

JAERI-M
9901

重イオン核反応生成物の半減期測定用
回転式バンドパス・フィルター

1982年1月

牧島 章泰*・武谷 汎*・足立 実*
小川 雅生*・石井 三彦・大島 真澄
菊池 士郎・峰原 英介

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 山田軽印刷所

重イオン核反応生成物の半減期測定用
回転式バンドパス・フィルター

日本原子力研究所東海研究所物理部
牧島 章泰*・武谷 汎*・足立 実*
小川 雅生*・石井 三彦・大島 真澄
菊池 士郎・峰原 英介

(1981年12月22日受理)

この回転式バンドパス・フィルターは反跳核を収集する時間々隔の $\frac{1}{5}$ から5倍の半減期をもつ反応生成物を選択的に効率よく分析することを可能にする。装置は円板上に配置された3枚の金属箔からなる。反跳核を箔で一定時間捕獲したのち、2箇の γ 線検出器でひきつづき各 γ 線の減衰の程度を測定する。これらの箔に一連のプロセスを周期的に繰返させてデータの集積を計る。この装置を用いてSeアイソトープのE0遷移の探査を行い、 ^{74}Se に於て新しい遷移を発見した。

* 東京工業大学理学部 (東京都目黒区大岡山)

A Rotary Bandpass Filter for Lifetime Measurements
of Reaction Products Induced by Heavy Ions

Akiyasu MAKISHIMA*, Hiroshi TAKETANI*, Minoru ADACHI*,
Masao OGAWA*, Mitsuhiko ISHII, Masumi OHSHIMA,
Shiro KIKUCHI and Eisuke MINEHARA

Division of Physics, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received December 22, 1981)

An apparatus was constructed which intensified radioactivities of lifetimes ranging from $1/5$ to 5 times as long as a measuring period prescribed. It consists of three foils symmetrically placed around a turntable. Each foil collects recoiled reaction products by turns for the measuring period. Then the deposited activities are counted in succession by two gamma-ray detectors so that the mean lifetimes of observed gamma-rays can be determined. The foils are rotated and repeat the sequence of processes cyclically. The apparatus, rotary bandpass filter, was used in experiments of searching for $E0$ transitions in Se isotopes, and a new one was found in ^{74}Se .

Keywords: Heavy Ion Reaction, Radioactivities, Lifetime
Analysis, Se Isotopes, $E0$ Transitions.

* Faculty of Science, Tokyo Institute of Technology,
Oh-okayama, Meguro, Tokyo.

目 次

序 論	1
1. 回転式バンドパス・フィルター	3
2. 実験例	4
3. 結 論	6
謝 辞	6
参考文献	7

CONTENTS

Introduction	1
1. Rotary Bandpass Filter	3
2. Experiments	4
3. Conclusion	6
Acknowledgment	6
References	7

序 論

JAERI タンデムが稼働を始め、我国でも重イオン反応を利用して多種多様な核種を生成することが可能になった。その数は軽イオン反応を利用した場合の数倍にも達し、およそ1500程度と推定される。大半の核は未研究であり、これらを研究することにより安定核ラインの近傍の核に立脚した現在の核物理を二次元的アンサンブルに適用できる物理に拡張することが可能になる。

重イオン核反応は高いスピンを持つ状態を強く励起する。これらの状態が崩壊する際イラストバンドが主要な経路となる。それ故イラストバンドに関連した励起モードを解明するためには、高スピン状態の崩壊様式を研究することが有効である。一方、放射性核種の崩壊を調べることで基底状態附近でいくつかの励起モードが競合する様子を研究することができる。両者は相補って原子核の全体的な描像を与える。

新しい核についてインビーム核分光を行うためには、事前にオフビーム的手法で核種の同定や基底状態の周りの励起状態に関するデータを入手しておく必要がある。オフビームで通常用いられている方法として、化学操作によって分離する方法と、He ジェットや質量分析器に頼る物理的方法がある〔1〕。前者と比べて後者の方が、線源を作製するのに要する時間が短くてすむために、短寿命核の研究には専ら後者が使用される。He ジェットを利用する方法は、核反応生成物をHe ガスを担体としてターゲット槽から別の槽に運び、そこでテープ等に噴射して付着させ、線源化する方式である。半減期が0.1秒程度の核種まで分析できる点で秀れている。質量分析器は核種を完全に分離するという点で正統的であり他を凌駕している。しかしその能力を発揮することができるか否かは、一に如何に効率よく速に反応生成物をイオン化することができるかに依存している。

本論文で述べる回転式バンドパス・フィルターは、原理的にはHe ジェット式等で使用されているテープ装置と同等であるが、次の点で重イオン核反応の特色を積極的に利用している。重イオン核反応で生成された核は強い反跳を受けるので、薄いターゲットから放出された反跳核を直接にタンタル箔上に捕獲し線源として使用する。また、重イオン核反応では放射線の発生源をターゲットとビーム・ストッパーの近傍に局在化できるので、その遮蔽が簡単である。その結果、測定器を含めての装置全体をコンパクトに組み上げることができる。勿論、テープ方式とは異なり、捕獲箔を繰り返して使用するので、残留放射能の累積が問題となる。本装置は半減期1分の核種を分析することを目標に試作したものであり、その適用の限界を見極めることも試作の目的の一つである。

第1章で装置のバンドパス・フィルターとしての機能と装置の概略を述べる。第2章で実験例でその性能の一端を紹介し、最後に性能を評価して今後の改良の方向を示す。

尚、この研究は原研オリエンテッド協力研究に基づくものであるが、業務の主たる分担者を以下に記しておく。

装置の設計 : 石井, 牧島
装置の製作 : 牧島, 石井
制御系 : 石井, 牧島, 大島
データ収集系 : 大島, 菊池, 足立
実験立案 : 牧島, 石井, 武谷, 足立, 小川, 大島
加速器担当 : 峰原, 大島, 菊池

1. 回転式バンドパス・フィルター

回転式バンドパス・フィルターの原理を Fig. 1 に示す。重イオン核反応によって大きな運動量を賦与された反応生成物は反跳を受け、ターゲットからビーム方向に放出される。反跳核を金属箔で捕獲する。一方ビームは箔を通過する。一定時間の収集が終ると、箔上の放射能を2つのγ線検出器で相次いで計測して、各々のγ線の減衰の程度を定量する。装置を小型化するために3枚の箔を反復して使用する。

この機械は二つの機能を有する。その一つは反応生成物の放射能の減衰の仕方から平均的寿命を算出することであり、他の一つは反跳核の収集時間で決まるある帯域の半減期で減衰する放射線を選択的に強調して、その分析を容易にすることである。即ちフィルターの機能を有する。この点をもう少し詳しく説明する。放射能の平均寿命 t は照射時間を単位として表わすものとする。ビーム電流一定の条件のもとで照射したとき、単位時間後の放射能は飽和値の $(1 - \exp(-1/t))$ 倍となる。その後第1の検出器で単位時間だけ測定したとすると、その間に記録される計数は

$$t [1 - \exp(-1/t)]^2$$

に比例する。その後、更に第2の検出器で単位時間観測するとその計数は

$$t \exp(-1/t) [1 - \exp(-1/t)]^2$$

に比例した値を指示する。

Fig. 2 に各検出器の応答函数を描いておく。第1の検出器は $t = 0.80$ で最大の応答を示す。また $t \rightarrow 0$ の極限では t に比例した振舞をし、 $t \rightarrow \infty$ ではそれに反比例した選別を行う。この様子は低域通過型のRC回路と高域通過型のそれとからなるフィルターに酷似している。この図からフィルターの応答がその最大値の $1/2$ の値を示す t の値が $t = 0.2$, 4 であることが判る。これは半減期に換算するとフィルター時定数の $1/7$ と3倍とに相当する。図の点線は検出器IIの応答の検出器Iのそれに対する比である。これまでの議論は捕獲箔を反復して使用することによる残留放射能の累積効果を無視したが、これを考慮すると、箔を反復して使用する回数に従って最大の応答を示す位置が $t = 0.80$ より大きい所に移動して行く。それ故短寿命核を分析するときには統計を上げるために何回も繰返して使用せざるをえないが、長寿命核の蓄積が問題となるであろう。データの収集に最低1000秒間要すると仮定し、その間10回転するものとする、この装置を適用することができる核は平均寿命で30秒程度と推定することができる。

次の装置の概略を述べる。装置はターゲット、キッチャー・ホイールとそれを固定して回転する円板、円板を収納する真空槽、そして円板の駆動部とから構成されている。ターゲットは真空槽壁を利用してキッチャー・ホイールの5mm前に設置する。キッチャー・ホイールはタンタル製の枠に挟んでアルミ製の円板 ($217 \text{ mm}^{\phi} \times 3 \text{ mm}^t$) に固定する。60°おきに6枚の枠を留める

ことができる。Fig. 3に示すように円板には慣性率を小さくするためにその周辺部に直径50mmの穴を6箇所あけてある。真空槽はリング状のSUS 304製の隔壁と2枚のフランジとからなり外法 $380\text{mm}^{\phi} \times 30\text{mm}^t$ を有する。各フランジには3箇の円形の開口部が対称に配置されており、その一対を重イオンビームが通過する。ビーム上流側の穴にはビームラインに接続するためのニップルが付き、その締結部分にターゲットを固定するための支持金具が取付けられている。下流側にはビーム・ストッパーとビーム監視用のビューワーを兼ねた石英板を入れたアダプターが続く。下流側のフランジの他の2箇の穴は γ 線の計測用で、0.5mm厚の窓をもつSUS製のフランジで封じる。上流の2箇の窓は必要に応じて内部変換電子や陽電子・X線を検出するための予備の穴である。現在はその一つに内部変換電子用の分析器を設置している。

円板の駆動はステッピングモータで行い、貫通型の回転導入素子を用いて直接に動力を伝達した。ステッピングモータは山洋電気製の2相励磁のもの(型番103-880-11; 2° /ステップ)である。駆動制御はオリエンタルモータ製のPC-04で行う。円板の回転角はステップ数を予め設定することによって行い、始動・停止・逆転・リセットの操作は手動または外部信号によって行える。連続的に測定するためのシーケンスはLSI-11をベースにした波高分析器TN 4000 (Tracor Northern 社製)とリンクして組む。円板を 120° 回転するのに要する時間は約2.5秒である。

フランジの封止はICF 70のフランジとミニフランジを用いることが出来る場所以外は全てバイトン“0”リングで行った。真空槽は高々 100°C までしか脱ガス処理を施すことができないので、ガス放出量は $10^{-5}\text{ torr}\cdot\text{l}$ 程度である。残留ガスを質量分析した結果殆んどが水であった。

真空槽はY字型支持金具を用いて架台に固定する。支持金具には $10 \times 10 \times 5\text{ cm}^3$ の鉛を取付けることができ、ターゲットやビーム阻止用石英板からの放射線や、所定の線源以外からの放射線が混入することを遮蔽することができる。

Fig. 4にビームの下流から見た回転式バンドパス・フィルターを示す。手前側に、 γ 線計測用窓が2つあり、向う側に、内部変換電子用磁気フィルターを納めたチェンバーとSi(Li)検出器を冷却するゴールドフィンガーが見える。

2. 実 験 例

バンドパス・フィルターの性能を判断する資料として、それを用いて ^{74}Se のE0遷移を探索した実験を紹介する。

^{35}Cl ビームで ^{46}Ti を照射してBrのアイソトープを生成した。入射粒子のエネルギーは155 MeVであり、その平均電流は17 pAであった。反跳核は、先ずターゲット直後に置いたTa箔($1.5\mu\text{m} \times 2$)で減速し、ひきつゞき捕獲用のTa箔($1.5\mu\text{m} \times 2$)で収集した。箔を2群に分割した理由は、内部変換電子を観測するので電子のストラグリングを小さくするためである。

放射線は2台のGe検出器($\sim 50\text{ cm}^3$)の他に電子用磁気フィルターとSi(Li)検出器とか

ことができる。Fig. 3に示すように円板には慣性能率を小さくするためにその周辺部に直径50mmの穴を6箇所あけてある。真空槽はリング状のSUS 304製の隔壁と2枚のフランジとからなり外法 $380\text{mm}^{\phi} \times 30\text{mm}^t$ を有する。各フランジには3箇の円形の開口部が対称に配置されており、その一対を重イオンビームが通過する。ビーム上流側の穴にはビームラインに接続するためのニップルが付き、その締結部分にターゲットを固定するための支持金具が取付けられている。下流側にはビーム・ストッパーとビーム監視用のビューワーを兼ねた石英板を入れたアダプターが続く。下流側のフランジの他の2箇の穴は γ 線の計測用で、0.5mm厚の窓をもつSUS製のフランジで封じる。上流の2箇の窓は必要に応じて内部変換電子や陽電子・X線を検出するための予備の穴である。現在はその一つに内部変換電子用の分析器を設置している。

円板の駆動はステッピングモータで行い、貫通型の回転導入素子を用いて直接に動力を伝達した。ステッピングモータは山洋電気製の2相励磁のもの(型番103-880-11; 2° /ステップ)である。駆動制御はオリエンタルモータ製のPC-04で行う。円板の回転角はステップ数を予め設定することによって行い、始動・停止・逆転・リセットの操作は手動または外部信号によって行える。連続的に測定するためのシーケンスはLSI-11をベースにした波高分析器TN 4000 (Tracor Northern 社製)とリンクして組む。円板を 120° 回転するのに要する時間は約2.5秒である。

フランジの封止はICF 70のフランジとミニフランジを用いることが出来る場所以外は全てバイトン“0”リングで行った。真空槽は高々 100°C までしか脱ガス処理を施すことができないので、ガス放出量は $10^{-5}\text{ torr}\cdot\text{l}$ 程度である。残留ガスを質量分析した結果殆んどが水であった。

真空槽はY字型支持金具を用いて架台に固定する。支持金具には $10 \times 10 \times 5\text{ cm}^3$ の鉛を取付けることができ、ターゲットやビーム阻止用石英板からの放射線や、所定の線源以外からの放射線が混入することを遮蔽することができる。

Fig. 4にビームの下流から見た回転式バンドパス・フィルターを示す。手前側に、 γ 線計測用窓が2つあり、向う側に、内部変換電子用磁気フィルターを納めたチェンバーとSi(Li)検出器を冷却するゴールドフィンガーが見える。

2. 実 験 例

バンドパス・フィルターの性能を判断する資料として、それを用いて ^{74}Se のE0遷移を探索した実験を紹介する。

^{35}Cl ビームで ^{46}Ti を照射してBrのアイソトープを生成した。入射粒子のエネルギーは155 MeVであり、その平均電流は17 pAであった。反跳核は、先ずターゲット直後に置いたTa箔($1.5\mu\text{m} \times 2$)で減速し、ひきつゞき捕獲用のTa箔($1.5\mu\text{m} \times 2$)で収集した。箔を2群に分割した理由は、内部変換電子を観測するので電子のストラグリングを小さくするためである。

放射線は2台のGe検出器($\sim 50\text{ cm}^3$)の他に電子用磁気フィルターとSi(Li)検出器とか

らなる内部変換電子分析器〔2〕を用いて計測した。各々の γ 線検出器は線源から約5 cmの位置に設置した。磁気フィルターは γ 線遮蔽体としてのタングステン合金（比重：18.7, $23\text{mm}^{\phi} \times 35\text{mm}$ ）と6枚のランタネット磁石（ $BH_{\text{max}} = 20\text{Mgauss} \cdot \text{oersted}$, $20 \times 25 \times 3\text{mm}^2$ ）とから構成されている。このフィルターは8枚の磁石が対称に配置されたFig. 5のものから対角線上にある2枚を取り除いたもので、Fig. 6に示すような収集効率を持つ。Si(Li)検出器の有効寸法は $30\text{mm}^{\phi} \times 1.5\text{mm}^2$ である。そのエネルギー分解能（3.5 keV fwhm 対 975.6 keV 電子線）は静電容量によって決められているが、実験中には捕獲箱中での電子のストラグリングによる効果が分解能を支配する。

実験は測定期間と円板を回転するためについやす期間が40秒/10秒である時系列と4000秒/200秒である場合について実施した。ターゲットの正確な照射時間は1回の繰返しに要する時間から捕獲箱を1ステップ回転するのに要する時間2.5秒を減じた値である。前者の測定は計80回繰返し、後者は計8回に亘って測定した。

さて以下に於て得られた結果を説明するが、 γ 線に関しては ^{74}Se に直接関係のある4000秒/200秒の時系列の結果で代表する。放射能の生成量の目安を与えるために第1の検出器で計数された γ 線スペクトルをFig. 7に与えておく。これから μCi オーダーの放射能が生成されているものと推定できる。次に観測された γ 線をその半減期によって分類する簡便な方法をFig. 8に示す。半対数方眼紙の横軸に γ 線のエネルギーをとり縦軸とその相対強度をとる。第1の検出器で記録された強度を対応するエネルギーの位置にプロットする。第2の検出器で測定された強度を一定間隔、ここでは100 keVだけ右方に移行した点にプロットし、この2点を直線で結ぶ。同一半減期をもつものは、平行な半直線のグループを形成し容易に類別することができる。半減期の値は、フィルターの時定数に比べて長い半減期をもつ γ 線の減衰を基準にして測ることにより、直ちに求めることができる。検出器の検出効率を補正して得た各 γ 線の半減期をTable 1の左側の部分に記載しておく。右半分にALICE〔3〕による計算結果と実験結果を照合することによって同定しえた γ 線の属する核種と既知のデータを要約しておく。同様に時系列40秒/10秒の測定に対して得た結果をTable 2に示す。Fig. 8やTable 1, 2から、バンドパス・フィルターがその時定数のおよそ $1/5$ 乃至5倍の範囲で予想通り有効に機能していることが判る。

Fig. 9は4000秒/200秒の時系列の測定で得られた内部変換電子スペクトルである。エネルギーの低い領域では数本の内部変換電子が観測されているが、高いエネルギー領域ではその数が激減する。これは内部変換係数の遷移エネルギーへの依存性を反映したもので、中重核に於ては500 keV以上で観測される内部変換電子の大半は強いE2遷移に対応するものか、或はE0か高い多重極度（ ≥ 4 ）の遷移に対応する。Fig. 9の206 keVと622 keVの電子は $^{74\text{m}}\text{Br}$ の崩壊によって導かれた ^{74}Se の励起状態からの遷移で、それぞれE2 ($0_2^+ \rightarrow 2^+$)とE2 ($2^+ \rightarrow 0_1^+$)とである。841 keVのピークは対応する γ 線が見い出せないこと、半減期が $^{74\text{m}}\text{Br}$ と一致することから ^{74}Se のE0遷移と断定した。

同様にFig. 10は40秒/10秒の時系列の測定で得た内部変換電子のスペクトルである。622 keVの電子線は上述の ^{74}Se のE2 ($2^+ \rightarrow 0_1^+$)遷移である。924 keVのピークはエネルギーに関しては ^{72}Se のE0遷移と一致するが、半減期が相異なる。 ^{72}Br の基底状態は1.3分の半減

期を有するが、観測された変換電子の半減期は3～5分である。この遷移は ^{72}Br のアイソマーからの崩壊によるものと考えられるが未確認である。

以上の実験で得られた物理的情報を要約すると、 ^{74}Se のE2 ($0_2^+ \rightarrow 2^+$)と比較することによってE0遷移の換算遷移強度は、 $X = (1.4 \pm 0.2) \times 10^{-2}$ である。一つは ^{74}Br (寄一寄核)のアイソマー (4^- , 41分) が強く生成されている事実である。

前者に関しては別の論文[4]で 0_2^+ 状態について議論しているので、ここでは割愛する。後者の事実は ^{35}Cl が持込んだ大きな角運動量によってアイソマーをバンドヘッドとするイラストラインが強く励起されていることを示唆している。この点に関しては、新に開発したインビーム核分光用の粒子識別器[5]を用いて行った最近の実験で確認した。その概要をここに述べておく。実験は ^{74}Se のE0遷移の探査と同様に、入射粒子 ^{35}Cl とターゲット ^{46}Ti との組合せで行った。但し入射エネルギーは140 MeVである。 ^{74}Br は(α , 2p, n)を放出する反応で生成されるものとして、 α とpと同時に計数される γ 線を選別した。粒子識別器は3箇のMOS型Si検出器(直径40mm)[6]からなり、各検出器は全立体角の約5%の明るさを持つ。その結果得られた γ 線スペクトルは、 ^{74}Br のイラストバンドをカスケードに遷移している様子を如実に示している。

3. 結 論

本論文で述べた回転式バンドパス・フィルターは、その時定数の $1/5$ 乃至5倍の平均寿命をもつ核種を有効に選別することが実証された。実用に適する半減期の下限は30秒程度と考えられる。この装置は短寿命核の核分光学的研究のみならず、核反応生成物の収量の測定を通じて反応機槽の解明にも役立つであろう。これらの研究はそれ自体で有意義であるが、加えて新しい核種の高励起状態を研究する上での端緒を与え得る。

尚1秒以下の非常に短い半減期をもつ核種に対しては、この装置をオンビーム的に使用することでその適用限界を拡張することを計画している。この場合にも捕獲用金属箔を回転して交換することにより、長寿命の残留放射能の蓄積を低減することを計る。

謝 辞

協力研究を実施するに際して、物理部長原田吉之助、核物理第1研究室々長鹿園直基、加速管理室々長丸山倫夫の諸氏の多大な助言と助力を得たことに深謝する。また鹿園室長と竹腰英子主任研究員には原稿の査読をお願いした。ここにその労を謝す。

期を有するが、観測された変換電子の半減期は3～5分である。この遷移は ^{72}Br のアイソマーからの崩壊によるものと考えられるが未確認である。

以上の実験で得られた物理的情報を要約すると、 ^{74}Se のE2 ($0_2^+ \rightarrow 2^+$)と比較することによってE0遷移の換算遷移強度は、 $X = (1.4 \pm 0.2) \times 10^{-2}$ である。一つは ^{74}Br (寄一寄核)のアイソマー (4^- , 41分) が強く生成されている事実である。

前者に関しては別の論文[4]で 0_2^+ 状態について議論しているので、ここでは割愛する。後者の事実は ^{35}Cl が持込んだ大きな角運動量によってアイソマーをバンドヘッドとするイラストラインが強く励起されていることを示唆している。この点に関しては、新に開発したインビーム核分光用の粒子識別器[5]を用いて行った最近の実験で確認した。その概要をここに述べておく。実験は ^{74}Se のE0遷移の探査と同様に、入射粒子 ^{35}Cl とターゲット ^{46}Ti との組合せで行った。但し入射エネルギーは140 MeVである。 ^{74}Br は(α , 2p, n)を放出する反応で生成されるものとして、 α とpと同時に計数される γ 線を選別した。粒子識別器は3箇のMOS型Si検出器(直径40mm)[6]からなり、各検出器は全立体角の約5%の明るさを持つ。その結果得られた γ 線スペクトルは、 ^{74}Br のイラストバンドをカスケードに遷移している様子を如実に示している。

3. 結 論

本論文で述べた回転式バンドパス・フィルターは、その時定数の $\frac{1}{5}$ 乃至5倍の平均寿命をもつ核種を有効に選別することが実証された。実用に適する半減期の下限は30秒程度と考えられる。この装置は短寿命核の核分光学的研究のみならず、核反応生成物の収量の測定を通じて反応機槽の解明にも役立つであろう。これらの研究はそれ自体で有意義であるが、加えて新しい核種の高励起状態を研究する上での端緒を与え得る。

尚1秒以下の非常に短い半減期をもつ核種に対しては、この装置をオンビーム的に使用することでその適用限界を拡張することを計画している。この場合にも捕獲用金属箔を回転して交換することにより、長寿命の残留放射能の蓄積を低減することを計る。

謝 辞

協力研究を実施するに際して、物理部長原田吉之助、核物理第1研究室々長鹿園直基、加速管理室々長丸山倫夫の諸氏の多大な助言と助力を得たことに深謝する。また鹿園室長と竹腰英子主任研究員には原稿の査読をお願いした。ここにその労を謝す。

期を有するが、観測された変換電子の半減期は3～5分である。この遷移は ^{72}Br のアイソマーからの崩壊によるものと考えられるが未確認である。

以上の実験で得られた物理的情報を要約すると、 ^{74}Se のE2 ($0_2^+ \rightarrow 2^+$)と比較することによってE0遷移の換算遷移強度は、 $X = (1.4 \pm 0.2) \times 10^{-2}$ である。一つは ^{74}Br (寄一寄核)のアイソマー (4^- , 41分) が強く生成されている事実である。

前者に関しては別の論文[4]で 0_2^+ 状態について議論しているので、ここでは割愛する。後者の事実は ^{35}Cl が持込んだ大きな角運動量によってアイソマーをバンドヘッドとするイラストラインが強く励起されていることを示唆している。この点に関しては、新に開発したインビーム核分光用の粒子識別器[5]を用いて行った最近の実験で確認した。その概要をここに述べておく。実験は ^{74}Se のE0遷移の探査と同様に、入射粒子 ^{35}Cl とターゲット ^{46}Ti との組合せで行った。但し入射エネルギーは140 MeVである。 ^{74}Br は(α , 2p, n)を放出する反応で生成されるものとして、 α とpと同時に計数される γ 線を選別した。粒子識別器は3箇のMOS型Si検出器(直径40mm)[6]からなり、各検出器は全立体角の約5%の明るさを持つ。その結果得られた γ 線スペクトルは、 ^{74}Br のイラストバンドをカスケードに遷移している様子を如実に示している。

3. 結 論

本論文で述べた回転式バンドパス・フィルターは、その時定数の $1/5$ 乃至5倍の平均寿命をもつ核種を有効に選別することが実証された。実用に適する半減期の下限は30秒程度と考えられる。この装置は短寿命核の核分光学的研究のみならず、核反応生成物の収量の測定を通じて反応機槽の解明にも役立つであろう。これらの研究はそれ自体で有意義であるが、加えて新しい核種の高励起状態を研究する上での端緒を与え得る。

尚1秒以下の非常に短い半減期をもつ核種に対しては、この装置をオンビーム的に使用することでその適用限界を拡張することを計画している。この場合にも捕獲用金属箔を回転して交換することにより、長寿命の残留放射能の蓄積を低減することを計る。

謝 辞

協力研究を実施するに際して、物理部長原田吉之助、核物理第1研究室々長鹿園直基、加速管理室々長丸山倫夫の諸氏の多大な助言と助力を得たことに深謝する。また鹿園室長と竹腰英子主任研究員には原稿の査読をお願いした。ここにその労を謝す。

References

- [1] J. H. Hamilton, Studies of nuclei far from stability with heavy ions, Reaction Between Complex Nuclei edited by R. C. Robinson et al (North-Holland, 1974) vol. 2, p.p. 501-528.
- [2] M. Ishii, Nucl. Instr. Meth. 127(1975)53.
- [3] The code "ALICE" developed by M. Blann and F. Plasil. Refer to F. Plasil and M. Blann, Phys. Rev. C 11(1975)508, and S. Baba and T. Sekine, "ALICE" code manual, JAERI-M-7768 (1978).
- [4] A. Makishima, M. Ishii, M. Adachi, M. Ohshima and H. Taketani, E0 transition in Se isotope, in preparation.
- [5] M. Ishii and A. Makishima, Particle identification for in-beam spectroscopy with heavy ions, in preparation.
- [6] H. Ishizuka, M. Ishii and A. Makishima, MOS type of Si detectors, in preparation.

Table 1 Decay constants of gamma-rays observed in the time sequence of 4,000 sec / 200 sec. See text.

E_{γ} (keV)	T(1/2)	Decay	T(1/2)	$(J\pi)_i \rightarrow (J\pi)_f$
219.3	44.1 ± 1.9 m	74m Br → Se	41 m	$0_2^+ \rightarrow 2_1^+$
270.5	10.2 ± 5.8 h	76 Kr → Br	14.8h	$1_1^+ \rightarrow 0, 1, 2^+$
276.3	83.6 ± 8.5 m	77 Kr → Br	75 m	$(3/2)^+ \rightarrow 3/2^-$
286.7	97.9 ± 8.6 m	75 Br → Se	98 m	$3/2_1^- \rightarrow 5/2^+$
293.1	101 ± 13 m	75 Br → Se	98 m	$(3/2)^- \rightarrow 1/2^-$
312.2	73.0 ± 5.8 m	77 Kr → Br	75 m	$(7/2^+) \rightarrow 9/2^+$
315.8	5.8 ± 1.9 h			
361.0	4.9 ± 1.3 h	73 Se → As	7.1h	$9/2^+ \rightarrow 5/2^-$
377.6	100 ± 11 m	75 Br → Se	98 m	$5/2_2^- \rightarrow 3/2_1^-$
406.0	9.7 ± 5.6 h	76 Kr → Br	14.8h	$1_3^+ \rightarrow 0, 1, 2^-$
428.0	119 ± 15 m	75 Br → Se	98 m	$5/2_1^- \rightarrow 5/2^+$
431.9	81.6 ± 7.6 m	75 Br → Se	98 m	$3/2_3^- \rightarrow 5/2_1^-$
452.8	10.5 ± 7.1 h	76 Kr → Br	14.8h	$1_3^+ \rightarrow 1^-$
520.9	84.1 ± 8.2 m			
559.3	4.1 ± 0.9 h			
615.4	39.8 ± 1.5 m	74m Br → Se	41 m	$(3^+) \rightarrow 2^+$
634.8	41.1 ± 1.5 m	74m Br → Se	41 m	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$
657.2	4.9 ± 1.4 h			
668.4	51.7 ± 2.5 m	70 As → Ge	53 m	$2_2^+ \rightarrow 2_1^+$
728.5	42.3 ± 1.6 m	74m Br → Se	41 m	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$
734.2	81.5 ± 11.2m	77 Kr → Br	75 m	$\rightarrow 5/2^+$
743.9	41.9 ± 2.3 m	74m Br → Se	41 m	$(4_2^+) \rightarrow 4_1^+$
804.0				
834.4	> 40,000 s			
839.3	48.3 ± 2.3 m	74m Br → Se	41 m	$(4_2^+) \rightarrow 2_2^+$
847.1				
889.9	34.5 ± 2.3 m			
906.0	52.8 ± 3.1 m	70 As → Ge	53 m	$(4_2^+) \rightarrow 4_1^+$
985.1	40.3 ± 1.9 m	74m Br → Se	41 m	$(2_3^+) \rightarrow 0_2^+$
1039.7	50.3 ± 2.3 m	70 As → Ge	53 m	$2_1^+ \rightarrow 0_1^+$
1113.8	46.3 ± 2.1 m	70 As → Ge	53 m	$4_1^+ \rightarrow 2_1^+$
1200.3	42.0 ± 2.0 m	74m Br → Se	41 m	$\rightarrow 4_1^+$
1249.6	38.4 ± 1.4 m	74m Br → Se	41 m	$(3^+) \rightarrow 2_1^+$
1269.1	40.0 ± 1.5 m	74m Br → Se	41 m	$2_2^+ \rightarrow 0_1^+$

Table 2 Decay constants of gamma-rays observed in the time sequence of 40 sec / 20 sec. See text.

E (keV)	T(1/2)	Decay
125.6	2.2 ± 0.8 m	73 Br \rightarrow Se
129.7	6.7 ± 3.6 m	\rightarrow
132.6	10.0 ± 9.1 m	75 Kr \rightarrow Br
147.0		
154.8		
167.1	≥ 500 s	
179.0	3.1 ± 1.5 m	77 Rb \rightarrow Kr
197.4	53.3 ± 5.6 s	
219.3	4.1 ± 2.5 m	75 Kr \rightarrow Br
286.8	≥ 500 s	75 Br \rightarrow Se
336.0	28.4 ± 1.6 s	
361.1	≥ 500 s	73 Se \rightarrow As
455.1	2.7 ± 0.7 m	72 Br \rightarrow Se
615.1	3.0 ± 1.3 m	
634.9	4.4 ± 1.4 m	
728.7	4.3 ± 1.5 m	
744.2	4.7 ± 3.1 m	
847.2	7.9 ± 4.8 m	
1039.9	3.2 ± 0.9 m	

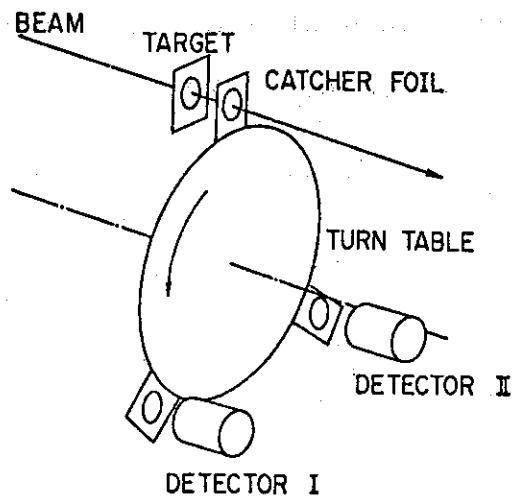


Fig.1. A schematic drawing of the rotary bandpass filter for lifetime measurements.

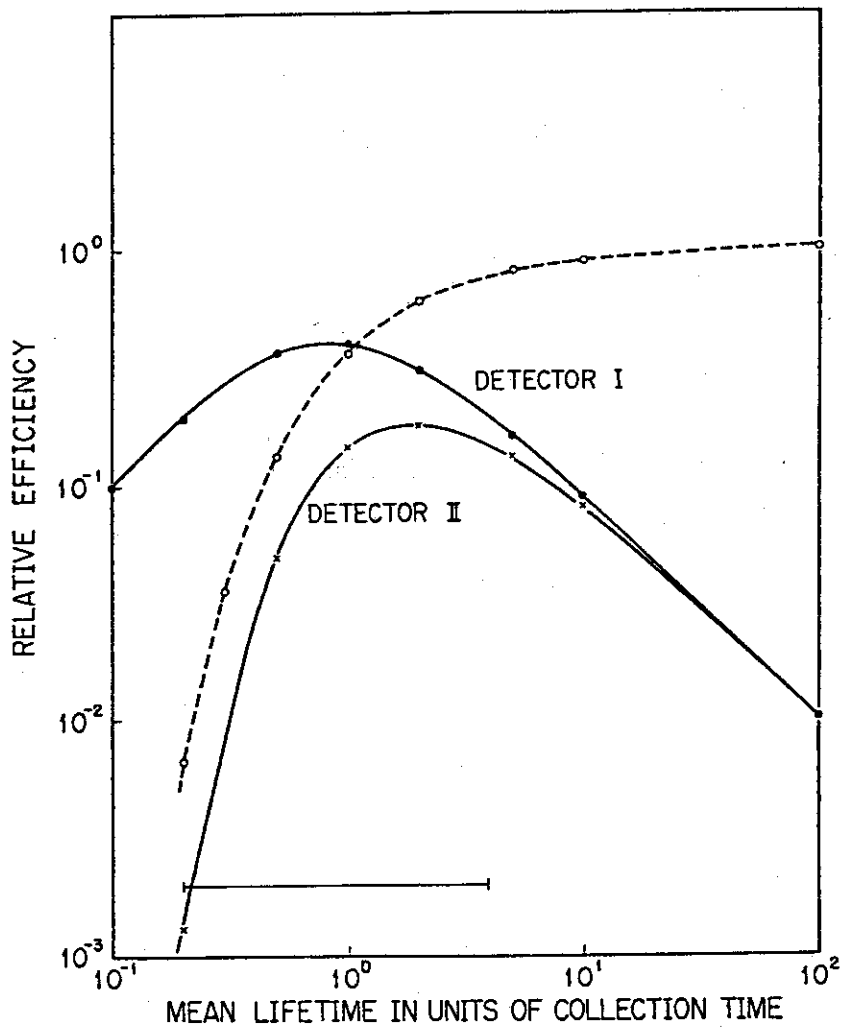


Fig.2. Response of the bandpass filter to the mean lifetime. The mean lifetime is expressed in units of the collection time. The line in the bottom of the figure indicates the full width at half maximum of the response curve.

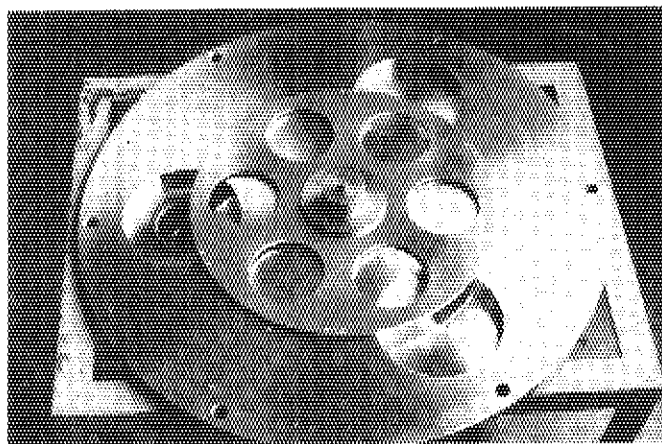


Fig. 3. The turntable of the bandpass filter. Six holes were made in the peripheral region of the turntable in order to reduce its moment of inertia.

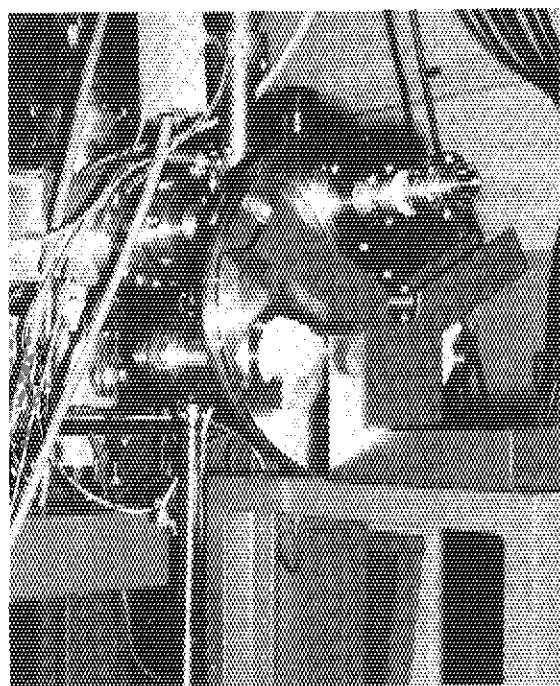


Fig. 4. A picture of the bandpass filter viewed against the direction of the projectile beams.

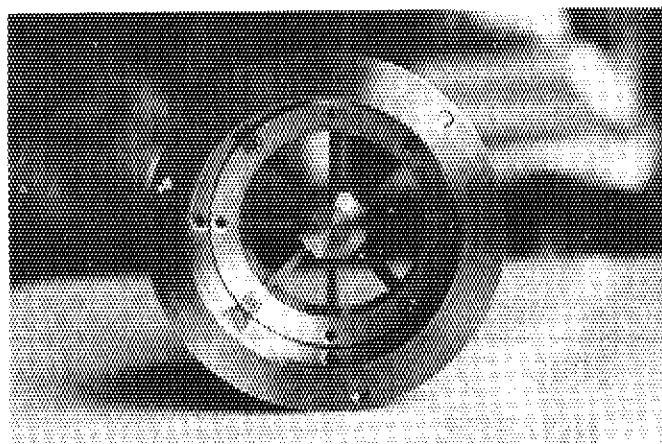


Fig. 5. A magnetic filter for internal conversion electrons. It consisted of eight pieces of magnets with a dimension of $20 \times 25 \times 3 \text{ mm}^3$. Two diagonal magnets were removed from it in the experiments of searching for $E0$ transitions in Se isotopes.

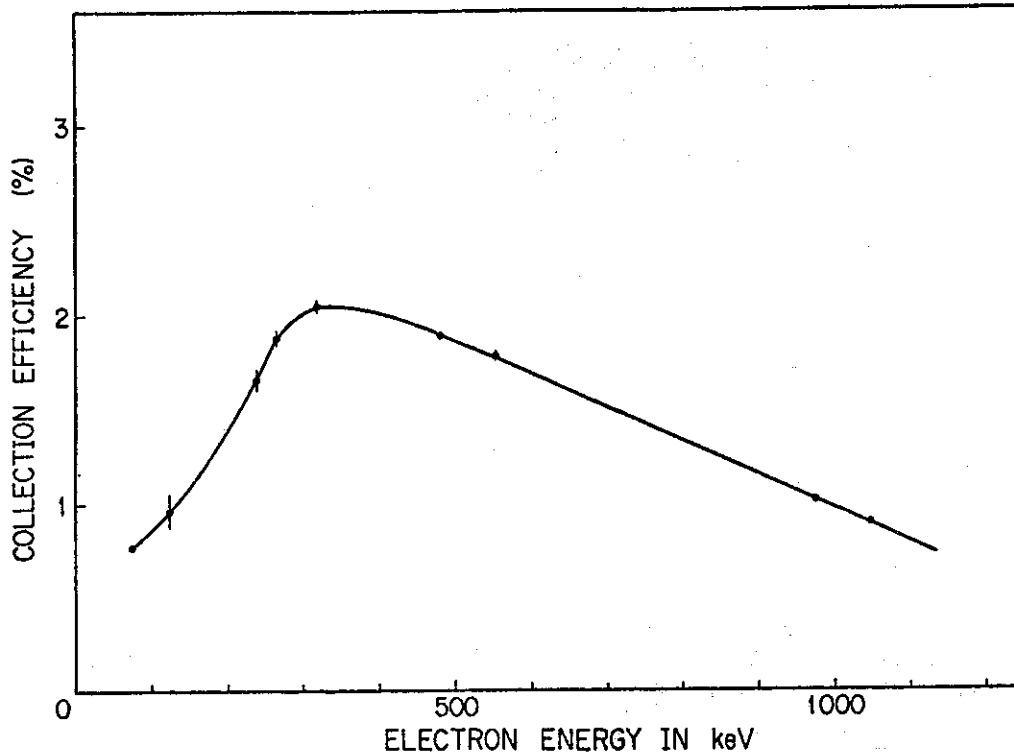


Fig. 6. Collection efficiency of the magnetic filter. The magnetic filter described in the caption of fig. 5 was combined with a Si (Li) detector of 30 mm in diameter. The source to detector distance was 80 mm.

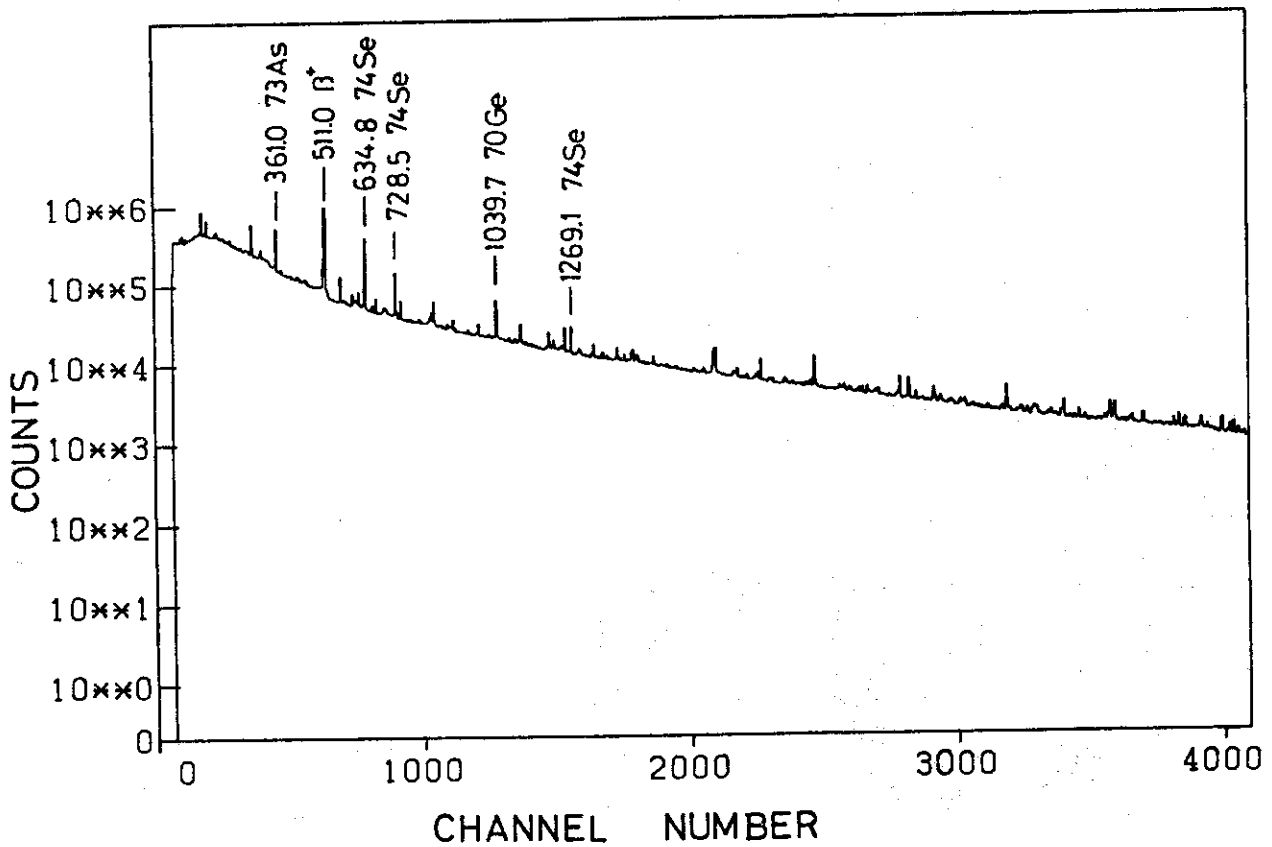


Fig. 7. Gamma-ray spectrum taken by the first gamma-ray detector in the time sequence of 4.000 sec/200 sec. The conversion rate of channel numbers to energy is 0.824 keV/ch.

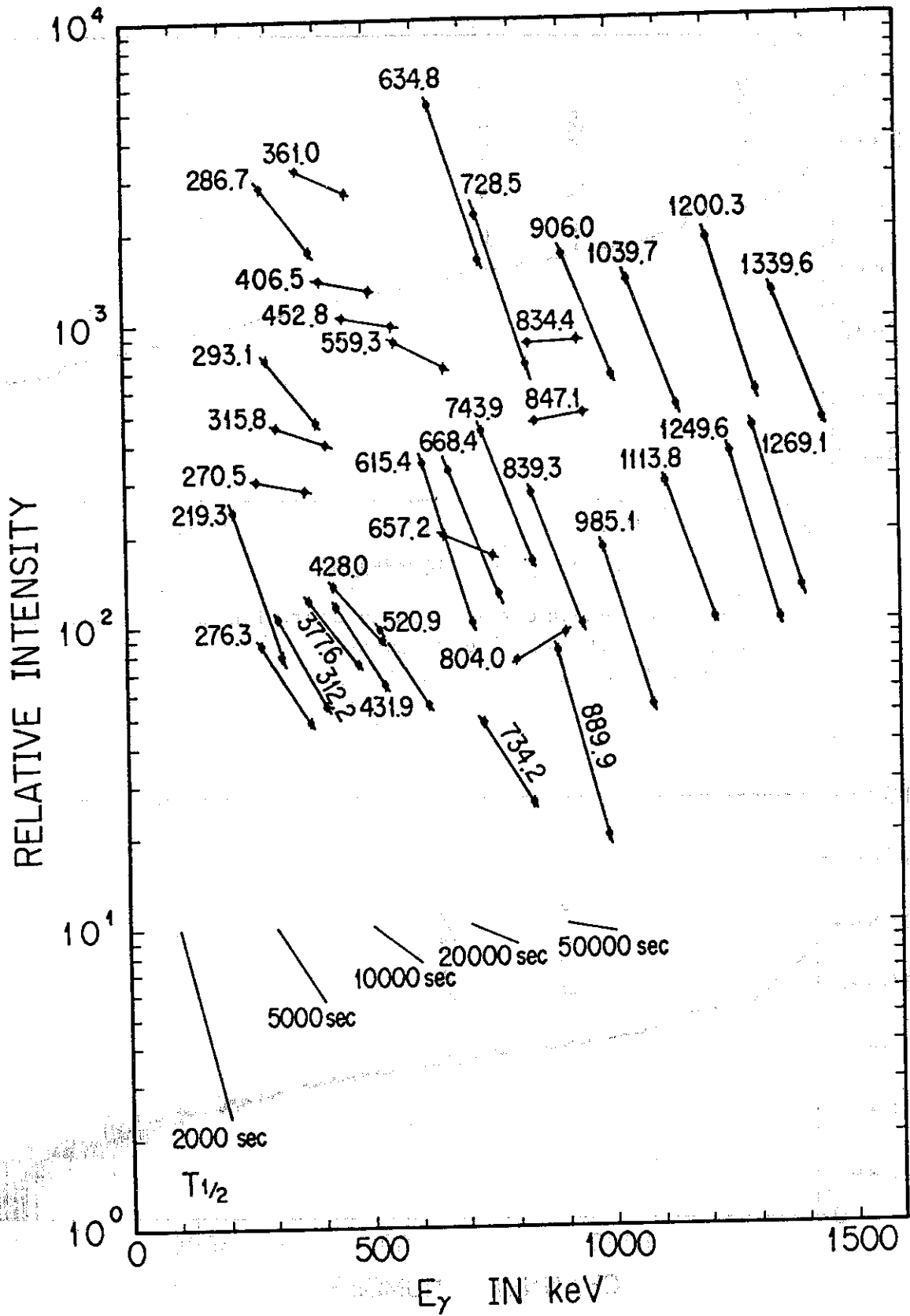


Fig. 8. Decay curves of gamma-rays observed in the time sequence of 4.000 sec/200 sec. The figures attached to the lines denote energies of gamma-rays in units of keV.

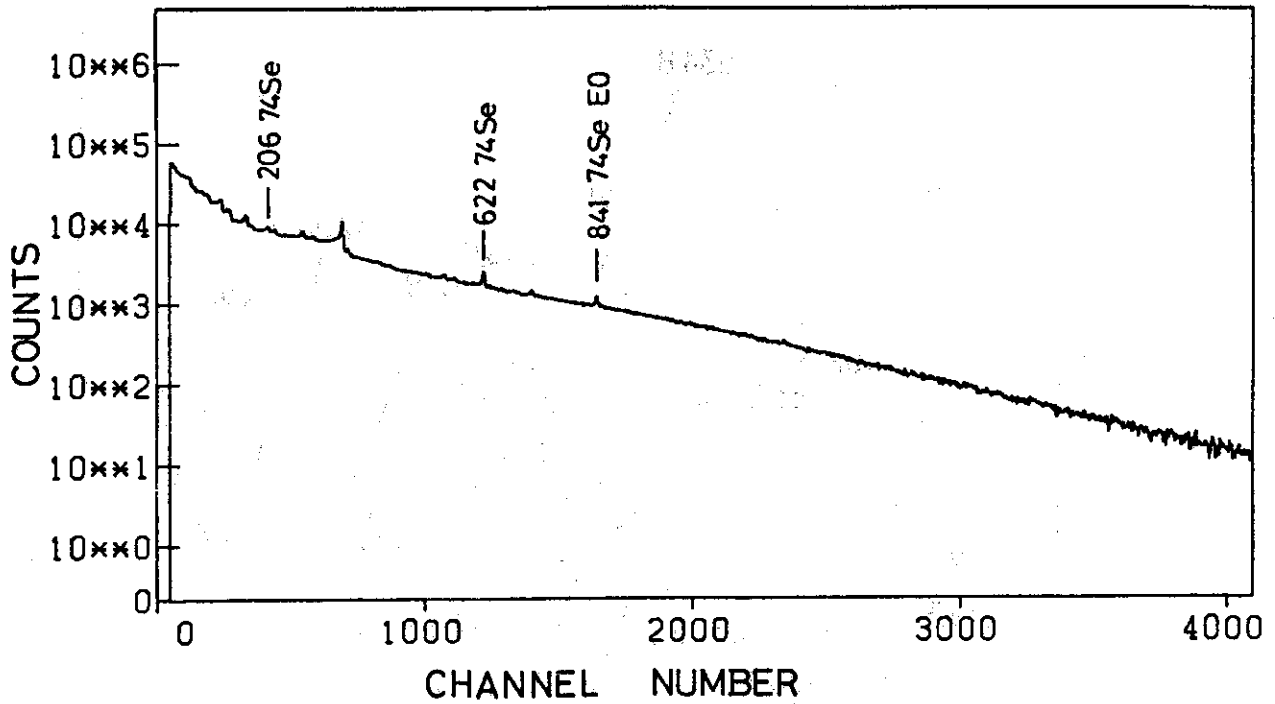


Fig. 9. Internal conversion electron spectrum observed in the time sequence of 4.000 sec/200 sec. The conversion rate of channel numbers to energy is 0.50 keV/ch.

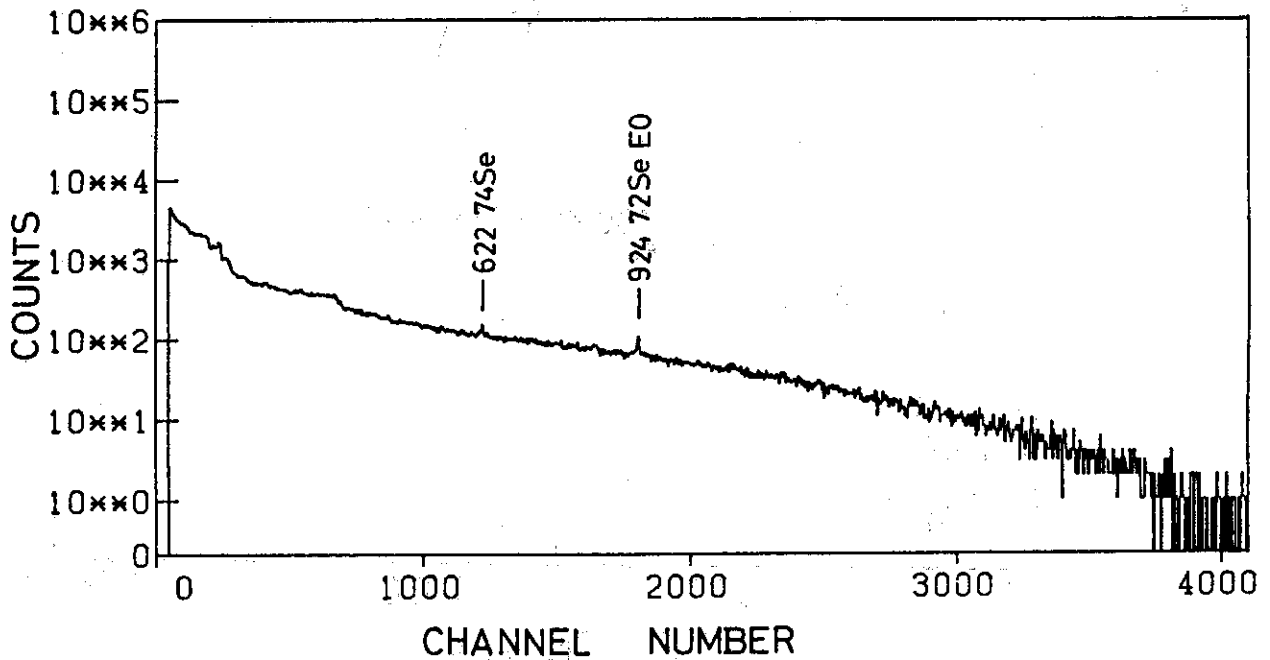


Fig. 10. Internal conversion electron spectrum observed in the time sequence of 40 sec/10 sec. The conversion rate of channel numbers to energy is 0.50 keV/ch.