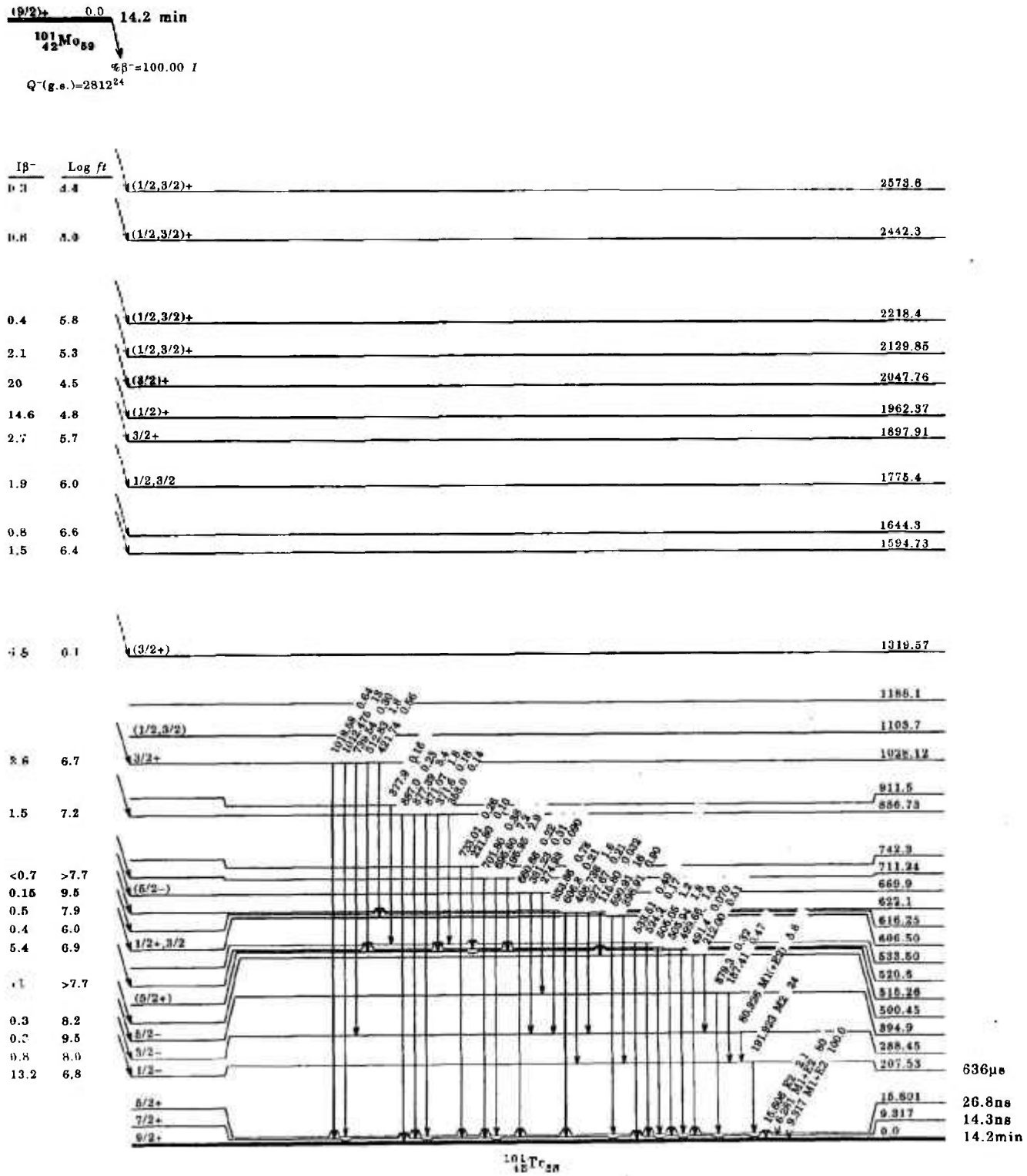


Figura III.2 Continuação.



COMISSAO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP IPEN

III.3.2. Esquema de Níveis do Núcleo ^{101}Ru

A partir dos dados obtidos no presente estudo referente a energia dos níveis ($E_{nível}$) e a intensidade de alimentação beta (I_β) e utilizando-se o valor máximo da energia da partícula beta, $Q_{máx}$ = 1625 (24) keV [16], determinou-se os valores de log *ft* dos níveis estabelecidos no presente estudo. A tabela III.3 apresenta os valores das energias dos níveis ($E_{nível}$) juntamente com os valores de spin e paridade (I^π), estabelecidos neste estudo. A tabela III.4 apresenta os valores obtidos no presente estudo para log *ft* e alimentação beta (I_β) do núcleo de ^{101}Ru . O esquema de níveis proposto para o núcleo ^{101}Ru é apresentado na figura III.3. Na figura III.4 é apresentado o esquema de decaimento do núcleo ^{101}Tc proposto pelo NDS [16].

Tabela III.3 Valores de energia dos níveis ($E_{nível}$), spin (I) e paridade (π) do decaimento β^- do núcleo ^{101}Tc, estabelecidos neste estudo, comparados com os valores extraídos do NDS [16].

Presente Estudo		NDS [16]	
$E_{nível}$ (keV)	I^π	$E_{nível}$ (keV)	I^π
127,282 (11)	$3/2^+$	127,23 (3)	$3/2^+$
306,825 (13)	$7/2^+$	306,85 (3)	$7/2^+$
311,392 (16)	$5/2^+$	311,34 (4)	$5/2^+$
422,65 (5)	$3/2^+$	422,1 (3)	$3/2^+$
545,282 (9)	$7/2^+$	545,08 (5)	$7/2^+$
616,92 (9)	$5/2^+$	616,3 (7)	$(7/2)^+$
720,17 (5)	$9/2^+$	720,0 (1)	$(9/2)^+$
842,991 (19)	$7/2^+$	842,78 (10)	$(7/2^+)$
929,11 (7)	$9/2^+$	928,72 (10)	$(7/2^+,9/2^+)$
938,475 (24)	$7/2^+$	938,47 (10)	$(7/2^+)$
1002,68 (9)	$11/2^+$	1001,2 (2)	$(11/2^+)$
1218,94 (11)	$7/2^+,9/2^+$	-------	-------

Tabela III.4 Valores obtidos no presente estudo para log *ft* e alimentação beta (I_β) do núcleo de ^{101}Ru juntamente com os valores mais recentes [3,4] para comparação.

$E_{nível}$ (keV)	Presente Estudo		Wrigth e outros [4]	Cook e outros [3]
	Log *ft*	I_β (%)	I_β (%)	I_β (%)
127,282 (11)	--	0,00	0	0
306,825 (13)	4,8	89,98 (11)	89,0 (6)	90,4
311,392 (16)	--	0,0	0	0
422,65 (5)	--	0,0	0	0
545,282 (9)	5,6	6,335 (31)	6,4 (4)	6,5
616,92 (9)	--	0,0	-------	< 0,03
720,17 (5)	6,7	0,227 (11)	0,14 (2)	0,27
842,991 (19)	5,6	2,011 (21)	1,94 (11)	2,0
929,11 (7)	6,1	0,358 (16)	0,31 (2)	0,28
938,475 (24)	5,7	0,930 (24)	0,81 (5)	0,84
1002,68 (9)	7,1	0,029 (7)	1,2 (4)	-------
1218,94 (11)	5,7	0,13 (4)	-------	-------

Figura III.3 Esquema de níveis do núcleo ^{101}Ru propostos neste estudo.

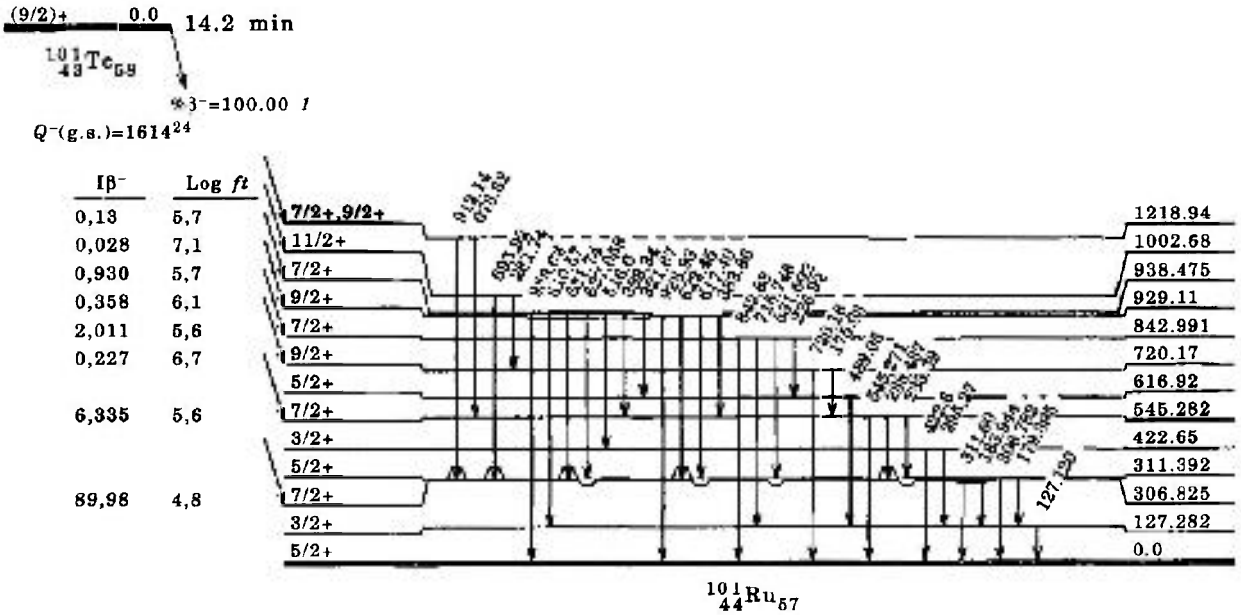
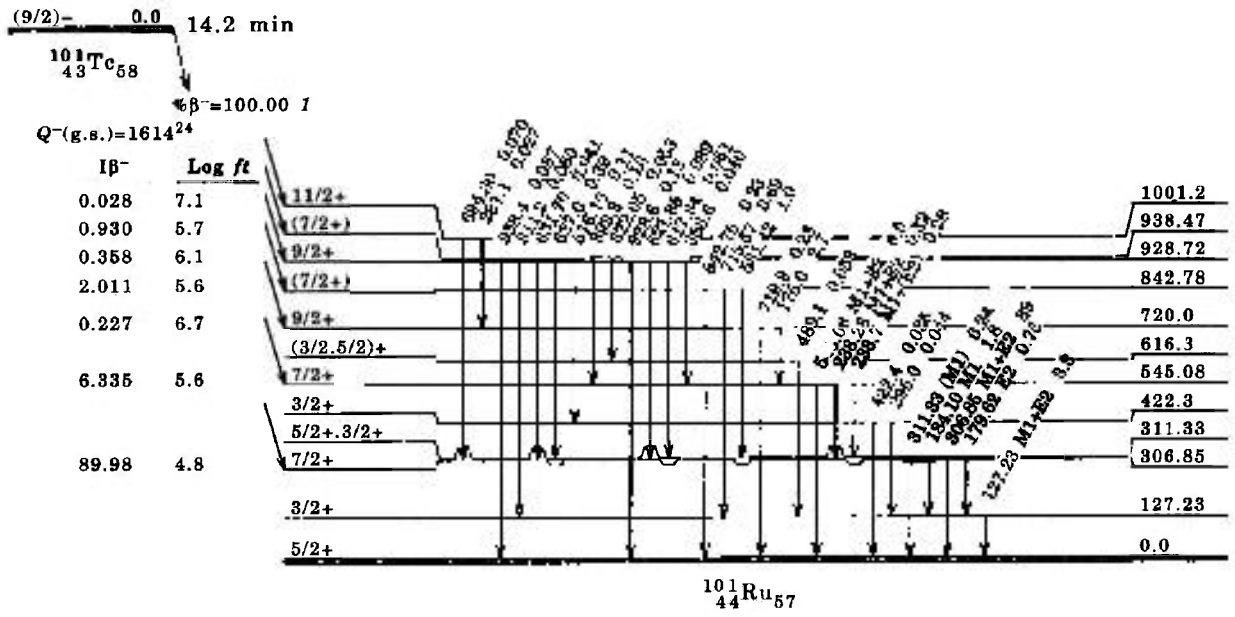


Figura III.4 Esquema de níveis do núcleo ^{101}Ru propostos pelo NDS [15,16]



III.4. Análise dos Níveis Excitados

Para realização destas análises serão consultados os esquemas de decaimento beta propostos na literatura (figuras III.2 e III.4) e dados anteriores referentes ao decaimento beta, captura eletrônica bem como dados provenientes de estudos envolvendo reações nucleares.

A análise de cada nível proposto no presente estudo, para cada um dos núcleos investigados, será feita comparando-se as informações obtidas no presente estudo, isto é: posicionamento da transição γ, spin, paridade, log *ft* de níveis bem como o caráter associado as transições β e γ, com os dados existentes na literatura.

III.4.1. Núcleo de ^{101}Tc

Ao estado fundamental do ^{101}Mo é atribuído spin e paridade $1/2^+$ e energia de decaimento β^- da ordem de 2,8 MeV [15,16].

Estudos de conversão interna [19] estabelecem para o estado fundamental e para os dois primeiros estados excitados, 9 keV e 16 keV do núcleo ^{101}Tc, valores de spin de 9/2, 7/2 e 5/2, respectivamente e paridade positiva. Neste trabalho estes níveis não foram investigados, mas as informações sobres os mesmos constituíram-se em ferramenta importante para nossas análises.

Nível a 207 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^-, com log *ft* =6,8 indicando como possíveis valores de I^π=1/2 e 3/2. Este nível se desexcita pela forte transição de 190 keV cujo caráter associado é de quadrupolo magnético [3,20]. Devido à meia vida deste estado ser ~636 μs [20], as transições associadas a ele não aparecem nas medidas de coincidência do presente estudo. A

transição de 190 keV, alimenta o nível a 15 keV ($5/2^+$), o que indica o valor de $I^\pi = 1/2^-$. Este nível, bem como os valores de I^π são bem estabelecido por outros trabalhos de decaimento β^- [3,4] e pelas reações (^{3}He,d) [21], (^{3}He,pnγ) [14] e (^{7}Li,xγ) [22].

Nível a 288 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* =7,5 indicando os valores de $I^\pi=1/2^-$e 3/2. Se desexcita pela transição de 80,9 keV, alimentando o nível a 207 keV. Esta transição γ tem o caracter de dipolo magnético [3] o que descarta o spin $3/2^+$. Medidas envolvendo as reações: (^{3}He,d) [21], (^{3}He,pnγ) [14] e (^{7}Li,xγ) [22] estabelecem $I^\pi = 3/2^-$,o que é compatível com os valores propostos pelo decaimento β^-.

Nível a 395 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 8,3 indicando os valores de spin 1/2, 3/2 e 5/2 e paridade negativa. A transição γ de 381 keV, que depopula este nível, alimenta o nível a 9 keV ($7/2^+$) o que descarta os valores de spin 1/2 e 3/2 , propondo para este nível o valor $I^\pi=5/2^-$. Esta previsão concorda com o valor estabelecido pelos estudos anteriores evolvendo o decaimento β^- e reações nucleares [15,16].

Nível a 500 keV

Este nível é fracamente alimentado pelo decaimento β^-, com log *ft*= 8,7 indicando os valores de spin 1/2, 3/2 e 5/2 com paridade negativa. A transição de 484 keV foi posicionada neste estudo depopulando este nível e alimentando o nível a 15 keV ($5/2^+$), o que descarta o valor de $I^\pi=1/2^-$. Os trabalhos envolvendo as reações (^{3}He,pnγ) [14] e (^{7}Li,xγ) [22] limitam o valor de $I^\pi=5/2^-$, portanto compatível com o presente estudo.

Nível a 515keV

Este nível é alimentado apenas por transições γ. As transições de 196 keV e 1049 keV, que depopulam os níveis a 711 keV ($3/2^+$) e 1565 keV ($3/2^-$), alimentam este nível e restringem os valores de I^π=1/2, 3/2 e 5/2, sem definição quanto a paridade. A transição de 515 keV que alimenta o nível fundamental ($9/2^+$) permite a definição do valor de $I^\pi=5/2^+$ a qual é compatível com outros estudos decaimento β^- do ^{101}Mo [15,16] bem como com a reação (^{3}He,pnγ) [14].

Nível a 533 keV

Este nível é alimentado apenas por transições γ. A transição de 1515 keV que desexcita o estado a 2048 keV ($3/2^+$) alimenta este nível e restringe os valores de spin para 1/2, 3/2, 5/2 e $7/2^+$. A transição 533 keV, que desexcita este nível e alimenta o nível fundamental ($9/2^+$), restringe os valores possíveis de $I^\pi=5/2^+$ e $7/2^+$. O valor $I^\pi=7/2^+$ é atribuído pelo estudo envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14].

Nível a 606 keV

Este nível é fortemente alimentados pelo decaimento β^-, com log *ft* =6,4 indicando valores de I^π =1/2 e 3/2 e paridade positiva. Esta proposição já foi feita por estudos envolvendo decaimento β^- [3,4] e a reação (^{3}He,pnγ) [14]. Medidas de correlação angular γγ, envolvendo as cascatas (713 – 591), (1200 – 591) e (1355 – 591) keV [23] estabelecem $I^\pi=3/2^+$.

Nível a 616 keV

Este nível é alimentado apenas por transições γ. A transição 412 keV observada pela primeira vez no presente estudo, é posicionada depopulando o nível a 1028 keV ($3/2^+$) o que fornece valores possíveis de I^π =1/2, 3/2, 5/2 e $7/2^+$. A transições de 222 keV e 409 keV, que desexcitam este nível e alimentam os níveis a 395 keV ($5/2^-$) e 207 keV ($1/2^-$), respectivamente, restringem os valores de I^π para $1/2^-$, 3/2, 5/2. O estudo envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] limita $I^\pi=3/2^-$.

Nível a 622 keV

Este nível é alimentado fracamente pelo decaimento β^- com log *ft* = 8,3. Este valor sugere I=1/2, 2/3, e 5/2 com paridade negativa. Estudos envolvendo as reações (^{3}He,d) [21], (^{3}He,pnγ) [14] sugerem distribuição angular consistente com l=1, indicando $I^\pi=1/2^-$,$3/2^-$.

Nível a 669 keV

Este nível também é fracamente alimentado pelo decaimento β^-, com log *ft* =8,2, indicando os valores de spin 1/2, 3/2 e 5/2 e paridade negativa. A transição de 661 keV que depopula este nível e alimenta o nível a 9 keV ($7/2^+$), restringe os valores de I^π para $5/2^-$. Este valor também é atribuído pelo estudo realizado por Cook e Johns [3] e pelo estudo envolvendo a reação (^{3}He,d) [21].

Nível a 676 keV

Este nível é proposto pela primeira vez no presente estudo. Foi estabelecido pelas relações de coincidências observadas pela transição 1378 keV, (tabela II.1) que alimenta este nível e

pelas relações de coincidências que envolvem as transições de 469 keV e 281 keV, que o depopulam com atribuição de I^{π} =5/2$^-$. Este nível foi observado também em medidas envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] com energia estabelecida em 676,60 keV e I^{π} =5/2$^-$.

Nível a 711 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β$^-$ com log *ft* = 7,5 indicando com valores possíveis para spin e paridade 1/2$^-$, 3/2, 5/2$^-$. A transição 702 keV, que depopula este nível e alimenta o nível a 9 keV (7/2$^+$) restringe os valores para 3/2$^+$ e 5/2$^-$. Medidas de correlação angular envolvendo as cascatas (608 – 695), (1187 - 696) e (1251 – 696) keV [23] restringem spin e paridade a 5/2$^-$.

Nível a 887 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β$^-$ com log *ft* =8,2 o que sugere I^{π} = 1/2$^-$, 3/2 e 5/2$^+$. A observação da transição 886 keV alimentando o nível fundamental (tabela II.1) restringe os valores de spin e paridade a 5/2$^+$.

Nível a 1026 keV

Este nível é estabelecido pelas relações de coincidências entre a transição de 511 keV com as transições de 500 keV , 505 keV e 515 keV, que depopulam o nível a 515 keV (5/2$^+$). O nível em questão é alimentado pelo decaimento β$^-$ com log *ft* =7,7 o que sugere I^{π} =1/2$^-$, 3/2. Como o nível 515 keV é bem estabelecido com I^{π} =5/2$^+$, o valor de spin restringi-se a 3/2, sem paridade definida.

Nível a 1028 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 6,2 indicando como possíveis os valores de spin 1/2 e 3/2 sem paridade definida. A transição a 1019 keV que depopula este nível e alimenta o nível a 9 keV ($7/2^+$), restringe os valores de spin e paridade para $I^\pi = 3/2^+$. Este nível foi observado por estudos anteriores envolvendo decaimento β^- [3,4,23] e pela reação (^{3}He,pnγ) [14], sendo compatíveis com a proposição de I^π do presente estudo.

Nível a 1103 keV

Este nível foi anteriormente observado por um dos estudo envolvendo decaimento β^- [3] e pela reação (^{3}He,pnγ) [14]. Trata-se de um nível que é alimentado fracamente pelo decaimento β^- com log *ft*= 8,6 sugerindo valores de spin 1/2, 3/2 e 5/2 com paridade negativa. Medidas envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] limitam $I^\pi = 1/2^-$.

Nível a 1141 keV

Este nível é estabelecido pelas relações de coincidência entre as transições γ de 665 keV e 853 keV . A transição de 665 keV é posicionada partindo do nível a 1807 keV ($1/2^+$ e $3/2^+$) enquanto a transição de 853 keV popula o nível a 288 keV ($3/2^-$). O valor de log *ft* =7,8 obtido neste estudo, juntamente com os dados de coincidências estabelecidos limitam $I^\pi = 1/2^-$, 3/2.

Nível a 1188 keV

Este nível é alimentado apenas pelas transições γ de 774 keV e 859 keV. A transição γ de 481 keV posicionada neste nível e que popula o nível a 207 keV ($1/2^-$) o que sugere valores de

I^{π}=1/2, 3/2 e 5/2 $^-$. O estudo envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] elimina a possibilidade I^{π}=1/2.

Nível a 1319 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* =6,1, valor característico de transições permitidas, sugerindo $1/2^+$, $3/2^+$. A transição γ de 804 keV que depopula este nível e alimenta o nível a 500 keV ($5/2^-$) restringe os valores de spin e paridade para I^{π} =$3/2^+$. Esta proposição também foi feita em medidas de correlação angular γγ [23] e estudos envolvendo as reações (^{3}He,d) [21], ^{101}Mo (^{3}He,pnγ) ^{101}Tc [14].

Nível a 1323 keV

Este nível é proposto pela primeira vez neste estudo. É estabelecido pelas relações de coincidências envolvendo as transições de 606 keV, 774 keV, 790 keV, 1308 keV e 1314 keV. As transições γ de 1308 keV e 1314 keV , que alimentam os níveis a 15 keV ($5/2^+$) e a 9 keV ($7/2^+$), respectivamente, restringe os valores de spin e paridade entre $3/2^+$ e $9/2^+$. A transição γ de 606 keV que alimenta este nível elimina a possibilidade de spin 9/2. O estudo envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] também propõem a existência deste nível restringindo as possibilidades de spin a 5/2 e 7/2 e paridade positiva.

Nível a 1422 keV

Este nível é proposto pela primeira vez no presente estudo. É alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 7,8 sugerindo I^{π} = 1/2 $^-$, 3/2. Foi estabelecido pelas relações de coincidências envolvendo as transições de 540 keV , 625 keV, 394 keV e 815 keV. A transição de 394 keV

foi observada pela primeira vez e posicionada neste nível em função das relações de coincidências com as transições de 540 e 1013 keV.

Este nível foi observado no estudo envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] com energia de 1421,59 keV onde as possibilidades de I^{π} são limitadas a 3/2 $^{+}$e 5/2 $^{+}$. Os dados do presente estudo favorecem o valor I^{π} =3/2 $^{+}$.

Nível a 1565 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^{-} com log *ft* = 7,0 permitindo valores de I^{π} =1/2^{-},3/2. Este nível também foi proposto no estudo do decaimento β^{-} do ^{101}Mo realizado por Cook e Jonhs [3] e em medidas envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14]. Duas transições γ de 491 keV e 1550 keV foram posicionadas neste nível. Em particular a transição de 1550 keV que depopula este nível e alimenta o nível a 15 keV (5/2^{+}) restringem o valor de spin para 3/2, sem paridade definida.

Nível a 1599 keV

Este nível é alimentado apenas pelas transições γ de 402 keV e 448 keV. As regras de seleção γ restringem seu valor de spin e paridade para 3/2^{+}, 5/2 e 7/2^{+}. Este nível foi observado em trabalhos anteriores envolvendo o decaimento β^{-} do ^{101}Mo [3,4] com valores de I^{π} compatíveis com os propostos no presente estudo.

Nível a 1677 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 7,4 o que sugere os valores de spin $1/2^-$ e 3/2. A transição γ de 1662 keV que depopula este nível e alimenta o nível a 15 keV ($5/2^+$) restringe o valor de spin para 3/2 sem definição quanto a paridade.

Nível a 1807 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 5,8 o que sugere valores de spin 1/2, 3/2 e paridade positiva. Este nível também foi proposto pelos estudos anteriores envolvendo o decaimento β^- do ^{101}Mo [3,4,23] e pelo estudo envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] sem proposição de I^π. Medidas de correlação angular $\gamma\gamma$ envolvendo as cascatas de (779 – 1013) e (1200 – 591) keV [23] estabelecem para este nível $I^\pi = 1/2^+$.

Níveis a 1594, 1614, 1775, 1898 e 2238keV

Estes níveis foram observados no presente estudo com valores de log *ft* característicos de transições permitidas (tabela III.2), sugerindo valores de spin 1/2 e 3/2 com paridade positiva. Particularmente, o nível a 1594 keV observado nas medidas envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14], concorda com as proposições de spin e paridade sugeridas no presente estudo.

Níveis a 1892 e 2150 keV

Estes níveis foram primeiramente observados no estudo do decaimento β^- do ^{101}Mo realizado por Cook e Jonhs [3]. Particularmente, nas medidas envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] também é feita a proposição do nível a 1892 keV mas sem definição de I^π. Estes níveis foram observados no presente estudo com valor de log *ft* = 7,0 o que sugere valores de $I^\pi = 1/2^-$, 3/2.

Nível a 1928 keV

De acordo com presente estudo, este nível é alimentado pe'o decaimento β^- com log *ft* =6,1 indicando com valores possíveis para spin 1/2 e 3/2 e paridade positiva. A transição γ de 1430 keV que depopula este nível alimentando o nível a 500 keV ($5/2^-$), restringe o valor de I^π para $3/2^+$. Este nível também foi observados por um dos estudo envolvendo o decaimento β^- do ^{101}Mo [3] com proposição de spin e paridade compatível com o presente estudo e pelo trabalho envolvendo a reação (^{3}He,pnγ) [14] mas sem definição de I^π.

Níveis a 2253 e 2573 keV

Os níveis a 2251 e 2573 keV foram primeiramente observados em medidas envolvendo o decaimento β^- do ^{101}Mo realizado por Cook e Jonhs [3] . Os dados obtidos no presente estudo confirmam a existência desses níveis sendo possível atribuição de spin 1/2 e 3/2 e paridade positiva.

Níveis a 1962, 2001, 2048, 2056, 2129 e 2418 keV

Estes níveis foram propostos por trabalhos anteriores envolvendo o decaimento β^- do ^{101}Mo [3,4]. Os dados obtidos no presente estudo confirmam a existência desses níveis e os cálculos realizados para log *ft* mostram que estes níveis tem valor de alimentação β característicos de transições permitidas indicando valores possíveis para spin e paridade $3/2^+$.

III.4.2. Núcleo de ^{101}Ru

O spin e paridade do estado fundamental do ^{101}Tc e ^{101}Ru são estabelecido como 9/2 $^{+}$ e 5/2 $^{+}$, respectivamente [15,16] o que favorece I>3/2 e paridade positiva para os níveis excitados do ^{101}Ru provenientes do decaimento beta do ^{101}Tc. Além dessas informações, para a análise dos níveis levou-se em consideração os dados obtidos no presente estudo e as previsões estabelecidas em estudos recentes envolvendo várias reações nucleares.

Nível a 127 keV

Este nível foi estudado por meio das reações nucleares (α,nγ) [17], (^{3}He,2nγ) [24], (α,3nγ) [24], (d,p) [25] e (p,d) [26], por excitação coulombiana [27], pelo decaimento beta [3,4] e captura eletrônica [28]. A desexcitação deste nível ocorre por um único raio γ de 127 keV. Trata-se de um nível bem estabelecido com spin e paridade 3/2^{+}. Estas informações aliadas as relações de coincidências estabelecidas no presente estudo (Tabela II.4) possibilitaram confirmar o posicionamento de várias transições γ, que serão discutidas caso a caso a seguir.

Nível a 307 keV

Este nível é fortemente alimentado pelo decaimento beta, com log *ft* = 4,8 e I$^{\pi}$ = 7/2^{+}. Este nível é bem estabelecido pela intensa transição γ de 307 keV que o depopula, cujo caracter de mistura dipolo-quadrupolo é bem estabelecido [15,16], e pela transição de 179 keV, de caracter E2. As relações de coincidência que envolvem estas duas transições são consistentes com o spin e paridade estabelecidos.

Nível a 311 keV

Este nível é alimentado apenas pelas transições γ de 233, 532, 617 e 627 keV e depopulado pelas transições γ de 184 e 311 keV. A transição de 233 keV que depopula o nível a 545 keV ($7/2^+$) e de 184 keV que alimenta o nível a 127 keV, permitem limitar o valor de I^π a $3/2^+$, 5/2 e $7/2^+$. Este nível foi estudado por meio das reações (α,nγ) [17], (^{3}He,2nγ) [24], (α,3nγ) [24], (p,d) [26], por excitação coulombiana [27], pelo decaimento β^- [3,4] e por captura eletrônica [28] sendo definido $I^\pi=5/2^+$.

Nível a 422 keV

Este nível é alimentados pela transição γ de 516 keV, que depopula o nível a 938 keV ($7/2^+$). Se desexcita pelas transições γ de 295 e 423 keV, que populam os níveis a 127 keV ($3/2^+$) e fundamental ($5/2^+$), respectivamente. Os dados obtidos no presente estudo permitiu o posicionamento das transições 516 e 295 keV restringindo os valores de I^π a $3/2^+$, 5/2 e $7/2^+$. Este nível foi também estudado pela reações (α,nγ) [17], (d,p) [25], (p,d) [26], por excitação coulombiana [27], pelo decaimento β^- [3,4] e captura eletrônica [28], sendo definido o valor de $I^\pi=3/2^+$.

Nível a 545 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 5,6 e é depopulado pelas transições γ de 233, 238 e 545 keV para os níveis a 311 keV ($5/2^+$), 307 keV (7/2) e fundamental ($5/2^+$), respectivamente, sendo possíveis a atribuição de valores de spin 5/2 e 7/2. Estudos envolvendo reações (α,nγ) [17], (^{7}Li,pxnγ) [29] e medidas de excitação coulombiana [27], propõe $I^\pi=7/2$ e paridade positiva.

As reações de coincidências que envolvem as transições γ de 233, 238 e 545 foram investigadas conforme dados apresentados na tabela II.4 e são compatíveis com a proposição $I^{\pi}=7/2^{+}$. Particularmente, as relações de coincidências da transição γ de 233 keV com 127, 175, 184, 312 e 393 keV confirmam seu posicionamento neste nível.

Nível a 617 keV

Este nível é alimentado apenas pelas transições γ de 227 e 322 keV, que depopulam os níveis 843 keV ($7/2^{+}$) e 938 keV ($7/2^{+}$), respectivamente, e se desexcita pela transição de 489 keV que popula o nível a 127 keV ($3/2^{+}$). O posicionamento destas transições indica como valores possíveis para spin e paridade $I^{\pi}=3/2^{+}$, 5/2 e $7/2^{+}$. Este nível foi estudado pelas reações (α,nγ) [17], por excitação coulombiana [27], pelo decaimento β^{-} [3,4] e por captura [28] sendo definido $I^{\pi}=5/2^{+}$.

Nível a 720 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^{-} com log *ft* = 6,7 e se desexcita pela emissão de dois raios γ, 175keV e 720keV, para os níveis a 545keV ($7/2^{+}$) e fundamental ($5/2^{+}$) respectivamente. Seu valor de spin e paridade foram propostos a partir de medidas de reações nucleares (α,nγ) [17], (^{3}He,2nγ) [24], (α,3nγ) [24], (^{7}Li,pxnγ) [29], (p,d) [26], por excitação coulombiana [27], o que atribuiu carater de quadrupolo elétrico para a transição γ de 720 keV. As medidas realizadas no presente estudo confirmam o posicionamento da transição 175 keV, sugerido por Cook e Johns [3] e são consistentes com o valor de $I^{\pi}=9/2^{+}$.

Nível a 843 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 5,5 valor característico de transições γ permitidas, indicando como valores possíveis para spin 7/2, 9/2 e 11/2 e paridade positiva. Este nível se desexcita pelas transições γ de 227, 532, 716 e 843 keV. Em particular a transição de 716 keV que alimenta o nível a 127 keV ($3/2^+$) seleciona os valores de spin e paridade definindo $I^\pi = 7/2^+$. Este nível foi estudado pela reação (α,nγ) [17] e pelo decaimento β^- [3,4] sendo atribuídos valores de spin e paridade compatíveis com os do presente estudo.

Nível a 929 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^- com log *ft* = 6,1 sugerindo como possíveis valores de spin 7/2, 9/2 e 11/2 com paridade positiva. Ele é depopulado pelas transições γ 384, 617, 622 e 929 keV. As transições de 617 e 929 keV que populam os níveis a 311 keV ($5/2^+$) e fundamental ($5/2^+$) excluem $I^\pi = 11/2^+$.

Este nível foi estudado pelas reações (α,nγ) [17], (α,3nγ) [24], por excitação coulombiana [27] e pelo decaimento β^- [3,4], sendo $I^\pi = 9/2^+$ a atribuição compatível com todas as medidas realizadas.

Nível a 938 keV

Este nível é alimentado pelo decaimento β^-, com log *ft* =5,9, valor característico de transições permitidas, sugerindo os valores de spin 7/2, 9/2 e 11/2 com paridade positiva. Este nível se desexcita pelas transições γ de 322, 393, 516, 627, 632, 811 e 938 keV. Em particular, a transição de 811 keV, posicionada no presente estudo através da relação de coincidência 811-127 keV, alimenta o nível a 127 keV ($3/2^+$) permitindo a definição de $I^\pi = 7/2^+$. Este nível foi

estudado pela reação (α,nγ) [17] resultando na mesma proposição de spin e paridade do presente estudo.

Nível a 1003 keV

Este nível foi sugerido primeiramente no estudo de decaimento β- do ^{101}Tc realizado por Wrigth e outros [4]. Os resultados obtidos no presente estudo confirmam a proposição deste nível pela identificação das transições γ de 695 keV e 282 keV bem como pelas relações de coincidência entre 695 keV -307 keV e 282 keV - 720 keV. A análise do presente estudo é condizente com spin 11/2 e paridade positiva. Estudos envolvendo as reações (α,nγ) [17], (^{3}He, 2nγ) [24] e (α,3nγ) [24] também estabelecem $I^{\pi}=11/2^{+}$.

Nível a 1219 keV

Este nível está sendo proposto no presente trabalho baseado nas relações de coincidência entre as transições de 912-307 keV e 674-545 keV. Considerando que as transições de 912 keV e 674 keV populam níveis estabelecidos com $I^{\pi}=7/2^{+}$, a atribuição de spin para o nível 1219 keV é consistente com 7/2 e 9/2 com favorecimento de paridade positiva pois no caso de paridade negativa o caráter associado às transições γ seria de quadrupolo magnético o que é pouco provável.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP

Capítulo IV. Discussão

Neste capítulo pretende-se elucidar a estrutura desses núcleos por meio de análises sistemáticas envolvendo núcleos vizinhos com A- ímpar.

Para interpretar as propriedades nucleares associadas aos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru é interessante situar o diagrama de níveis de energia destes núcleos dentro do contexto dos dados experimentais de outros isótopos (A= 95-105) e isótonos com N = 58 no caso do núcleo ^{101}Tc e N = 57 no caso do ^{101}Ru.

V.I *Estudo Sistemático dos isótopos ^{101}Tc e isótonos com N=58 e revisão teórica em função dos modelos nucleares*

Na figura IV.1 temos os níveis de energia dos isótopos de Tc a partir dos dados experimentais da literatura [7]. Estes isótopos estão situados entre a camada semi fechada de Z=40 e a camada fechada de Z=50. Analisando-se esta figura pode-se observar que a coletividade nesses núcleos aumenta com a distância da camada fechada de N=50. A presença de spin e paridade $9/2^+$ no estado fundamental apresenta continuidade até A=101. Com relação aos estados $5/2^+$ e $3/2^-$ nota-se um decréscimo sistemático nas energias de excitação dos níveis até A=103, quando pares de nêutrons são adicionados sucessivamente ao ^{95}Tc. Da mesma forma, este comportamento é observado para o nível a $7/2^+$, entretanto esta continuidade é quebrada em A=103. A exceção desta sistemática ocorre para o estado $1/2^-$ onde a energia de excitação aumenta à medida que o número de nêutrons também aumenta, até A= 103, quando ocorre a brusca alteração do espectro no ^{95}Tc. Portanto é possível considerar o estado $1/2^-$ no ^{101}Tc como um estado predominantemente de partícula (próton $p_{1/2}$) e associar aos demais níveis um comportamento mais próximo a descrição de estados coletivos.

Ao analisarmos o espectro de ^{101}Tc dentro do contexto dos isótonos N=58, poucas correlações podem ser feitas em função dos poucos dados já estabelecidos. Na figura IV.2 estão listados os diagramas parciais de níveis dos isótonos N=58 a partir dos dados da literatura [7]. Nesta sistemática não se observa a continuidade das linhas que ligam os estados $7/2^+$, $5/2^+$ e $3/2^-$. Além disso, a energia de excitação do estado $1/2^-$ diminui com o aumento do número de prótons passando a ocupar o estado fundamental em A=103. De modo geral a estrutura nuclear associada aos isótonos N= 58 apresenta variação irregular dos parâmetros (energia de excitação, spin e paridade) desses estados em função do número de prótons.

Ainda dentro deste contexto comparativo, analisando as figuras IV.1 e IV.2, observa-se uma acentuada diminuição em energia principalmente para os estados $7/2^+$ e $5/2^+$ no isótopo de ^{101}Tc. Vários estudos teóricos já foram realizados na tentativa de elucidar o comportamento desses níveis no ^{101}Tc. Basicamente, estes estudos restringem–se à interpretação de poucos níveis excitados em função do poucos dados experimentais até então determinados. Esses estudos envolvem modelos teóricos bem estabelecidos (camadas, de partícula única, de emparelhamento mais quadrupolo, De Shalit, Alaga e IBM) e as previsões mais importantes serão apresentadas de forma sucinta, pois fornecem informações que devem ser consideradas na realização de um estudo teórico refinado.

O modelo de camadas prevê para o núcleo de ^{101}Tc (Z = 43 e N = 58) a configuração $(g_{9/2})^n$. Essa configuração implica em que o estado fundamental tenha spin 9/2, dado pelo próton desemparelhado na camada $g_{9/2}$, o que está em acordo com a previsão experimental. Utilizando este modelo, Wright e outros [4] propõem a descrição dos estados excitados do ^{101}Tc assumindo um potencial dependente do spin e as configurações de próton: $(p^{1/2})^1 (g^{9/2})^4$, $(p^{1/2})^2 (g^{9/2})^3$, $(p^{1/2})^0 (g^{9/2})^5$. Contudo os cálculos geram valores muito altos para as energias de excitação, dos níveis de paridade positiva 7/2 e 5/2.

Analisando estes níveis pela previsão do modelo de partícula única, no qual as propriedades nucleares são atribuídas ao nucleon desemparelhado, tem-se o spin do estado fundamental dado por 9/2 e os próximos estados excitados posicionados nas camadas superiores de $g_{7/2}$ e $d_{5/2}$ respectivamente, o que implica em uma previsão correta quanto ao

spin desses níveis, mas que produz uma separação também grande em energia o que contraria os dados experimentais. Portanto, é intuitiva a idéia de que estes estados devam conter outras misturas de partícula simples das camadas vizinhas.

Um estudo detalhado envolvendo propriedades nucleares, abrangendo núcleos com A-ímpar, na região do Ni até o Pb foi realizada por Kisslinger e Sorensen [30,31]. A principal característica deste estudo (considerando-se núcleos com A- impar) é que os estados de mais baixa energia podem ser tratados em termos de dois modos básicos de excitação: quase-partículas e excitação de fônons, além de considerar a contribuição de emparelhamento mais quadrupolo. Como nêutrons e prótons ocupam diferentes níveis, o emparelhamento é descrito por dois parâmetros independentes (isto é, do tipo: próton- próton e nêutron – nêutron). A força de quadrupolo, efetiva para prótons e nêutrons e também para a interação próton - nêutron, é por sua vez descrita por três constantes de acoplamento. Para a escolha de níveis de partícula única e constantes de acoplamento, o Hamiltoniano associado é primeiro diagonalizado pelo uso de transformações de quase - partículas para nêutrons e prótons, separadamente. A força de quadrupolo é posteriormente introduzida como interação entre quase - partículas de prótons e nêutrons.

A partir dessas considerações teóricas, Kisslinger e Sorensen [31] realizaram cálculos para muitos núcleos (do Ni até o Pb) , reproduzindo com sucesso os níveis de mais baixa energia, contudo as previsões para os isótopos de Tc [19] não são satisfatórias. Os cálculos mostram que a energia de excitação dos estados $9/2^+$ varia, isto é, aumenta rapidamente com o aumento do número de pares de nêutrons, de modo que para A>95 tem-se para o estado fundamental $I^{\pi}=1/2^-$, o que contraria a previsão experimental. O modelo também não reproduz os estados $5/2^+$ e $7/2^+$ para o ^{101}Tc [31].

Utilizando o modelo de Alaga [32], o qual envolve o acoplamento de três quase - partículas com um caroço vibrador, Abecasis e outros [33] realizaram cálculos referentes a energia de excitação de níveis, previsão de spin e valores de B(E2) para vários isótopos de Tc (A=95-101). De modo geral as estimativas são consistentes com os dados experimentais, entretanto esta previsão teórica também não explica a baixa energia dos primeiros níveis excitados do ^{101}Tc.

O estudo teórico mais recente, envolvendo os isótopos de Tc (A=97 – 103), foi realizado por De Gelder e outros [34] por meio do modelo de bósons - férmions interatuantes (IBFA)[35]. Utilizaram como caroço o núcleo par-par de Ru e a camada fechada de Z=50 para o número de bósons prótons, contudo as previsões falham para os núcleos de ^{99}Tc e ^{101}Tc.

Um estudo recente, realizado por Savage e outros [14], apresenta uma discussão teórica em termos do modelo de partícula-rotor . Por se tratar de um estudo envolvendo a reação nuclear (^{3}He, pnγ) os estados populados encontram-se acima de 2 MeV. A identificação de quatro bandas foram interpretadas com sucesso segundo a estrutura do modelo rotacional puro.

A discussão apresentada deixa claro que apesar de não ser possível uma descrição bem elaborada para todos os níveis excitados do núcleo de Tc, em termos dos modelos convencionalmente aplicados a essa região de massa, as hipóteses teóricas convergem para descrição em termos de comportamento coletivo e mostram a necessidade de um estudo teórico direcionado à região de mais baixa energia de excitação.

Figura IV.1. Diagrama parcial dos níveis de energia dos isótopos (A-ímpar) do Tc (energia em keV).

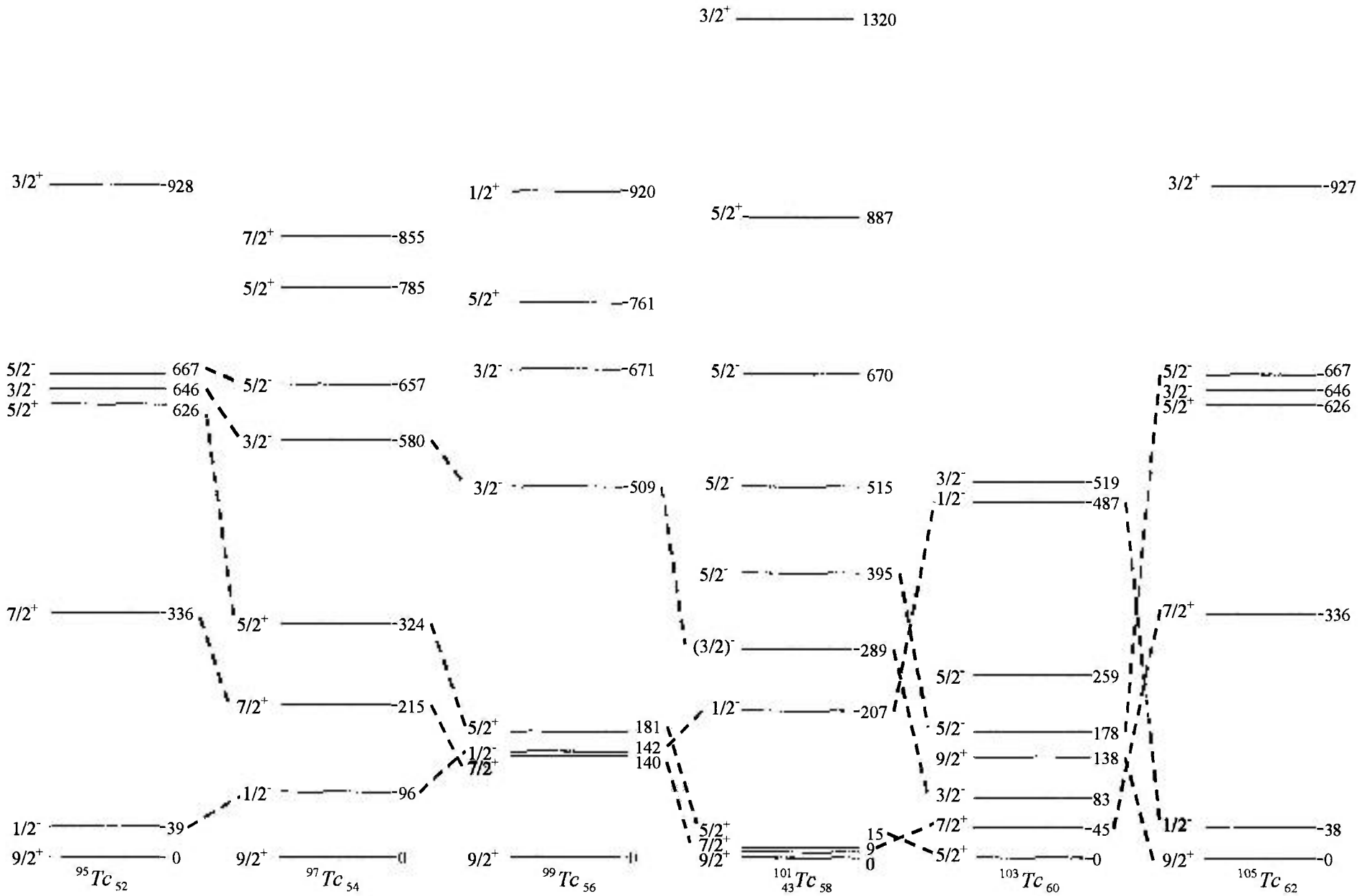
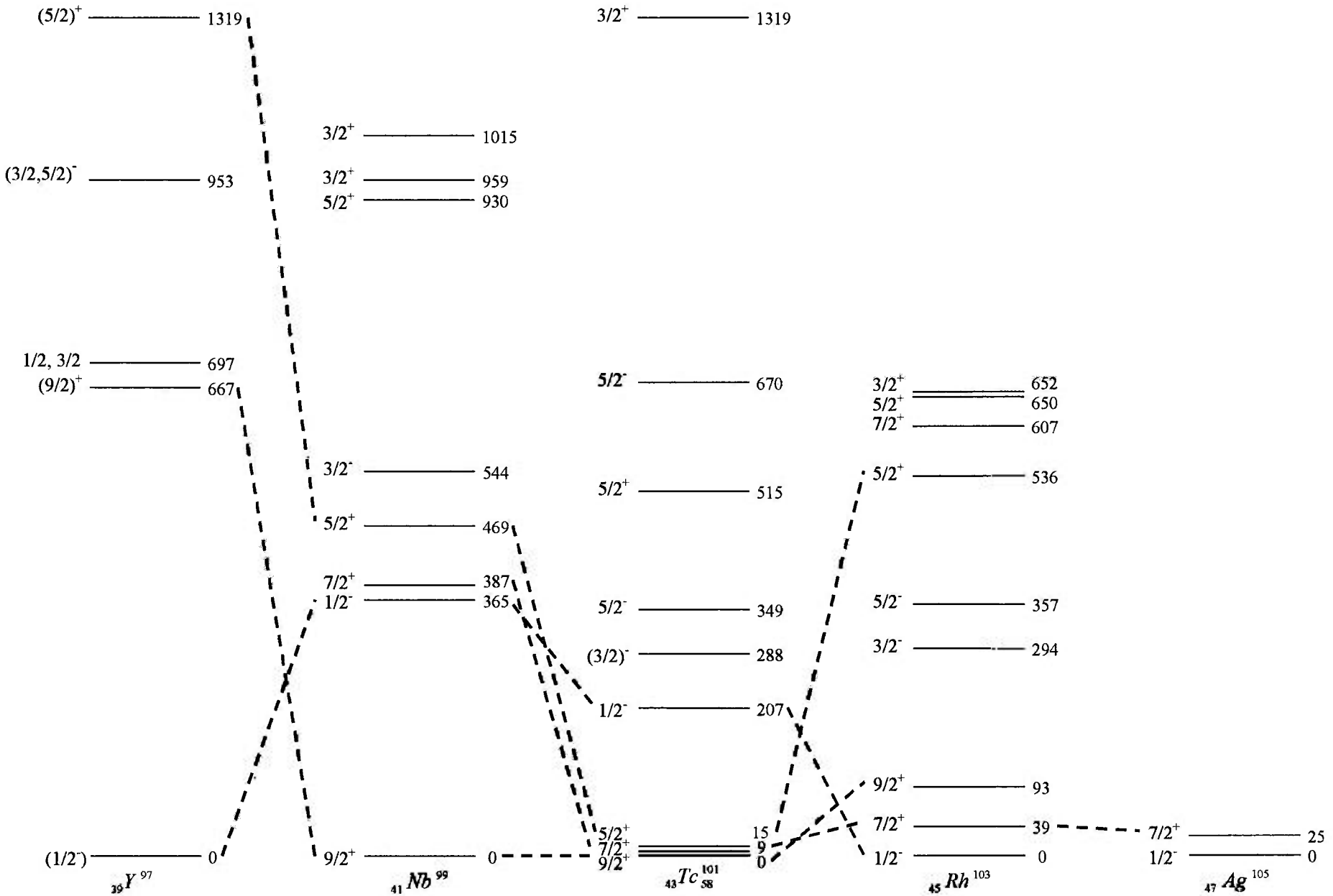


Figura IV.2. Diagrama parcial dos níveis de energia dos isótonos N=58 (energia em keV).



IV.2 Estudo Sistemático dos isótopos ^{101}Ru e isótonos com N=57 e revisão teórica em função dos modelos nucleares.

Analisando-se a seqüência de níveis excitados dos isótopos de ^{101}Ru, com A- ímpar, apresentado na figura IV.3 pode-se destacar algumas características.

- Um decréscimo sistemático na energia de praticamente todos os níveis correspondentes, com o aumento de A. Excetua-se o nível com spin e paridade $1/2^+$ que não ocorre no ^{99}Ru e ^{101}Ru, além de não apresentar comportamento sistemático em função de A.

- Alteração na seqüência dos níveis como no caso do nível de spin e paridade $5/2^+$ que passa de nível fundamental ($^{95\text{-}101}$Ru) para primeiro estado excitado no ^{103}Ru.

- Observa-se que o nível de spin e paridade $3/2^+$, que ocorre à baixa energia nos isótopos de $^{97, 99, 101, 103}$Ru, não ocorre no ^{95}Ru.

Ao analisarmos o espectro de ^{101}Ru dentro do contexto dos isótonos N=57, poucas correlações podem ser feitas em função da alta densidade de níveis. Na figura IV.4 são apresentados os diagramas parciais de níveis dos isótonos N= 57 a partir dos dados da literatura [7]. Nesta sistemática não se observa a continuidade das linhas que ligam os estados $1/2^+$ e $3/2^+$. Além disso, tem-se alteração na seqüência dos níveis como no caso do nível de spin e paridade $5/2^+$ que passa do nível fundamental (^{101}Ru , ^{103}Pd e ^{105}Cd) para primeiro estado excitado no ^{99}Mo.

De modo geral a estrutura nuclear associada aos isótonos de ^{101}Ru apresentam variação irregular dos parâmetros nucleares: energia de excitação, spin e paridade dos níveis o que não permite estabelecer nenhum tipo de correlação entre os mesmos.

Teoricamente, os estudos realizados na tentativa de elucidar o comportamento do núcleo ^{101}Ru estão relacionados à interpretação das propriedades de níveis de mais altas energias, provenientes de medidas com reações nucleares. Há poucos cálculos realizados com sucesso relacionados aos estados de baixa energia e paridade positiva no núcleo ^{101}Ru. Um dos primeiros estudos teóricos relevantes foi realizado por Imanishi e outros [36]. Eles reproduziram com sucesso alguns níveis excitados utilizando o modelo rotacional com acoplamento de Coriolis, mas como nenhuma previsão teórica foi feita em termos de probabilidade de transição ou razão de mistura multipolar, mais cálculos seriam necessários para teste do modelo. Bhattacharayas e Basu [37] utilizaram o modelo de quase - partícula - fônon (QPC) para o cálculo da energia de níveis e B(E2), mas o acordo entre valores teóricos e experimentais está restrito a poucos dados. Também utilizando QPC, Vanin e outros [28] obtém estimativas teóricas em bom acordo com valores de B(E2) entretanto o modelo falha na descrição do espectro em energia. Outra previsão teórica importante e consistente com dados experimentais foi obtida por Alzner e outros [38], utilizando acoplamento fraco entre partícula-caroço, no cálculo de momento de dipolo magnético e quadrupolo elétrico de alguns níveis excitados.

Vários estudos envolvendo reações nucleares tais como: (α,3n) e (^{3}He, 3n), (α,n), também apresentam cálculos em termos do modelo de QPC [17,24], do modelo rotacional com acoplamento de Coriolis [27,39] e em termos do modelo de bósons interatuantes (IBMF) [40,41] reproduzindo alguns parâmetros mas, de modo geral, os cálculos realizados por estes modelos não são suficientemente completos pois, descrevem com relativo sucesso as características estruturais do núcleo de ^{101}Ru na região de níveis de mais alta energia (acima de 2 MeV) deixando uma lacuna no que diz respeito à descrição dos níveis alimentados pelo decaimento beta.

Figura IV.3. Diagrama parcial dos níveis de energia dos isótopos (A-ímpar) do Ru (energia em keV).

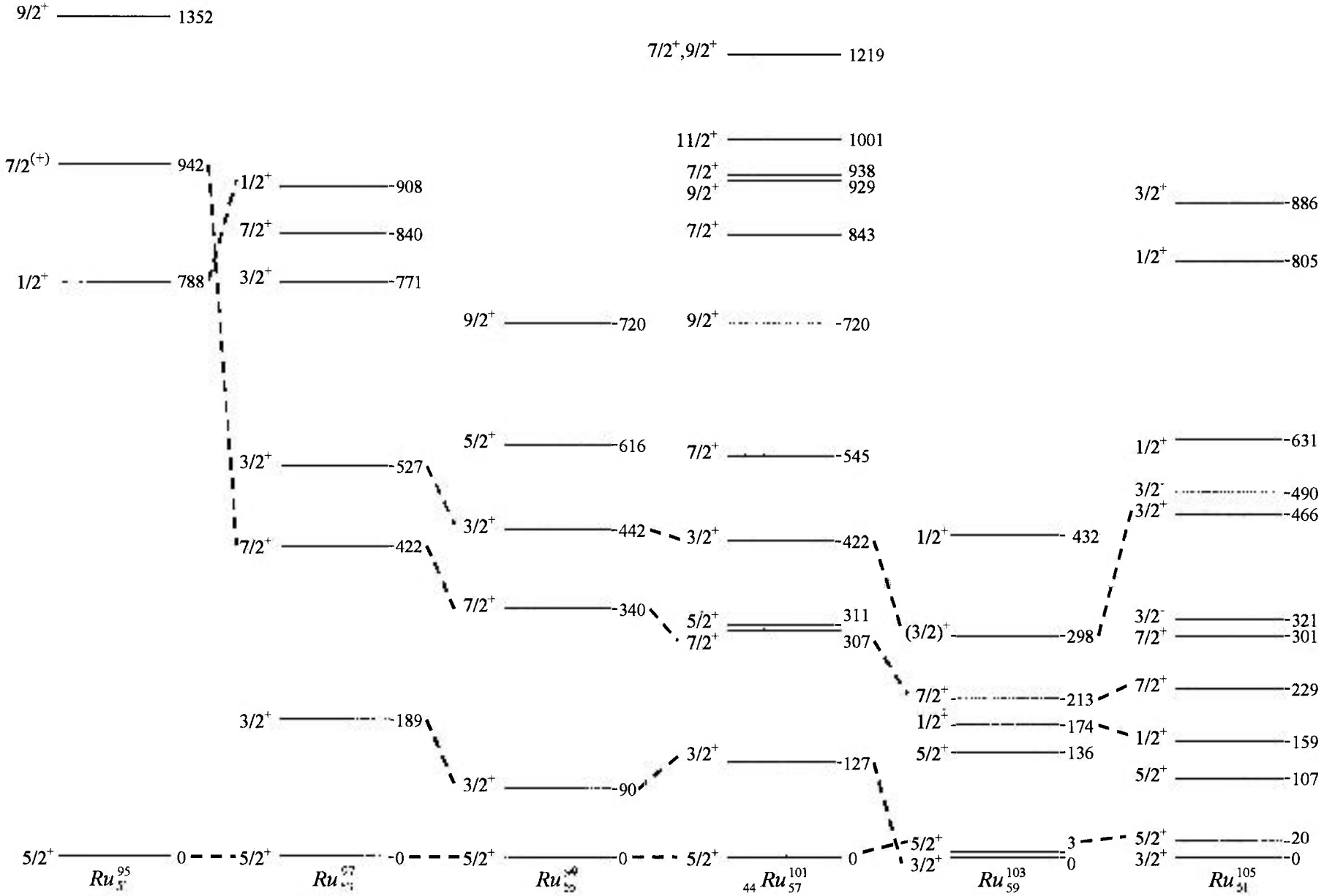
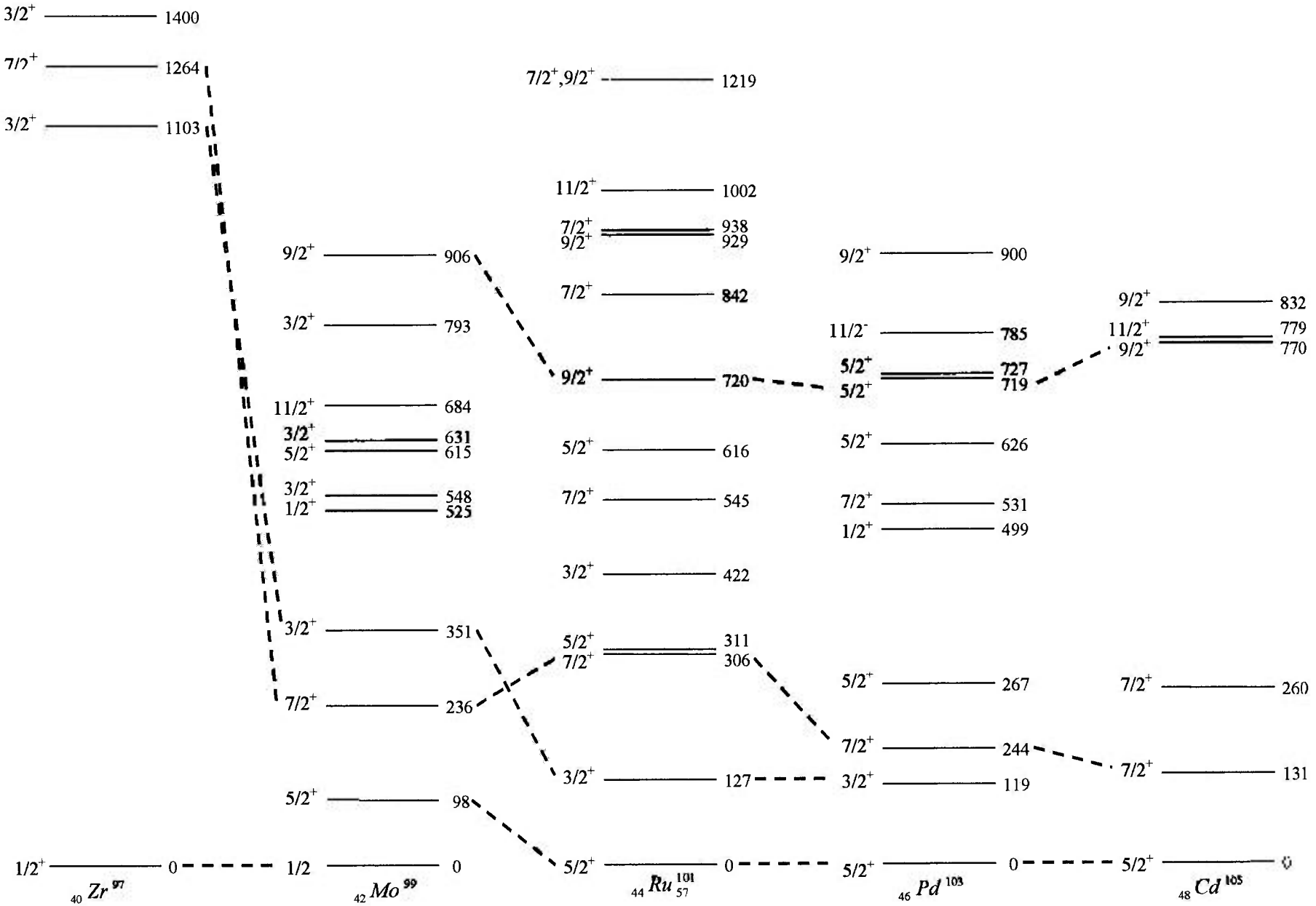


Figura IV.4. Diagrama parcial dos níveis de energia dos isótonos N=57 (energia em keV).



Capitulo V. Conclusões

Até o presente, poucos dados foram estabelecidos para os níveis excitados dos núcleos ^{101}Tc e ^{101}Ru. O presente estudo completa, em parte, esta lacuna pois com os parâmetros obtidos neste trabalho foi possível propor a estes núcleos um esquema de decaimento beta bem mais completo.

Neste trabalho, foram realizadas medidas de espectroscopia simples e de coincidência $\gamma\gamma$ dos decaimentos β^- dos núcleos ^{101}Mo e ^{101}Tc com o objetivo de estabelecer o esquema de níveis de energia do ^{101}Tc e ^{101}Ru. Foram determinadas as energias das transições γ, seus valores de intensidade relativas, bem como as intensidades de alimentação beta e energia dos níveis excitados, além de esclarecer ambigüidades a respeito de spin e paridade de níveis Na maiorias dos casos os valores obtidos são mais precisos que os dados apresentados na literatura.

A medida de espectroscopia simples foi realizada utilizando um detector de boa resolução em energia e alta estatística. As analises de dados realizadas levaram em conta as covariâncias entre os dados. Desta forma, o esquema de níveis do ^{101}Tc, proposto no presente trabalho, apresenta 185 transições γ distribuídas em 42 níveis de energia, sendo que 21 transições foram observadas pela primeira vez e três níveis são propostos pela primeira vez. Para o núcleo de ^{101}Ru todas as transições identificadas na medida de espectroscopia simples foram posicionadas em 12 níveis de energia, sendo que uma transição γ foi observada pela primeira vez e um nível é proposto pela primeira vez. Foi possível a proposição de valores de spin e paridade para todos os níveis de ambos os núcleos em estudo.

Como as medidas de coincidência foram feitas em um sistema multidetector, constituído por detectores de boa resolução em energia, com alta estatística e eficiente sistema de aquisição, foi possível a análise de cada transição isoladamente. Além disso, a metodologia

utilizada na análise de dados de coincidência tornou possível a determinação de valores de energia e intensidade relativa para várias transições γ que não foram observadas no experimento de espectroscopia simples, como no caso de dubletos e transições de baixa intensidade na região de alta contribuição de efeito Compton .

Pode-se então concluir que a previsão deste trabalho em estabelecer um esquema detalhado e preciso para o decaimento beta dos núcleos de ^{101}Mo e ^{101}Tc foi bem sucedida, pois as investigações realizadas acrescentaram dados significativos quando comparados às informações disponíveis na literatura, além de fornecer subsídios para uma interpretação completa e detalhada da estrutura nuclear desses núcleos em termos de modelos.

Do ponto de vista experimental, propõe-se ainda a realização de medidas de coincidências γγ envolvendo os estados de paridade positiva a 9 keV ($7/2^+$) e 15 keV ($5/2^+$) pertencentes ao decaimento β^- do ^{101}Mo. Estas informações viriam confirmar as relações de coincidência, deduzidas pela regra da soma, no presente estudo. Para o núcleo de ^{101}Ru medidas de correlação angular γγ forneceriam dados sobre razão de mistura multipolar , associada às transições γ, possibilitando a confirmação da atribuição de spin e paridade propostos no presente estudo, além de ser uma ferramenta importante para o teste de modelos nucleares, pois trata-se de um parâmetro que envolve diretamente as funções de onda entre dois estados.

Apêndice A. Amostra de ^{100}Mo

Informações adicionais sobre a amostra de ^{100}Mo :

- Produção da amostra : ORNL – Oak Ridge National Laboratory.

- Secção de choque para nêutrons térmicos, em barns [7]: $\sigma_\gamma = 0,199$ (3).

- Composição Isotópica do Mo Natural.

Tabela A.1 : Composição isotópica do Mo [7]

Isótopo	Abundância (%)	Produto da reação (n,γ)
^{92}Mo	14,84	^{93}Mo ($T_{1/2}$~6,9 h)
^{94}Mo	9,25	Mo^{95} (estável)
^{95}Mo	15,92	Mo^{96} (estável)
^{96}Mo	16,68	Mo^{97} (estável)
^{97}Mo	9,55	Mo^{98} (estável)
^{98}Mo	24,13	Mo^{99} ($T_{1/2}$~66,02 h)
^{100}Mo	9,63	Mo^{101} ($T_{1/2}$~14,6 m)

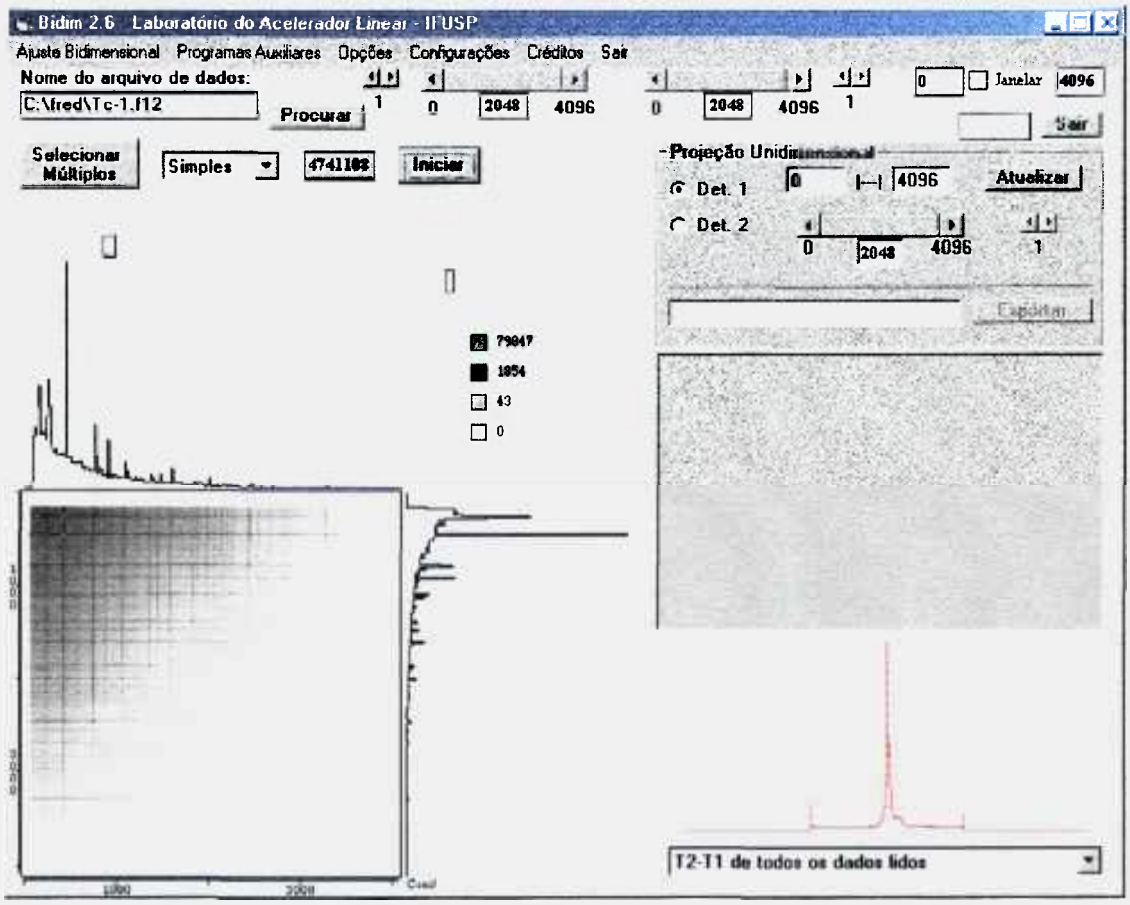
Apêndice B. Programa BIDIM

O programa BIDIM [13], que foi desenvolvido no Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP, possibilita a visualização dos dados de coincidência $\gamma\gamma$ em um histograma bidimensional onde cada um dos eixos corresponde à energia depositada em cada um dos detectores, e as contagens nos canais bidimensional são indicadas segundo um código de cores.

Os dados referentes à diferença de tempo entre os detectores também são histogramados. O histograma bidimensional é gerado a partir de uma seleção numa faixa do histograma de diferença de tempo. Conforme descrito em II.1, coincidências reais tem preferência temporal. Portanto, eventos com diferença de tempo na faixa do pico do histograma de diferença de tempo devem ser selecionados visando a obtenção de eventos reais. Porém ao se fazer isto, também são selecionados eventos acidentais. Para efetuar a correção da contribuição de eventos acidentais, deve ser gerado um espectro bidimensional, constituído de eventos cuja diferença de tempo está fora da região de coincidências reais. Para levar em conta qualquer assimetria no histograma de diferença de tempo, deve ser feita a seleção de duas regiões neste histograma : uma a direita do pico e outra a esquerda. A faixa selecionada para a geração deste espectro bidimensional no presente estudo, é duas vezes maior que a utilizada para eventos reais, então a área de um fotopico bidimensional proveniente de núcleos diferentes deve ser duas vezes maior no espectro de acidentais .

Para ilustrar, na figura B.1 é apresentada a tela do programa BIDIM.

Figura B.1. Tela do **Programa BIDIM**

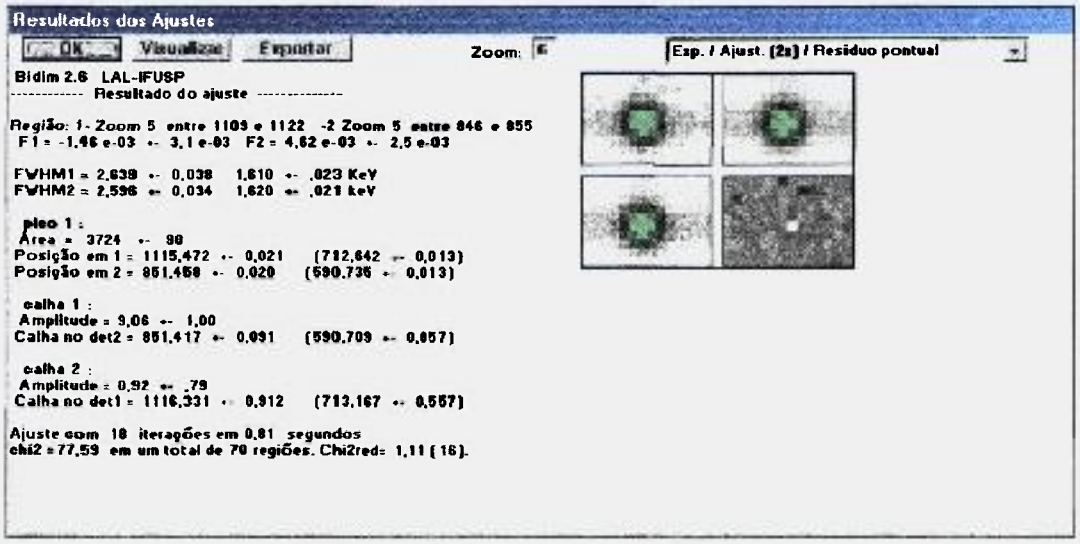


O programa BIDIM também possibilita a realização de ajustes de picos bidimensionais. O ajuste leva em conta o pico bidimensional gaussiano, o fundo plano, as calhas associadas ao fotopico bidimensional ajustado formadas pela coincidência entre um dos fotopicos e o degrau associado ao outro fotopico e, se necessário, leva em conta calhas externas formadas por um fotopico externo à região de ajuste em coincidência com outro fotopico, externo ou não à região de ajuste.

Os resultados de cada ajuste são exibidos em uma tela (figura Ap.2). As principais informações nela contida são os valores: das larguras a meia altura e degraus ajustados; da área e posição do fotopico bidimensional; das amplitudes e posições das calhas e do qui-quadrado do ajuste. Junto aos valores de posição pode também ser fornecido o valor de energia desde que as funções de calibração dos detectores seja fornecida para o programa. Esta

tela apresenta ainda quatro espectros bidimensionais: um dos dados experimentais, dois da função ajustada e um de resíduos ponto a ponto.

Figura B.2. Exemplo da tela apresentada pelo programa BIDIM referentes aos resultados obtidos para um ajuste bidimensional das transições de 590 e 712 keV do ^{101}Tc.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MARTIN, D. W.; BURSON, S. B.; CROK, J. M. Decay of ^{101}Mo. ***Bull. Am.Phys. Soc.***, V. 1, p. 329, 1956.

[2] O'KELLY, G. D.; LARSON, Q. V.; BOYD, G. E. Decay chain ^{101}Mo - ^{101}Tc. ***Bull. Am. Phys. Soc.***, V. 2, p. 24, 1957.

[3] COOK, W. B. ; JOHNS, M. W. Decay of ^{101}Mo and ^{101}Tc. ***Can. J. Phys.***, v. 50, p. 1957-1977, 1972.

[4] WRIGHT, J.F.; TALBERT JR., W.L.; VORGHT, A. Decay of ^{101}Mo and ^{101}Tc. ***Phys.Rev. C.*** v. 12, n. 2, p.572-581, 1975.

[5] HAMMED, M.A.; MAC MAHON, T.D.; NABOULI, A.H. Decay scheme data for ^{101}Mo and ^{101}Tc . ***Nucl. Instr. Meth. A***, v. 334, p.485-494, 1993.

[6] ARAS , N.K.; FETTWEIS, P.; CHILOSI, G.; O'KELLY, G.D. Levels in ^{101}Ru populated by the decay of ^{101}Tc. ***Nucl. Phys. A,*** v. 169, p. 209-224, 1971.

[7] FIRESTONE, R.B. ;SHIRLEY, V.S. (Eds.). ***Table of Isotopes***. 8 ed. New York, N. Y.: Wiley, 1996.

[8] VANIN, V. ***Manual do Programa Panoramix***, São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1988.

[9] GOUFFON, P. ***Manual do Programa Idefix***. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1982.

[10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. X-RAY AND GAMMA-RAY STANDARDS FOR DETECTOR CALIBRATION. Viena, September 1991. (IAEA-TECDOC-619).

[11] KENCHIAN, G. O. ***Espectroscopia Gama do ^{100}Rh.*** São Paulo: 1996. Tese (Doutoramento) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

[12] BARG F°, D.; NEVES, R.C.; VANIN, V. R. Isa-to-CAMAC Interface. ***Proceedings of the Brazilian Workshop on Nuclear Physics***, p. 422-426, Guaratingueta, São Paulo, 1997.

[13] GUIMARÃES FILHO, Z. O. ***Medidas Precisas de Energias de Transições Gama em Coincidência: Espectroscopia das Séries do ^{232}U e ^{233}U***: 1998 .Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

[14] SAVAGE, D.; ASLAN, H.; CROWE, B.; DAGUE, T.; ZEGHIB, S., RICKEY, F. A. ; SIMMS, P. C. ^{101}Tc Produced by the (^{3}He,pnγ) Reaction. ***Phys. Rev. C***, v. 55, n. 1, p.120-132, 1997.

[15] BLACHOT, J. ***Nucl. Data Sheets for A=101***. V. 45, p. 701, 1985.

[16] BLACHOT, J. ***Nucl. Data Sheets for A=101***. V. 63, p. 305, 1991.

[17] KAJRYS, G.; LECOMTE, R.; LANDSBERGER, S.; MONARCO, S.; Medium Spin States in ^{99}Ru and ^{101}Ru. ***Phys. Rev. C***, v. 28, n. 4, p. 1504-1518, 1983.

[18] SIWAMOGSATHAM, B.; EASTERDAY, H. T. Note on the ^{101}Tc-^{101}Ru Decay. ***Nucl. Phys. A,*** v. 162, p. 42-48, 1971.

[19] COOK, W. B.; JOHNS, M. W.; GEIGER, J. S.; GRAHAM, R. L. Low-Lying Positive-parity States in ^{101}Tc. ***Can. J. Phys.***, v. 50, p. 1151-1157, 1972.

[20] BARTSCH, H.; HUBER, K.; KNEIBL, U.; KRIEGER, H. An Investigation of Short-lived Isomers in the Nuclei ^{90,92}Nb, ^{99}Mo, ^{98,100,101}Tc and ^{101}Ru. ***Z. Phys. A***, v. 285, p. 273-281, 1978.

[21] CHEUNG, H. C.; KITCHING, J.; LEE, J. K. P.; MARK, S. K. Proton stripping reactions populating levels in ^{95,97,101}Tc. ***J. Phys. G.: Nucl. Phys.***, v. 1, n. 7, p. 737-748, 1975

[22] DEJBAKNSH, H.; MOUCHATY, G.; SCHMITT, R. P. Level structure of ^{101}Tc invetigated by means of massive transfer reactions. ***Phys. Rev. C***, v. 44, n. 1, p. 119-127, 1991.

[23] ZAMBONI, C. B. ***Correlação Angular Gama-Gama para Transições nos Núcleos de ^{101}Tc e ^{76}Se.*** São Paulo: 1988. Tese (Doutoramento) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

[24] KLAMRA, W.; FRANSSON, K.; SUNDSTRÖM, B.; BRENNER, M.; ENGMAN, S.; KVARNSTRÖM, R. High Spin Collective Excitations in ^{101}Ru. ***Nucl. Phys. A***, v. 376, p. 463-477, 1982.

[25] DUARTE, J. L. M.; HORODYNSKI-MATSUSHIGUE, L. B.; BORELLO-LEWIN, T.; DIETZSCH, O. Level Structure of ^{101}Ru from the ^{100}Ru (d,p) Reactions. ***Phys. Rev. C***, V. 38, P. 664, 1988.

[26] DICKEY, S. A.; KRAUSHAAR, J. J.; RUMORE, M. A. The $^{102}Ru(p,d)^{101}Ru$ Reaction at 26.3 MeV. ***J. Phys. G.: Nucl. Phys.,*** v. 12, p. 745, 1986.

[27] ARORA, B. K.; MEHTA, D.; RANI, R.; CHEEMA, T. S.; TREHAN, P. N. Coulomb Excitation of Ruthenium Isotopes. ***Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B,*** v. 24/25, p. 460, 1987.

[28] VANIN, V. R.; PASSARO, A.; PASSARO, A. M. Decays of $^{101}Rh^{m}$ and $^{101}Rh^{g}$. ***Phys. Rev. C,*** v. 33, n. 4, p.1349-1357, 1985.

[29] HAENNI, D. R.; DEJBAKHSH, H.; SCHMITT, R. P.; MOUCHATY, G. Evidence for $h_{11/2}$ Neutron Alignment in Band Crossings for the Transitional Mass 100 Nuclei. ***Phys. Rev. C,*** v. 33, p. 1543, 1986.

[30] KISSLINGER, L. S. A note on coupling schemes in odd-mass nuclei. ***Nucl. Phys. A,*** v. 78, p. 341-352, 1966.

[31] KISSLINGER, L. S.; SORENSEN, R. A. Spherical nuclei with simple residual forces, ***Rev. Mod. Phys.***, v. 35, p. 853-915, 1963.

[32] ALAGA, G.; JEAN, M., ed. ***Cargese lectures in physics***. New York, Gordon and Breach, v. 3, p. 579, 1969.

[33] ABECASIS, S. M.; CIVITARESE, O.; KRMPOTIC, F. Analysis of odd mass technetium isotopes with Alaga model. ***Z. Phys. A,*** v. 378, p. 309-315, 1976.

[34] DE GELDER, P.; DE FRENNE, D.; HEYDE, K.; KAFFRELL, N.; VAN DEN BERG, A. M.; OLASI, N.; HARAKELL, M. N.; STEVENBURG, W. A. Study of ^{103}Tc and the on-set of deformation around N=60, ***Nucl. Phys. A***, v. 401, p.397-414, 1983.

[35] IACHELLO, F. ed. ***Interacting Bose-Fermi Systems in nuclei: proceedings of the 2nd specialized seminar on ..., held in Erici, Sicily, June 12-19, 1980***. New York, Plenum, 1981. (Ettore Majorana International Science Series. Physical Sciences, 10).

[36] IMANISHI, I.; FUJIWARA, I.; NESHI, T. Coriolis Coupling Calculation of Low-Lying States in Ru, Pd and Cd Isotopes, ***Nucl. Phys. A***, v. 205, p.531-544 , 1973.

[37] BHATTACHARAYA, S.; BASU, S. K. Quasiparticle-phonon coupling model for odd-A Ru, ***Phys. Rev. C***, v. 18, p. 2765-2775, 1978.

[38] ALZNER, A.; BODENSTEDT, E.; GEMÜNDEM, G.; HERMANN, C.; MÜNNING, H.; REIF, H.; RUDOLPH, H. J.; VIANDEN, G.; WREDE, U. Gyromagnetic ratio of the 3/2+ core vibratiom states of ^{101}Ru and ^{95}Mo, ***Z. Phys. A***, v. 317, p.107-115, 1984.

[39] REKSTAD, J. Rotational description of some odd-A nuclei in the mass region ~100. ***Nucl. Phys. A***, v. 247, p. 7-20, 1975.

[40] DU MARCHIE VAN VOORTHUYSEN, E. H.; DE VOIGT, M. J. A.; BLASI, N.; JANSEN, J. F. W. Band structure in ^{98}Ru and ^{99}Ru, ***Nucl. Phys. A***, v. 355, p.93-114, 1981.

[41] DE VOIGT, M. J. A.; JANSEN, J. F. W.; BRUINING, F.; SUJKOWSKI, Z. Negative Bands in ^{100}Ru Observed in the ^{100}Mo(α,4n)^{100}Ru Reaction, ***Nucl. Phys. A***, v. 270, p. 141-163, 1976.