903

JAERI-M

7567

NEANDC(J)-54/AL
INDC(JAP)-40/G

Evaluation of Gamma-Ray Intenstities

by Y. Yoshizawa et al.

ガンマ線強度の評価

（委託調査）

1978年3月

吉沢康和*・井上　光*・星　正治*
静間　清*・岩田洋世*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は，日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして，不定期に刊行している研究報告書です．入手，複製などのお問合わせは，日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて，お申しこしください．

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ガンマ線強度の評価

日本原子力研究所東海研究所シグマ研究委員会
吉沢康和*

広島大学理学部
井上　光・星　正治・静間　清・岩田洋世

（１９７８年１月３１日受理）

本報告は，ガンマ線の崩壊あたりの強度と相対強度に関する文献調査と評価を行った結果をまとめたものである。評価した核種は，^{22}Na,^{24}Na,^{46}Sc,^{48}Sc,^{48}V,^{54}Mn,^{57}Co,^{60}Co,^{85}Sr,^{88}Y,^{95}Nb,^{95}Zr,^{108m}Ag,^{134}Cs,^{137}Cs,^{144}Ce,^{144}Pr,^{203}Hg,^{207}Biである。このうち８つの核種については半減期の評価値も求めた。

この報告書は，昭和５０年度及び５１年度に日本原子力研究所より広島大学に委託した調査の報告書を改めて一つの報告書にまとめたものである。

＊　広島大学理学部

JAERI-M 7567

Evaluation of Gamma-Ray Intensities

Yasukazu YOSHIZAWA*
Japanese Nuclear Data Committee, Tokai, JAERI
and
Hikaru INOUE, Masaharu HOSHI, Kiyoshi SHIZUMA and Yosei IWATA
Faculty of Science, Hiroshima University, Hiroshima

(Received January 31, 1978)

Results of literature survey and evaluation of relative intensities and intensities per decay of gamma rays are presented. Evaluations were made for ^{22}Na, ^{24}Na, ^{46}Sc, ^{48}Sc, ^{48}V, ^{54}Mn, ^{57}Co, ^{60}Co, ^{85}Sr, ^{88}Y, ^{95}Nb, ^{95}Zr, ^{108m}Ag, ^{134}Cs, ^{137}Cs, ^{144}Ce, ^{144}Pr, ^{203}Hg, and ^{207}Bi. For eight of the nuclides, the half-lives were also evaluated.

Keywords: Decay, Gamma Ray, Gamma-Ray Intensity, Intensity Evaluation, Half-Lives

---

This report combines the two reports of Hiroshima University on the works entrusted by JAERI in fiscal 1975 and 1976.

* Faculty of Science, Hiroshima University, Hiroshima

Summary: Relative intensities and intensities per decays of gamma rays for 21 nuclides were evaluated. For some of them intensities per decays are nearly 100 % and the source strengths can be accurately determined by the β-γ or X-γ coincidence method. These gamma-ray intensities are almost independent of the gamma-ray intensity measurement. Therefore, these gamma rays are the best basic standards and are listed in the following table of the primary standards. Intensities of other gamma rays which were in requests of the nuclear fuel investigation are evaluated by using observed intensities. Half-lives of eight nuclides were also evaluated in Appendix.

Table 1 Gamma-ray intensities of primary standards

Nuclide	Energy (keV)	Relative intensity (%)	Intensity per decay (%)
^{22}Na	1275		99.94 ±0.02
^{24}Na	1368.6	100.0000	99.9922±0.0010
	2754	99.8836±0.0035	99.8758±0.0034
^{46}Sc	889	99.9953±0.0020	99.9829±0.0017
	1120	100.0000	99.9875±0.0011
^{48}Sc	983	99.9968±0.0015	99.9876±0.0012
	1037	97.53 ±0.16	97.52 ±0.16
	1312	100.0000	99.9908±0.0009
^{48}V	983	100.00	99.9826±0.0013
	1312	97.22 ±0.33	97.20 ±0.33
^{54}Mn	834		99.976 ±0.003
^{57}Co	122.06		85.4 ±0.6
^{60}Co	1173	99.91 ±0.02	99.89 ±0.02
	1332	100.00	99.9813±0.0015
^{85}Sr	514.0		99.0 ±0.3
^{88}Y	1836		99.24 ±0.07
^{95}Nb	766		99.80 ±0.02
^{108m}Ag	434.0	99.36 ±0.09	90.6 ±0.6
	614.4	99.88 ±0.04	91.1 ±0.6
	723.0	100.00	91.2 ±0.6
^{134}Cs	605	100.00	97.50 ±0.07
	796	87.26 ±0.43	85.08 ±0.42
^{139}Ce	165.85		79.83 ±0.20
^{203}Hg	279		81.48 ±0.08
^{207}Bi	569.7		97.71 ±0.03

Table 2 Other gamma-ray intensities

Nuclide	Energy (keV)	Relative intensity (%)	Intensity per decay (%)
^{22}Na	511	178.6 ±0.1	178.5 ±0.1
	1275	100.0 ±0.02	99.94 ±0.02
^{57}Co	14.41	10.64±0.22	9.09±0.18
	122.06	100.0	85.4 ±0.6
	136.47	12.6±0.6	10.8 ±0.5
^{88}Y	898.0	95.0±0.5	94.3 ±0.5
	1836	100.0	99.24±0.07
^{95}Zr	724	80.6 ±0.8	44.04 ±0.24
	757	100.00	54.62 ±0.24
^{106}Ru	512	100	20.5 ±0.6
	616	3.64 ±0.23	0.75 ±0.05
	622	48.1 ±1.1	9.85 ±0.31
	874	2.10 ±0.06	0.431±0.017
	1050	7.36 ±0.21	1.51 ±0.06
	1128	1.94 ±0.05	0.398±0.015
	1562	0.772±0.023	0.158±0.007
^{134}Cs	242	0.020±0.010	0.020±0.010
	326	0.020±0.010	0.020±0.010
	475	1.56 ±0.06	1.52 ±0.08
	563	8.88 ±0.29	8.48 ±0.33
	569	15.7 ±0.5	15.3 ±0.7
	605	100.0 ±3.2	97.50 ±0.07
	796	89.1 ±2.7	85.08 ±0.42
	802	9.03 ±0.33	8.81 ±0.43
	1038	1.04 ±0.04	1.01 ±0.05
	1168	1.97 ±0.04	1.92 ±0.07
	1365	3.36 ±0.10	3.28 ±0.14
^{137}Cs	662		85.2 ±0.4
^{144}Ce	80.12	15.0±1.0	1.5 ±0.1
	133.53	100	10.1 ±0.7
^{144}Pr	696.5	100	1.51±0.06
	1489	20.0±0.6	0.30±0.05
	2186	50.2±1.3	0.76±0.04
^{207}Bi	569.7	100.0	97.71±0.03
	1064	76.8±2.0	75.0 ±2.0

目　　次

1. 序　論 …… 1
1.1 概　要 …… 1
1.2 1次標準と2次標準 …… 2
1.3 評価方法 …… 3
1.4 平均値と誤差 …… 4
1.5 記　号 …… 5
2. ^{22}Na …… 5
3. ^{46}Sc …… 8
4. ^{48}Sc, ^{48}V …… 10
5. ^{54}Mn …… 14
6. ^{60}Co …… 15
7. ^{95}Zr, ^{95}Nb …… 18
8. ^{106}Ru …… 23
9. ^{134}Cs …… 27
10. ^{137}Cs …… 34
11. ^{203}Hg …… 36
12. ^{24}Na …… 40
13. ^{57}Co …… 43
14. ^{85}Sr …… 47
15. ^{88}Y …… 49
16. ^{108m}Ag …… 52
17. ^{139}Ce …… 56
18. ^{144}Ce, ^{144}Pr …… 58
19. ^{207}Bi …… 64
付録A　半減期 …… 67

Contents

1. Introduction 1
1.1 Summary 1
1.2 Primary and Secondary Standards 2
1.3 Method of Evaluation 3
1.4 Average Values and Errors 4
1.5 Notation 5
2. ^{22}Na 5
3. ^{46}Sc 8
4. ^{48}Sc, ^{48}V 10
5. ^{54}Mn 14
6. ^{60}Co 15
7. ^{95}Zr, ^{95}Nb 18
8. ^{106}Ru 23
9. ^{134}Cs 27
10. ^{137}Cs 34
11. ^{203}Hg 36
12. ^{24}Na 40
13. ^{57}Co 43
14. ^{85}Sr 47
15. ^{88}Y 49
16. ^{108m}Ag 52
17. ^{139}Ce 56
18. ^{144}Ce, ^{144}Pr 58
19. ^{207}Bi 64

Appendix A. Half-lives 67

1. 序　　論

1.1 概　　要

これは原子力研究所の委託により，ガンマ強度に関する文献の調査と評価の結果をまとめた報告書である。

ガンマ線の強度の測定は次第に精度がよくなって来たが，最近，核燃料計量をはじめ原子力に関係した分野において基本量として非常な精度が要求されるようになった。また，ガンマ線強度の精度がよくなると，これらの分野のみならず，核分裂，核反応，核構造の研究，放射化分析などの分野にも大きく貢献することができる。このようにガンマ線強度測定の重要性が増してきた。

現在，ガンマ線強度の測定は，３～５％程度のものが多く，その上，測定の誤差を越えて値がおたがいにずれていることもしばしばである。要求されている精度は１％以下であるが，発表されている値を平均し，評価値を求めることでは，とうてい満足すべき精度をえることはできない。

ガンマ線の測定器には広いエネルギー範囲で感度が100％のものも，感度がエネルギーに関係しないものもない。また，ガンマ線と物質の相互作用は，十分確立された理論ではあるが，測定器の感度を１％以下の精度で理論的に求められる程の精度の計算はないようである。それ故，ガンマ線強度の精度をよくするためには，測定方法を改良しなければならないことは勿論であるが，基礎となる信頼できる標準線源の評価値が必要である。

この報告では，この考え方にそって１次標準と２次標準に分け，ガンマ線の崩壊あたりの強度と相対強度を求めた。そのため，核燃料計量の立場から要求されている核種は少なくなってしまったが，これらは今後の測定が進めば評価値を求める予定である。

1.2 1次標準と2次標準

先にのべたように，ガンマ線の強度を標準線源なしに1％以下の精度で測定することは不可能であるから，1次標準はガンマ線の測定をせずに，あるいはガンマ線測定の精度にあまり関係しないで決められるものでなければならない。それ故，崩壊形式がよく研究されていて崩壊あたりの強度が主に90％以上のものをえらぶ。崩壊数は β-γ または X-γ 同時計数法で1％以下の精度で決定されるものでなければならない。これを1次標準として Table 1.1 にしめす。

その他に，半減期が短いか，崩壊あたりの強度があまりよい精度で評価できないが，相対強度は信頼できるカスケードガンマ線を1次線源に加えることができる。^{24}Na, ^{108m}Ag など Table 1.2 にしめしたものがこれに属する。1次標準ガンマ線の崩壊あたりの強度または相対強度を求めるためには，内部変換係数，基底状態への弱い β 転移，他の弱いガンマ線強度などのデータが必要である。

測定器の効率を決めるためには，これら1次標準を使うより数本から十数本のガンマ線を放出する線源を利用する方が便利なことが多い。このようなガンマ線は1次標準線源を使って強度を精密に測定しておけば，標準線源として利用することができる。測定は未だそこまで進んでいないので，とりあえず，2，3の線源について手に入るデータを使つて評価した値をしめしておく。これは近い将来，改訂されるべきものである。これらのガンマ線を2次標準とよぶことにする。

この他に，1本のガンマ線を放射するもので崩壊あたりの強度が小ささく，1次線源として評価できないもので単一ガンマ線として利用価値の高いものがある。^{7}Be, ^{51}Cr, ^{65}Zn, ^{137}Cs などがこれに属する。これらも1次線源で校正した測定器により測定しておけば，2次標準として利用することができる。要するに，2次標準はガンマ線測定により決められたものと言うことができる。

残念ながら現在行われている Ge(Li) 検出器による測定は，人によって使用している標準線源も異なるし，そのガンマ強度の値もまちまちである。その上，測定方法や検出器の効率曲線も一定でなく，見かけ以上に誤差が大きいことが多い。現在行われている測定をくりかえしても信頼性が高くなるわけでもない。いくつか

Table 1.1 Primary standards for intensities per decays

Nuclide	Half-life	Gamma-ray energy (keV)
^{57}Co	270 d	122
^{139}Ce	140 d	166
^{203}Hg*	46.59 d	279
^{85}Sr	64.5 d	514
^{207}Bi	38 y	570
^{134}Cs*	2.06 y	605
^{95}Nb*	35.1 d	766
^{54}Mn*	312.5 d	835
^{46}Sc*	84 d	889
^{46}Sc*	84 d	1121
^{60}Co*	5.26 y	1173
^{22}Na*	2.60 y	1275
^{60}Co*	5.26 y	1332
^{140}Ba	13 d	1596
^{88}Y	107 d	1836

Table 1.2 Primary standards for relative intensities. Cascade gamma rays

Nuclide	Half-life	Gamma-ray energy (keV)
^{24}Na	15.00 h	1369 2754
^{48}Sc*	1.8 d	983 1037 1312
^{93m}Mo	6.85 h	685 1477
^{108m}Ag	127 y	434 614 722
^{178}Ta	2.2 h	214 326 427
^{180m}Hf	5.5 h	215 333

の測定がからみあって何が正しいのか明らかでない場合すらある。それ故，信頼性の高い標準線源を定め，これから出発する以外に1％以下の精度の測定を行うことはできないであろう。

1.3 評価方法

今回評価した核種は，Table 1.1 と Table 1.2 の＊印を付したものと核燃料計量から要求されている ^{95}Zr, ^{106}Ru, ^{134}Cr, ^{137}Cs である。1次標準は，ガンマ線の崩壊あたりの強度が100％に近いものであるから，内部変換係数，弱い β 転移の分岐比，弱いガンマ線の存在が重要で，もっぱらこれらの値を求めることにより，ガンマ線の崩壊あたりの強度と相対強度の評価値をえた。

核燃料計量からの要求として取り上げたもののなかで，^{134}Cs の1部のガンマ線と ^{137}Cs のガンマ線はガンマ線標準として利用することができる。^{106}Ru, ^{134}Cs のガンマ線の相対強度の測定値は，後にしめすように系統的なずれをしめすものがあり，平均値を取ると危険である。今後の精密な測定が期待される。

評価にあたって用いた量について次に説明する。

a) 内部変換係数

1次標準において，もっとも重要なものは内部変換係数である。特に 300 keV 以下のガンマ線では内部の変換係数が大きく，その精度のためガンマ線強度を精密に見積ることができなくなる。また，内部変換係数を決定する方法は，X-e 同時計数法，ベータ線スペクトルによる強度測定などガンマ線の強度と直接関係なく測定する方法もあるが，ガンマ線強度と内部変換電子の強度比から定める場合など，あまり精度がよくない場合も多い。

内部変換係数の理論値は，1～3％程度の精度で計算されているが，実験値との一致は必ずしもよくない。これは，実験値に誤差以上の不確かさがあることと，理論値が原子核構造による影響が無視されているためである。それ故，精度の高い多くの実験値がある場合は実験値を取り，実験値の精度があまりよくないと思われるときは理論値を採用した。また，多極混合があるときは実験値を使用した。理論値のKとL内部変換係数 α_K, α_L は Hager and Seltzcr (68HaSe) および Trusov (72Tr) の値を L/MNO は Dragoun (75Dr) を使用した。なお，Zの小さいものは Z^3 に比例するとして外挿した。理論値は変形核などでは20％あるいはそれ以上ずれることが指摘されているが，1次標準には変形核が少ないので理論値には一率10％の誤差をつけた。

b) 内部電子対発生

ガンマ線のエネルギーが 1.02 MeV 以上のときは，内部電子対発生を考慮に入れねばならない。原子番号の小さい核では 1.3 MeV 付近で，内部電子対発生の確率は内部変換係数に近づくので，これを無視することはできない。

^{60}Co など内部電子対発生の実験があるものは実験値を用い，その他のものは，理論値を使用した。理論値には Rose (49Ro) および Jaeger and Hulme (34JaHu) を用いた。E2 転移のエネルギーの低いところは $(E_\gamma-1.02)^2$ に比例するとして内挿した値を用いた。

なお，内部コンプトン効果は内部変換にくらべて小さいので，すべて無視した。

c) 弱いガンマ線

弱いガンマ線は実験値を用いて崩壊形式を考慮に入れ，評価するガンマ線への影響を算出した。弱いガンマ線の場合，必要に応じて親核が別のものをも利用した。例えば，^{60}Co の場合，^{60}Cu の崩壊のガンマ線の相対強度を参考にした。

測定されていないものも近くの核の傾向と Weisskopf unit と enchancement を考慮し見積ったものもあるが，弱く考慮にあたいしないので採用しなかった。

d) 弱いベータ転移

基底状態への弱いベータ転移など実験値があるものは，その値を採用した。実験が上限をあたえているものは，その上限が他の量にくらべて小さいときは無視した。しかし，必要に応じ上限 J があるとき，$J/2 \pm J/2$ として計算に組み入れたものもある。

^{89}Sr の基底状態への転移などのように電子捕獲で実験もなく，実験することも不可能なようなものでは，近傍の同じ禁止度の転移の log ft 値を仮定し，その分岐 ε を $\varepsilon\pm\varepsilon$ として採用したものもある。

以上のべた量とガンマ線の相対強度の測定を使って評価値が求められる。評価値を求めるには次の2種類の方法がある。第1は1次標準で使われた方法で弱転移の強度を見積ることにより，100％に近いガンマ線を非常な精度で求める方法である。この場合，崩壊形式の信頼性が大切であることは言うまでもない。第2は，通常行われているようにガンマ線の相対強度の測定値を平均して求めるものである。平均値を求めるにあたっては，誤差が小さく信頼性の高いもののみをえらんで，他のものは採用しない方針で進めた。

第1の方法は，次のような場合にも拡張することができる。基底状態へのガンマ線が2本のみで，その1本が弱いとき，強い方のガンマ線の崩壊あたりの強度の誤差は小さくなる。例えば，強い方が95％，弱い方が5％で，その相対強度が10％で測定されておれば，強いガンマ線の崩壊あたりの強度は0.5％の精度で決定されることになる。これは弱い方がベータ線，内部変換電子であっても同じである。

同じ考え方が相対強度にも適用されることがある。^{134}Cs のような場合，第1励起状態へのガンマ線は，796 keV の1本が80％以上で，他のガンマ線は弱い。第1励起状態へのガンマ線の相対強度が5％で測定されれば，第1励起状態からの 605 keV ガンマ線の強度に関係なく，796 keV と 605 keV のガンマ線の相対強度は1％の精度で決定されることになる。少々奇妙であるが，^{60}Co などの評価を出すときと同じ論理である。

それぞれのガンマ線の評価方法は核種別にしめした。一番はじめに崩壊形式をしめし，次に測定値の一覧表，内部変換係数の理論値をしめした。各項の最後に評価値をまとめ，必要に応じて評価方法または評価に必要なデータを記した。

1.4 平均値と誤差

平均値と内部誤差，外部誤差は，次の式により求めた。

$$\text{平均値} \qquad \bar{x}=\frac{\sum x_i w_i}{\sum w_i}$$

$$\text{内部誤差} \qquad \varepsilon_{\text{int}}=\frac{\sqrt{\sum \varepsilon_i^2 w_i^2}}{\sum w_i}$$

$$\text{外部誤差} \qquad \varepsilon_{\text{ext}}=\sqrt{\frac{\sum (x_i-\bar{x})^2 w_i}{(n-1)\sum w_i}}$$

ここに x_i はそれぞれの測定値，ε_i はその誤差，w_i は 荷重，n は測定値の数である。荷重を1としたときと，誤差の自乗の逆数のときの2種類を計算した。

$w_i=1$ のとき，

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum x_i$$

$$\varepsilon_{\text{int}}=\frac{1}{n}\sqrt{\sum \varepsilon_i^2}$$

$$\varepsilon_{\text{ext}}=\sqrt{\frac{\sum (x_i-\bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$w_i=1/\varepsilon_i^2$ のとき，

$$\bar{x}=\frac{\sum x_i/\varepsilon_i^2}{\sum 1/\varepsilon_i^2}$$

$$\varepsilon_{\text{int}}=\frac{1}{\sqrt{\sum 1/\varepsilon_i^2}}$$

$$\varepsilon_{\text{ext}}=\sqrt{\frac{\sum (x_i-\bar{x})^2/\varepsilon_i^2}{(n-1)\sum 1/\varepsilon_i^2}}$$

本来は測定者のつけた誤差を標準ガンマ線の誤差，統計的誤差に分けて処理すべきであるが，それが明ら

かでないことが多いので，ε_i は測定者のしめす最終誤差を用いた。測定者のしめす誤差が相対的に測定値の精度，信頼性を表していると考えられるときは $w_i=1/\varepsilon_i^2$ を取ればよいが，一般に測定値の精度があまり違わないと思われるのに誤差が大きく違っていることが多い。それ故，よい測定のみを取り上げ，$w_i=1$ として求めたものを採用値としたものが多い。

ガンマ線の相対強度から崩壊あたりの強度を求めることができるものがある。その場合は，$\gamma_1'+\gamma_2'+\cdots=$全崩壊数として，

$$\gamma_i=\frac{\gamma_i^+}{\gamma_1^+\gamma_2^+\cdots}$$

を求めた。ここに $\gamma_i'=\gamma_i^+(1+\alpha_i+\Gamma_i)$, γ_i^+ は γ 線の相対強度，α_i は全内部変換係数，Γ_i は内部電子対発生係数である。また，転移の間に $\gamma_1'+\gamma_2'+\cdots=\gamma_p'$ の関係があるとき，

$$\frac{\gamma_i}{\gamma_p}=\frac{\gamma_i^+(1+\alpha_i+\Gamma_i)}{\gamma_1'+\gamma_2'+\cdots}$$

として求めることができる。誤差はこの関係から統計的扱いにより求めた。

1.5 記　号

γ_1, γ_2	1) γ 線を指示する。
	2) γ 線の崩壊あたりの強度
γ_1^+, γ_2^+	γ 線の相対強度
γ_1^0, γ_2^0	γ 線の分岐比
γ_1', γ_2'	転移の分岐比（内部変換，内部電子対発生を含む）などをしめす。表脚註にしめす。
β_1, β_2	β 線の分岐比
α_K	内部変換係数
α	全内部変換係数 $\alpha=\alpha_K+\alpha_L+\alpha_M+\cdots$
Γ'	内部電子対発生係数
*	採用値をしめす。

参考文献の記号は Nuclear Data Sheet に準じる。

References

34JaHu J. C. Jaeger and H. R. Hulme, Proc. Roy. Soc. 148 (1935) 708
49Ro M. E. Rose, Phys. Rev. 76 (1949) 678
68HaSe R. S. Hager and E. C. Seltzer, Nuclear Data A4 (1968) 1
72Tr V. F. Trusov, Nuclear Data Tables 10 (1972) 477
75DrBr O. Dragoun and V. Brabec, Atomic Data and Nuclear Data Tables 15 (1975) 49

2. ^{22}Na

^{22}Na は陽電子崩壊をして100%に近い 1275 keV の γ 線を放出する。また，陽電子が消滅して 511 keV γ 線を発生する。この両者の γ 線を評価した。

a) 基状底態への弱い β 転移の強度は Wright の測定したものが唯一である (Table 2.6)。陽電子転移と 1275 keV レベルへの電子捕獲の比は，3つの測定値があり (Table 2.1) よい一致を示している。

b) 先ず，1275 keV γ 線の評価値を求めるために，陽電子転移と 1275 keV レベルへの電子捕獲の比 $\varepsilon_2/(\beta_1+\beta_2)$ の測定値をもとに，基底状態への陽電子転移と，電子捕獲の比 ε_1/β_1 の理論値 (70Ma) で補正して 1275 keV レベルへの陽電子転移と，電子捕獲の比 ε_2/β_2 を求めた (Table 2.6)。

c) 1275 keV γ 線の内部電子対発生による補正には理論値を使った。また内部変換電子の補正には実験値

(Table 2.5) の平均値を使った。内部変換係数の理論値を Hager and Seltzer の表から Z^3 に比例するとして外挿したものを Table 2.6 に示した。実験値との一致はよいが，$Z=10$ まで外挿して求めた値は誤差が大きいので，内部変換電子の補正には実験値を使った。

d) 消滅γ線の強度は銅での消滅の場合について求めた。陽電子強度の2倍に，3γ消滅と走りながらの消滅の補正をした。

e) 1275 keV のγ線の崩壊あたりの強度は 0.02% の精度で求めることができた。しかし，消滅γ線については，3γ消滅と走りながらの消滅の補正は小さいが，その理論値と実験値の吟味が不足している。そのため，その誤差を見積ることができなかったので，将来1～2%の修正が生ずる恐れがある。

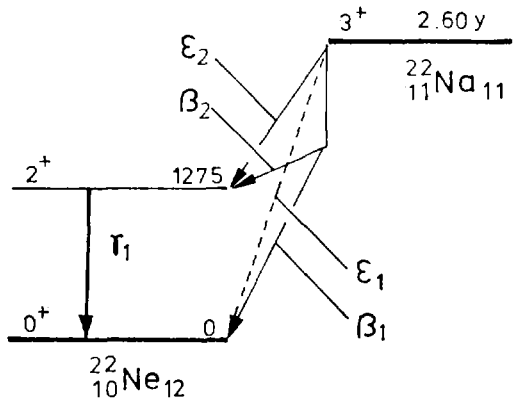

Fig. 2.1 Decay scheme of ^{22}Na

Table 2.1 Experimental values of electron capture to positron emission ratio

$\varepsilon_2/(\beta_1+\beta_2)$	Reference
0.1041±0.0007[a]	64Wi04
0.1048±0.0007	67Le07
0.1042±0.0010	68Va13

a) Quadratic sum of statistical error (0.45%) and systematic error (0.5%)

Table 2.2 Average values of electron capture to positron emission ratio

$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
Average value	Error		Average value	Error	
	Int.	Ext.		Int.	Ext.
0.1044	0.0004	0.0002	0.1044*	0.0005*	0.0002

Table 2.3 Theoretical values of electron capture to positron emission ratio

ε_2/β_2		Reference
a)	b)	
0.1138±0.0025	0.100±0.006	67Le07
0.1118±0.0025	0.0974	68Va13

a) Omitting the electron exchange corrections
b) Including the electron exchange corrections

Table 2.4 Theoretical values of internal conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	Multipolarity	α_K	K/L	α
1274.51	E2	6.3×10^{-6}	12	6.8×10^{-6}

Table 2.5 Experimental values of internal conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	$\alpha\times10^6$	
	Leamer, Hinman 54Le	Nakayama, Hirata 63Na
1274.51	6.74 ± 0.67	6.77 ± 0.45

Table 2.6 Evaluation of intensities per decay

Item	Value	Reference
$\varepsilon_2/(\beta_1+\beta_2)$	0.1044 ± 0.0005	
β_1/β_2	0.0006 ± 0.0002	53Wr13
ε_1/β_1 (Theoretical)	0.0023	70Ma
ε_2/β_2	0.1045 ± 0.0005 a)	
α_1	$(6.76\pm0.37)\times10^{-6}$ b)	
I'_1	0.25×10^{-4}	
3γ decay	0.27% c)	
Annihilation in flight	0.99% d)	
Annihilation radiation	178.5 ± 0.1% e)	
γ_1	99.94 ± 0.02% f)	

a) Obtained from the equation $\varepsilon_2/\beta_2=\{\varepsilon_2/(\beta_1+\beta_2)\}\times(1+\beta_1/\beta_2)$
b) Weighted average of the two values in Table 2.5 ($w=1/\varepsilon^2$)
c) Cross section ratio of 3γ to 2γ decay (67 Ka)
d) Ratio of annihilation in flight to total annihilation in copper (67 Ka)
e) Ambiguities of annihilation in flight and 3γ decay are not included.
f) Obtained from the equation $\gamma_1(1+\alpha_1+I'_1)+\beta_1+\varepsilon_1=100$

Table 2.7 Evaluated values of beta branch

Beta branch	Branching ratio (%)
β_1	0.05 ± 0.02
β_2	90.49 ± 0.04
ε_1	<0.0002
ε_2	9.46 ± 0.05

References

53Wr13 B. T. Wright, Phys. Rev. 90 (1953) 159
54Le R. D. Leamer and G. W. Hinman, Phys. Rev. 96 (1954) 1607
63Na Y. Nakayama and H. Hirata, Nucl. Phys. 40 (1963) 396

64Wi04 A. Williams, Nucl. Phys. 52 (1964) 324
67Le07 H. Leutz and H. Wenninher, Nucl. Phys. A99 (1967) 55
67Ka W. R. Kane and M. A. Mariscotti, Nucl. Instr. Meth. 56 (1967) 189
68Va13 E. Vatai, D. Varga and J. Uchrin, Nucl. Phys. A116 (1968) 637
70Ma M. J. Martin and P. H. Blichert-toft, Nuclear Data Tables, A8 (1970) 18

3. ^{46}Sc

^{46}Sc の崩壊においては，ほとんど100%に近い，889keV と 1120keV の2本の γ 線が放出される。この2本の γ 線の崩壊あたりの強度を評価した。

a) ^{46}Ti の基底状態への β 崩壊の分岐は，実験値もないし，第4禁止転移であるので，無視した。第1励起状態への β 崩壊の分岐がわずかにある (Table 3.1)。第2励起状態から，基底状態への転移の上限をおさえた実験値がある (Table 3.2)。1120keV の転移については内部電子対発生による補正も行なった。

b) 内部変換係数は Hager and Seltzer の値を Z^3 に比例するものとして，外挿により求めた。889keV と 1120keV のガンマ線の強度をよい精度で求めることができた。

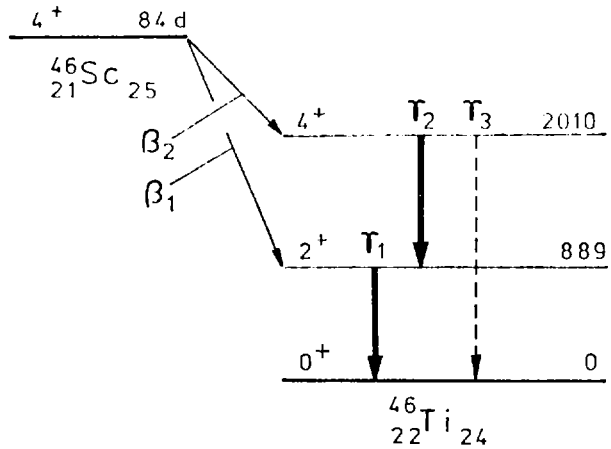

Fig. 3.1 Decay scheme of ^{46}Sc

Table 3.1 Experimental values of beta-ray branching ratios

Beta ray	Maximum energy (keV)	Branching ratio (%)	Reference
β_1	1475	0.0036±0.0007*	56Wo09
		0.096 ±0.001	54Ke04
		≦0.1	53Wh06
		0.05	50So57
		≦0.06	50Mo62
β_2	357		

Table 3.2 Upper limit of crossover gamma ray

Gamma-ray energy (MeV)	Intensity (%)	Reference
$1.67 < E_\gamma < 2.22$	1.2×10^{-5}*	48F105
$0.05 < E_\gamma < 2.00$	<2	63Ba40

Table 3.3 Theoretical values of internal conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	α_K $\times 10^4$	K/L	MNO/L	α $\times 10^4$
889.19	1.55	10.8	0.14	1.71*
1120.49	0.80	10.8	0.14	0.88*

Table 3.4 Experimental values of internal conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	α $\times 10^4$	Reference
889.19	1.74 ± 0.08	50Mo62
	1.9	53Wh06
	1.86 ± 0.25[a)]	54St08
	2.60 ± 0.50[b)]	54St08
	1.55 ± 0.16	54Ke28
1120.49	0.98 ± 0.05	50Mo62
	0.88	53Wh06
	1.00 ± 0.06[a)]	54St08
	1.34 ± 0.15[b)]	54St08
	0.82 ± 0.08	54Ke28

a) Beta-ray spectrometer
b) Compton electron method

Table 3.5 Evaluation of intensities per decay

Item		Value	Reference
β_1		$0.0036 \pm 0.0007\%$	56Wo09
γ_3		$1.2 \times 10^{-5}\%$	48K105
α_1	(Theoretical)	1.71×10^{-4}	
α_2	(Theoretical)	0.88×10^{-4}	
Γ_2	(Theoretical)	0.4×10^{-6}	
γ_1		$99.9829 \pm 0.0017\%$[a)]	
γ_2		$99.9875 \pm 0.0011\%$[b)]	

a) Obtained from the equation $\beta_1 = \gamma_1(1+\alpha_1)$
b) Obtained from the equation $\beta_1 + \gamma_2(1+\alpha_2+\Gamma_2) + \gamma_3 = 100$

References

49Fl05 R. G. Fluharty and M. Deutsch, Phys. Rev. 76 (1948) 182
50Mo62 M. L. Moon, M. A. Waggoner and A. Roberts, Phys. Rev. 79 (1950) 905
50So57 B. N. Sorensen, B. M. Dale and J. D. Kurbatov, Phys. Rev. 79 (1950) 1007
53Wh06 J. A. Whalen, F. T. Porter and C. S. Cook, Phys. Rev. 89 (1953) 902
54St08 E. E. Sturcken, Z. O'Friel, O. F. M., and A. H. Weber, Phys. Rev. 93 (1954) 1053
54Ke04 G. L. Keister and F. H. Schmidt, Phys. Rev. 93 (1954) 140
54Ke28 G. L. Keister, Phys. Rev. 96 (1954) 855
56Wo09 J. L. Wolfson, Can. J. Phys. 34 (1956) 256
63Ba40 A. A. Bartlett, J. R. Keith and W. D. King, Bull. Am. Phys. Soc. 8 (1963) 482

4. ^{48}Sc, ^{48}V

^{48}Sc はβ崩壊して，5本のγ線を出す。このうち 984 keV, 1038 keV, 1312 keV のγ線は，崩壊あたりの強度がほぼ100%に近い値で，良い精度の評価を求めることができた。

^{48}V は，β^+崩壊して，2本の崩壊あたりの強度が100に近いγ線と，多数の弱い強度のγ線を出す。ここでは，2本の強度の強いγ線について，崩壊あたりの強度を求めた。

a) ^{48}Sc の実験値は，NaI による測定は除けば，Table 4.1 に示す3つの実験がある。

b) ^{48}Sc の 984 keV と 1312 keV のγ線については，内部変換係数の補正（Table 4.6, Table 4.7）をし，崩壊あたりの強度を求めた。1038 keV のγ線については，1213 keV のγ線とこのγ線の転移強度の和を100として求めた。評価値は非常に良い精度で決めることができた。

c) ^{48}V の実験値を Table 4.2 に示す。
内部変換係数については，Table 4.5 に示す2つの実験値がある。

d) ^{48}V の 983 keV のγ線強度は，2422 keV とこの転移の和が100として求めた。また 1311 keV のγ線については，第1励起状態への5つの転移とβ転移と，この転移の和を100として評価値を求めた。誤差は，0.33%である。

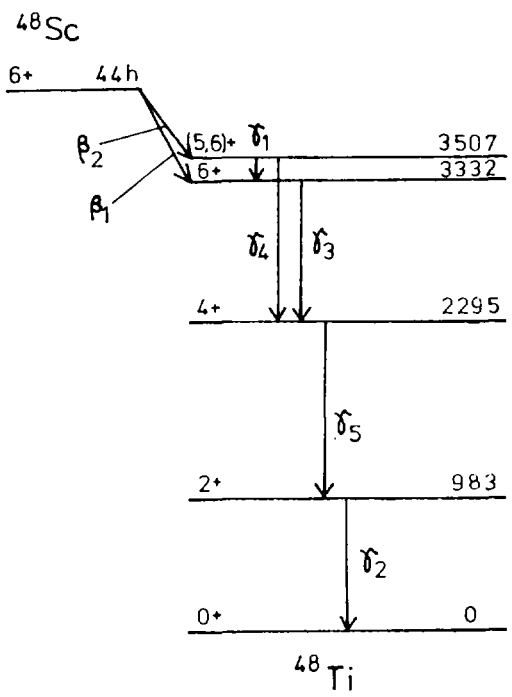

Fig. 4.1 Decay scheme of ^{48}Sc

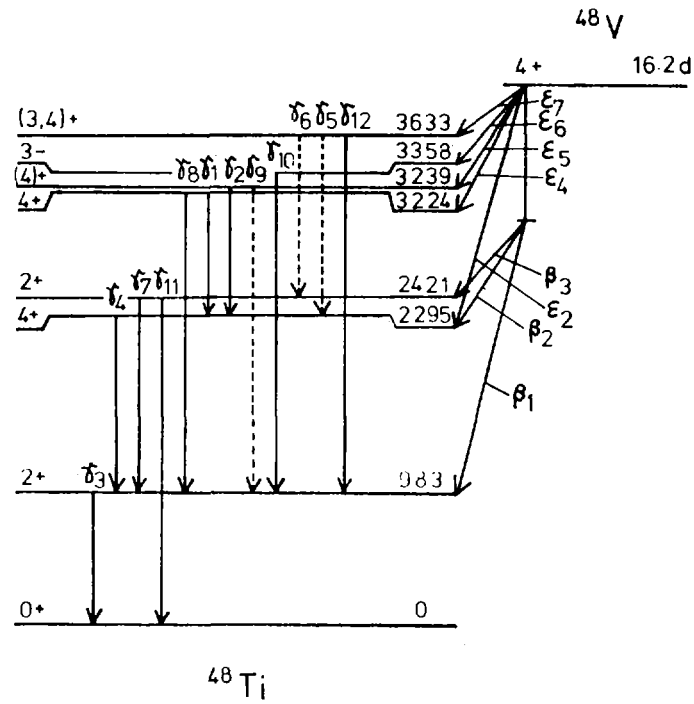

Fig. 4.2 Decay scheme of ^{48}V

Table 4.1 Experimental values of relative intensities in the decay of ^{48}Sc

Gamma-ray energy (keV)	Singh* et al. 72Si37	Eisele* Larson 70Ei07	Konijn* et al. 67Ko01
175	7.8±0.8	6 ±1	9.4±0.5
983	100	100	100
1037	95 ±4	98 ±2	98 ±3
1213	2.5±0.3	2.2±0.5	2.5±0.2
1312	100	100	100 ±3

Table 4.2 Experimental values of branching ratios in the decay of ^{48}Sc

Branch	Level energy (keV)	Branching ratio (%)		
		Singh et al. 72Si37	Eisele Larson 70Ei07	Konijn et al. 67Ko01
β_1	3333	89.4	95～93	88
β_2	3508	10.6	5～ 7	11.9

Table 4.3 Evaluated values of relative intensity in the decay of ^{48}Sc

Gamma ray	Energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$ or 0		
		Evaluated value	Error		Evaluated value	Error	
			Int.	Ext.		Int.	Ext.
γ_1	175	8.50	0.39	0.88	7.73	0.46	0.98
γ_2	983	100	—	—	100	—	—
γ_3	1037	97.6	1.5	0.8	97.0	1.8	1.0
γ_4	1213	2.47	0.16	0.06	2.40	0.21	0.10
γ_5	1312	100	1.5	0	100	1.8	0

Table 4.4 Evaluated values in the decay of ^{48}Sc

Gamma ray	Energy (keV)	Relative intensity (%)	Intensity per decay (%)
γ_1	175	8.49 ±0.39	8.49 ±0.39
γ_2	983	99.9968±0.0015	99.9876±0.0012
γ_3	1037	97.53 ±0.16	97.52 ±0.16[a]
γ_4	1213	2.47 ±0.16	2.47 ±0.16
γ_5	1312	100.0000	99.9908±0.0009[b]

a) Beta-ray feeding to the 2295 keV level is estimated to be less than 0.003% since logft value of a second-forbidden transition is assumed to be larger than 10.

b) Beta-ray feeding to the 983 keV level is neglected.

Table 4.5 Experimental values of conversion coefficients in the decay of ^{48}Sc and ^{48}V

Gamma-ray energy (keV)	Konijn et al. 67Ko01	Nooijen et al. 57Vo08	
	^{48}V $\alpha\times10^4$	^{48}Sc $\alpha\times10^4$	^{48}V $\alpha\times10^4$
929	2.0 ±1.01		
945	1.25±0.11		
983	1.23±0.06	1.24±0.12	1.26 ±0.04
1037		1.06±0.07	
1312	0.59±0.09	0.69±0.09	0.63 ±0.02
2255			0.151±0.017

Table 4.6 Theoretical values of conversion coefficients[a] in ^{48}Ti

Gamma-ray energy (keV)	E2 conversion coefficients $\alpha_K \times 10^5$	K/L	MNO/L	$\alpha \times 10^5$	M1 conversion coefficients $\alpha_K \times 10^5$	K/L	MNO/L	$\alpha \times 10^5$
175	3180	10.5	0.14	3530	377	10.5	0.14	418
983	11.2	10.8	0.14	12.4				
1037	9.8	10.8	0.14	10.8				
1213	6.5	10.8	0.14	7.2	5.6	10.8	0.14	6.2
1312	5.5	10.8	0.14	6.1				

a) These values are obtained from ref. 68HaSe.

Table 4.7 Theoretical values of internal pair[a] formation in ^{48}Ti

Gamma-ray energy (keV)	Multi-polarity	Internal pair formation coefficient $I' \times 10^5$
1037	E2	0.011
1213	E2	1.3
	M1	9
1312	E2	3.1

a) These values are obtained from ref. 34 JaHu and 52Br.

Table 4.8 Experimental values of relative intensities in the decay of ^{48}V

Gamma-ray energy (keV)	Ardisson[a] Ythier 69Ar03	Konijn* et al. 67Ko01	Ristinen et al. 63Ri01
Annihilation		98 ±3	122 ±4
929		1.2 ±0.2	
945		8.0 ±0.5	9.8 ±0.9[b]
983		100	100
1312	98	99 ±4	98.0 ±6.0
1338		0.06±0.06	
1385[c]	< 0.1		
1438	0.11 ±0.04	0.13±0.06	
2240	2.4 ±0.3	2.5 ±0.3	2.6 ±0.8
2376	0.010±0.003*		
2255		< 0.2	
2422	0.005±0.002*		
2650		0.06±0.03	0.04±0.02

a) Intensity of the 1311 keV gamma ray is normalized to 98 by ref. 69Ar03.
b) This value is obtained from external conversion measurement.
c) Uncertain

Table 4.9 Experimental values of branching ratios in the decay of ^{48}V

Branch	Level energy (keV)	Branching ratios (%)			
		Metskhvarishvili et al. 74Me	Ardisson Ythier 69Ar03	Konijn et al. 67Ko01	Ristinen et al.
β_1	983	0.086±0.012			
β_2	2295	49.6	49.8	48.5	61
ε_2			38.5	47.5	26
β_3	2421	0.1	< 0.11		
ε_4	3224		3.6	3.7	2.9
ε_5	3239		8.0	8.0	9.8
ε_6	3359		0.01		
ε_7	3633			0.3	

Table 4.10 Adopted values of relative intensity in the decay of ^{48}V

Gamma ray	Energy (keV)	Adopted value[a]
	Annihilation	98 ±3
γ_1	929	1.1 ±0.2
γ_2	945	8.0 ±0.5
γ_3	983	100
γ_4	1312	99 ±4
γ_5	1338	0.06 ±0.06
γ_6	1385	< 0.1
γ_7	1438	0.13 ±0.06
γ_8	2240	2.5 ±0.3
γ_9	2255	< 0.2
γ_{10}	2376	0.010±0.003[b]
γ_{11}	2422	0.005±0.002[b]
γ_{12}	2650	0.06 ±0.03

a) Data are taken from ref. 67Ko01
b) These values are taken from ref. 69Ar03

Table 4.11 Evaluated values in the decay of ^{48}V

Gamma ray	Energy (keV)	Relative intensity (%)	Intensity per decay (%)
γ_1	929	1.2±0.2	1.2 ±0.2
γ_2	945	8.0±0.5	8.0 ±0.5
γ_3	983	100.00	99.9826±0.0013[a]
γ_4	1312	97.22±0.33	97.20 ±0.33[b]
γ_8	2240	2.5±0.3	2.5 ±0.3

a) These values are obtained from the 983 keV and 2422 keV gamma transition intensities.
b) These values are obtained from five gamma transition intensities of the 1311, 1438, 2240, 2376 and 2650 keV, and beta feeding to the first excited state.

References

34JaHu J. C. Haeger and H. R. Hulme, Proc. Roy. Soc. 148 (1935) 708

42S01 G. P. Smith, Phys. Rev. 61 (1942) 578

52Br S. A. S. Brimberg, Phys. Rev. 87 (1952) 150

57V08 B. van Nooijen, J. Konijn, A. Heyligers, J. F. Van der Brugge and A. H. Wapstra, Physica 23 (1957) 753

63Hi02 M. Hillman, Phys. Rev. 129 (1963) 2227

63Ri01 R. A. Ristinen, A. A. Bartlett and J. J. Kraushaer, Nucl. Phys. 45 (1963) 321

67Ko01 J. Konijn, E. W. A. Lingeman and S. A. De Wit, Nucl. Phys. A90 (1967) 558

68HaSe R. S. Hager and E. C. Seltzer, Nuclear Data A4 (1968) 1

69Ar03 G. Ardisson and C. Ythier, Physica 41 (1969) 510

70Ei07 J. A. Eisele and R. E. Larson, Radiochim. Acta 14 (1970) 54

72Si37 H. Singh, V. K. Tikku, B. Sethi and S. K. Mukherjee, Radiochim. Radioanal. Lett. 11 (1972) 137

74Me R. Ya. Metskhvarishvili, Z. N. Miminoshvili and M. A. Elizbarashvili, Sov. J. Nucl. Phys. 19 (1974) 237

5. ^{54}Mn

^{54}Mn は電子捕獲により ^{54}Cr に崩壊し，834 keV の γ 線を放出する。この γ 線は崩壊あたり 100% に近く，他に γ 線は発見されていない。

a) 基底状態間のエネルギー差は原子質量表がしめすように 1022 keV 以上であるから，もし電子捕獲の転移があれば，わずかながら陽電子放射が存在するはずである。Berenyi et al (68Be01) により上限が測定されている。この転移はスピンからみて一義的第 2 禁止転移 (unique second forbidden) であるから，logft>12 という結果はもっともらしい。^{10}Be など一義的第 2 禁止転移の logft=12 であるから，上限から，計算された $\varepsilon_1<1\times20^{-5}$ を $\varepsilon_1=(0.5\pm0.5)\times10^{-5}$ として評価値に入れた。

b) 834 keV γ 線の内部変換係数の測定は少ないが，理論値と実験値は誤差の範囲で一致している。理論値は α_K が Z^3 に比例するとして，Hager and Seltzer (68HaSe) を外挿したものである。この値は Trusov (72Tr) の値をエネルギーに関して外挿したものと一致している。この付近では理論値と実験値の間に大きな差がないと思われるので理論値を使用した。

c) ^{54}Cr の 1375 keV 以下には第 1 励起状態以外の励起状態は存在しないので他の弱い γ 線を考える必要はない。

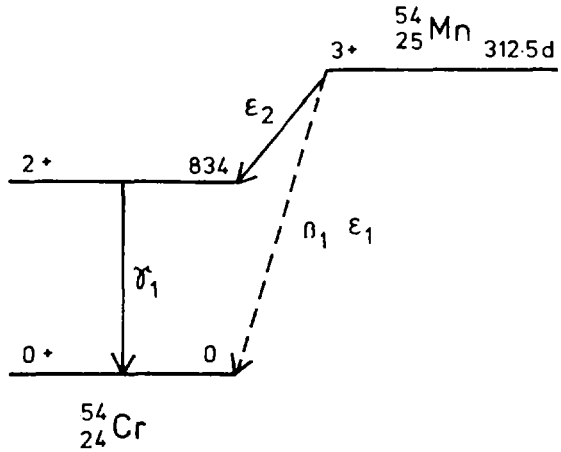

Fig. 5.1 Decay scheme of ^{54}Mn

Table 5.1 Beta transition to the ground state

Author	β_1^+	logft	Q_ε (keV)	ε_1	Ref.
Berenyi et al.	$<8\times10^{-7}$	>12.0		$>1\times10^{-5}$*	68Be01
Wapstra, Gove			1374.9±3.6		71Wa

Table 5.2 Internal conversion coefficients

Author	α_K $\times10^5$	K/L	α $\times10^5$	Ref.
Katoh et al.		8.5±0.7		58Ka34
Rao			20 ±5	63Ra21
Hamilton et al.	22.4±1.0		25.1±1.1	66Ha07
Theoretical	20.9	10	23.0*	

Table 5.3 Evaluation of the 834 keV gamma-ray intensity

Item	Value
ε_1	$(0.5\pm0.5)\times10^{-5}$
α (theoretical)	$(23.0\pm2.3)\times10^{-5}$
γ_1	99.976±0.003%

References

58Ka34 T. Katoh, M. Nozawa, Y. Yoshizawa and Y. Koh, J. Phys. Soc. Japan 13 (1958) 1419

63Ra21 G. N. Rao, Nuovo Cimento 30 (1963) 507

66Ha07 J. H. Hamilton, S. R. Amtey, B. van Nooijen, A. V. Ramayya and J. J. Pinajian, Phys. Letters 19 (1966) 682

68Be01 D. Berenyi, D. Varga, B. Vasvari and E. Brucher, Nucl. Phys. A106 (1968) 248

71Wa A. H. Wapstra and N. B. Gove, Nucl. Data Tables 9 (1971) 265

6. ^{60}Co

^{60}Co は β 崩壊して，1173 keV と 1332 keV の2本の100%に近い γ 線を放出する。その他には，ごく弱い γ 線があるのみである。この2本の主な γ 線について評価値を求めた。

a) 実験値は，第1励起状態 (2^+) への β 転移の分岐比 (Table 6.1)，第2励起状態 (2^+) からの γ 線の相対強度 (Table 6.3)，3^+ 励起状態への β 転移の分岐比 (Table 6.1) および ^{60}Cu からの γ 線の分岐比 (Table 6.2) がある。

b) 第1，第2励起状態と 3^+ 励起状態への β 崩壊分岐比 β_1, β_2, β_4 から 1173 keV と 1332 keV 転移の崩壊あたりの強度を求めた。この値に内部変換係数，電子対発生の補正をして 1173 keV と 1332 keV の評価値を求めた。

c) 1173 keV の誤差は β_1 と β_3 の分岐比の誤差から来たものであるが，2本の γ 線の強度は非常な精度で求められる。

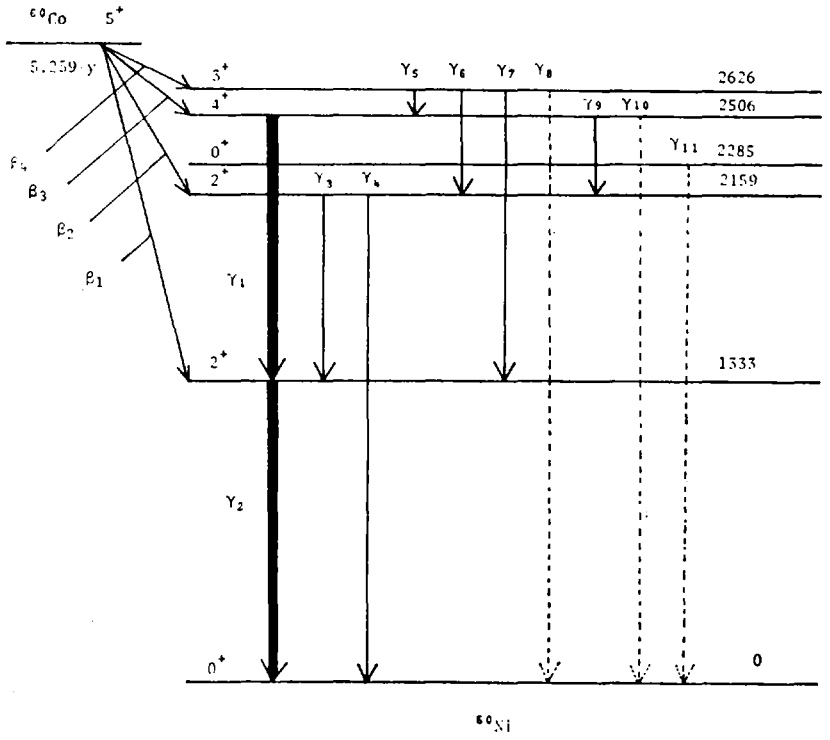

Fig. 6.1 Decay scheme of ^{60}Co

Table 6.1 Experimental values of beta-ray branching ratios

Branch	Maximum energy (keV)	Branching ratios (%)	Reference
β_1	1490	0.15	54Ke04
		0.01 ± 0.002	56Wo09
		0.12	61Ca05
		0.08 ± 0.02*	68Ha03
β_2	663	$<10.5\times10^{-3}$*a)	55Wo44
		0.18 ± 0.03	68Ha03
		<0.022	69Ra23
		<0.0063b)	69Va20
		<0.012	70Ri20
		<0.01	70Di01
β_3	316	99.74 ± 0.05	68Ha03
		99.862	69Va20
β_4	196	$<6\times10^{-4}$	69Va20
		<0.01*	70Di01

a) This upper limit is obtained from the value of $(9.0\pm1.5)\times10^{-3}$ in Table 6.3.

b) Hise (69Va20) calculated this branching ratio using his gamma-ray intensity $\gamma_3=0.0055$. We reevaluated this ratio using his γ_3 value and the transition branching ratio of γ_4, in Table 6.3.

Table 6.2 Values of internal conversion coefficients, internal pair formation coefficients and branching ratios of transition intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Theoretical α_K(E2) 72Tr	Theoretical α_K(M1) 72Tr	Experimental Γ 65Sp08	$\alpha+\Gamma$	From the decay of ^{60}Cu $\gamma^{\dagger}$ 69Ra07	From the decay of ^{60}Cu γ'[a] (%)
γ_1	1173.3	1.53×10^{-4}		$(0.15\pm0.05)\times10^{-4}$	1.83×10^{-4}		
γ_2	1332.5	1.16×10^{-4}		$(0.47\pm0.07)\times10^{-4}$	1.75×10^{-4}		
γ_3	826.4	3.30×10^{-4}	2.59×10^{-4}		3.63×10^{-4}[b]	24.7 ±1.2	86.7
γ_4	2158.9	4.47×10^{-5}			4.92×10^{-5}	3.8 ±0.2	13.3
γ_5	120.5	2.9×10^{-1}	3.3×10^{-2}		3.2×10^{-1}[b]	0.22±0.02	4.5
γ_6	467.3	1.15×10^{-3}	7.74×10^{-4}		1.27×10^{-3}[b]	4.0 ±0.2	62.6
γ_7	1293.7	1.24×10^{-4}	1.09×10^{-4}		1.36×10^{-4}[b]	2.1 ±0.2	32.9
γ_8	2626.2					<0.02[c]	<0.31
γ_9	346.8						
γ_{10}	2505.7						
γ_{11}	2284.9						

a) γ' indicates the branching ratio of the transition intensity, $\gamma'=\gamma^0(1+\alpha+\Gamma)$.
b) Pure E2 Multipole is assumed.
c) Our estimation from F. Rauch et al. (69Ra07).

Table 6.3 Evaluated values of beta-ray branching ratios per decay

Branch	Branching ratio (%)	Estimation (%)	Ref.
β_1	0.08±0.02		68Ha08
β_2	$(9.0\pm1.5)\times10^{-3}$[a]	$\gamma_4=(1.2\pm0.2)\times10^{-3}$	55Wo44
		$\beta_2=(1.2\pm0.2)\times10^{-3}/\gamma_4'$	
β_3	99.91±0.03	$\beta_3=100-\beta_4-\beta_2-\beta_1$	
β_4	<0.01	$<6\times10^{-4}$	69Va20
		<0.01	70Di01

a) This value is obtained from gamma-ray intensity γ_4 by assuming no gamma-ray feeding to this initial level.

Table 6.4 Evaluated values of intensities per decay

Gamma-ray	Intensity per decay (%)	Estimation[a]
γ_1	99.89 ±0.02	$(100-\gamma_7-\gamma_3-\gamma_4-\beta_1)/(1+\alpha+\Gamma)$
γ_2	99.9813±0.0015	$(100-\gamma_4-\gamma_8-\gamma_{10}-\gamma_{11})/(1+\alpha+\Gamma)$
γ_3	0.0078±0.0013	$\gamma_4\times(\gamma_3'/\gamma_4')$
γ_4	0.0012±0.0002	55Wo44
γ_5	<0.00045	$\beta_4\times\gamma_5'$
γ_6	<0.0063	$\beta_4\times\gamma_6'$
γ_7	<0.0033	$\beta_4\times\gamma_7'$
γ_8	<0.000031	$\beta_4\times\gamma_8'$
γ_9	0.0078	69Va20
γ_{10}	neglected	$T_{1/2}$(E4, W. u.)$=3\times10^{-4}$ s
		$T_{1/2}$(E2, Exp)<3.5 ps
		$\gamma_{10}<(3.5\times10^{-12})/(3\times10^{-4})\times100=1.2\times10^{-6}$
γ_{11}	neglected	Beta-ray branch is unique fourth forbidden, no gamma ray was observed.

a) γ' indicates the branching ratio of the transition intensity, $\gamma'=\gamma^0(1+\alpha+\Gamma)$.

Table 6.5 Evaluated values

Gamma-ray	Energy (keV)	Intensity per decay (%)	Relative intensities	Estimation
γ_1	1173	99.89 ±0.02	99.91±0.02	a)
γ_2	1332	99.9813±0.0015	100.00	b)

a) These values are obtained from intensities of three transitions to the first excited state (826 keV, 1173 keV and 1294 keV).
The error of 0.02 is mainly deduced from the beta-ray intensity to the first excited state.

b) These values are evaluated from intensities of the 1332 keV and the 2159 keV transition. Other gamma transitions to the ground state are neglected.

References

49Ro M. E. Rose, Phys. Rev. 76 (1949) 678
54Ke04 G. L. Keister and F. H. Schmidt, Phys. Rev. 93 (1954) 140
55Wo44 J. L. Wolfson, Can. J. Phys. 33 (1955) 886
56Wo09 J. L. Wolfson, Can. J. Phys. 34 (1956) 256
61Ca05 D. C. Camp, L. M. Langer and D. R. Smith, Phys. Rev. 123 (1961) 241
65Sp08 E. Spring, Phys. Let. 18 (1965) 132
65Mu03 G. Murray, R. L. Graham and J. S. Geiger, Nucl. Phys. 63 (1965) 353
67Ra S. Raman, Nuclear Data Sheet B2-5-59
68Ha03 H. H. Hansen and A. Spernol, Z. Phys. 209 (1968) 111
68HaSe R. S. Hager and E. C. Seltzer, Nuclear Data Tables A4 (1968) 1
68Wo02 J. L. Wolfson and A. J. Collier, Nucl. Phys. A112 (1968) 156
69Ra07 F. Rauch, D. M. Van Patter and P. F. Hinrichsen, Nucl. Phys. A124 (1969) 145
69Ra23 S. Raman, Z. Phys. 228 (1969) 387
69Va20 J. R. Van Hise and D. C. Camp, Phys. Rev. Let. 23 (1969) 1248
70Di01 W. R. Dixon and R. S. Storey, Can. J. Phys. 48 (1970) 483
70Ri20 P. Rice-Evans and Z. Aung, Z. Phys. 240 (1970) 392
72Tr V. F. Trusov, Nuclear Data Tables 10 (1972) 477

7. ^{95}Zr, ^{95}Nb

^{95}Zr は β 崩壊につづいて，724 keV と 757 keV の 2 本の強い γ 線を放射する。この他に，^{95}Nb の基底状態と第 1 励起状態への弱い β 転移がある。^{95}Nb は 35 日で ^{95}Mo に β 崩壊する。第 1 励起状態は 3.6 日の異性体で，これから ^{95}Mo に β 崩壊する分岐もある。^{95}Zr については，強い 724 keV と 757 keV の γ 線の評価値を行なった。

^{95}Nb は標準線源として有用なので，^{95}Nb のみの場合も評価した。^{95}Nb の異性体から ^{95}Mo への β 崩壊はわずかであり，半減期も短いので，異性体を無視した場合の 766 keV γ 線に関して崩壊あたりの強度を求めた。

a) β 崩壊の分岐比をもとめたもの (Table 7.1) と，γ 線の相対強度を求めた実験がある。(Table 7.2)。

b) 先ず，基底状態への β 転移 β_1 と第 1 励起状態への β 転移 β_2 の評価値を求めた (74An 22 を採用)。次に 3 つの γ 線相対強度の $1/\varepsilon^2$ 荷重の平均値を使って崩壊あたりの強度を求めた。

c) β_1 と β_2 が小さいので，724 keV と 757 keV の γ 線は精度よく決めることができた。

d) ^{95}Nb から ^{95}Mo への崩壊のうち，基底状態および第 1 励起状態から基底状態への β 崩壊の分岐はごくわずかであり，ほとんどが第 3 励起状態から基底状態へ 766 keV の転移をする。また，第 3 励起状態から第 2 励起状態への 562 keV の転移もわずかである。従って 766 keV の γ 線の強度は精度よく求め

ることができた。

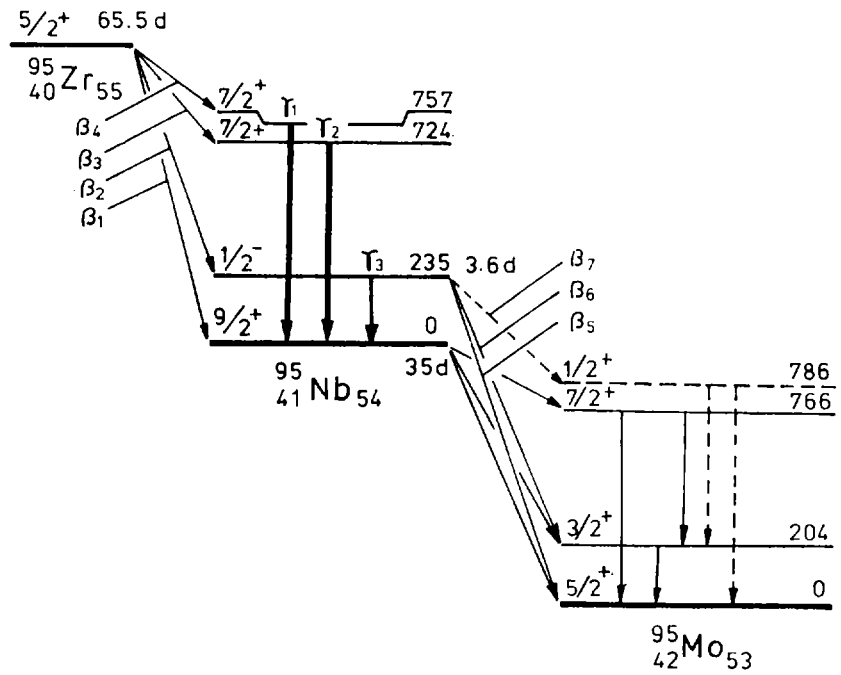

Fig. 7.1 Decay scheme of ^{95}Zr

Table 7.1 Experimental values of beta-ray branching ratios

Beta ray	Maximum energy (keV)	Branching ratio (%)	Reference
β_1	1120	0.4	54Za05
		0.10±0.03*	74An22
β_2	887	0.9	54Za05
		1.2 ±0.5	69Fo01
		1.0 ±0.1	69Br29
		1.1 ±0.1*	74An22
β_3	398	44.7 ±0.7	69Fo01
		44.2 ±0.5	69Br29
β_4	366	54.1 ±0.8	69Fo01
		54.6 ±0.5	69Br29

Table 7.2 Experimental values of beta-ray branching ratios from ^{95m}Nb

Beta ray	Maximum energy (keV)	Branching ratio (%)	Reference
β_5	1160	5.5±0.4	74An22
β_6	956	1.7±0.4	72Er08
β_7	371	0.7±0.3	72Er08

Table 7.3 Experimental values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Foin et al. 69Fo01	Brahamvar Hamilton 69Br29	Erten et al. 72Er08	Suzuki et al.[a] 72Su
γ_1	756.74	100	100	100	100
γ_2	724.23	82.5±1.6	81.0±1.0	77.0±2.0	80.7±1.0
γ_3	234.70	0.6±0.2	0.34±0.03	0.4±0.1	

a) Obtained from intensities per decay (54.5±0.5: 43.9±0.4)

Table 7.4 Average values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
		Average value	Error Int.	Error Ext.	Average value	Error Int.	Error Ext.
γ_1	756.74	100			100		
γ_2	724.23	80.63*	0.62	0.78*	80.30	0.73	1.17
γ_3	234.70	0.35	0.03	0.02	0.45	0.08	0.08

Table 7.5 Theoretical values of internal conversion coefficients

Item		Value				
Atomic number	Z	41				
Energy (keV)		756.74		724.23		234.70
Multipolarity		M1	E2	M1	E2	M4
Conversion coefficients	α_K	1.20 (−3)	1.24 (−3)	1.32 (−3)	1.39 (−3)	2.30 (0)
	α_{L1}	1.29 (−4)	1.30 (−4)	1.43 (−4)	1.46 (−4)	3.14 (−1)
	α_{L2}	2.72 (−6)	5.66 (−6)	3.09 (−6)	6.68 (−6)	5.21 (−2)
	α_{L3}	1.22 (−6)	4.82 (−6)	1.36 (−6)	5.70 (−6)	9.50 (−2)
	α_L	1.33 (−4)	1.41 (−4)	1.47 (−4)	1.58 (−4)	4.61 (−1)
	K/L	8.99	8.81	8.98	8.78	4.99
	MNO/L	0.21	0.20	0.21	0.20	0.21
	α	1.36 (−3)*	1.41 (−3)	1.50 (−3)*	1.58 (−3)	2.86
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.999	0.999	0.999	0.998	0.259

Table 7.6 Experimental values of internal conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	α_K 69Br29	α_K 69Fo01	K/L 69Fo01	α 69Fo01
756.74	$(1.45\pm0.15)\times10^{-3}$			
724.23	$(1.56\pm0.14)\times10^{-3}$			
234.70	2.21±0.27	2.35±0.20	4.6±0.1	2.85±0.25

Table 7.7 Evaluation of intensities per decay

Item		Value	Reference
β_1		0.10±0.03%	74An22
β_2		1.1 ±0.1%	74An22
α_1	(Theoretical)	0.00136[a)]	
α_2	(Theoretical)	0.00152[b)]	
α_3	(Theoretical)	2.86	
γ_3'		94.0 ±0.5%	74An22
γ_2^+	(Adopted)	80.6 ±0.8%	
γ_1		54.62±0.24%[b)]	
γ_2		44.04±0.24%[b)]	
γ_3		0.27±0.02%[c)]	

a) Pure M1 transition is assumed.
b) Obtained from the equation $\beta_1+\beta_2+\gamma_1(1+\alpha_1)+\gamma_2(1+\alpha_2)=100$
c) Obtained from the equation $\gamma_3'=\gamma_3(1+\alpha_3)$, while γ_3 equals to 0.19±0.12 and 0.25±0.06 for $w=1/\varepsilon^2$ and $w=1$, respectively by using relative intensities in Table 7.4.

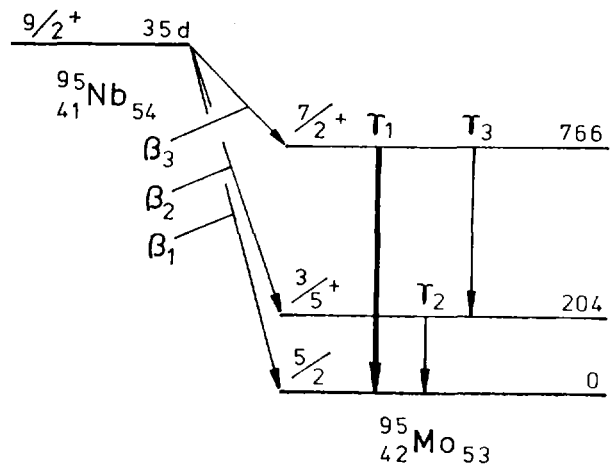

Fig. 7.2 Decay scheme of ^{95}Nb

Table 7.8 Experimental values of beta-ray branching ratios

Beta ray	Maximum energy (keV)	Branching ratio (%)	Reference
β_1	925	<0.075	63La06
		0.030±0.005*	74An22
β_2	721	0.017±0.011	74An22
β_3	160	>99.92	63La06
		99.95	74An22

Table 7.9 Experimental values of relative intensities of conversion electrons and gamma rays

Gamma ray	Energy (keV)	Conversion electron intensity 74An22	$\alpha_K \times 10^3$	Gamma-ray intensity (%)
γ_1	756.8	100	1.28[a]	100
γ_2	204.1	1.0 ±0.3	46[b]	0.028±0.008
γ_3	561.7	0.025±0.005	2.9[a]	0.011±0.003

a) Theoretical value
b) Obtained from the decay of ^{95}Tc (72MeHo)

Table 7.10 Theoretical values of internal conversion coefficients

Item		Value
Atomic number	Z	42
Energy (keV)		765.8
Multipolarity		M1
Conversion coefficients	α_K	1.28 (−3)
	α_{L1}	1.38 (−4)
	α_{L2}	3.05 (−6)
	α_{L3}	1.32 (−6)
	α_L	1.43 (−4)
	K/L	8.97
	MNO/L	0.21
	α	0.00145*
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.999

Table 7.11 Experimental values of internal conversion coefficient

Gamma-ray energy (keV)	α	Reference
765.8	0.0011	63La06
	0.00126±0.00025	67Ei03
	0.00132±0.00013	69Br29

Table 7.12 Evaluation of intensity per decay

Item	Value	Reference
β_1	0.030±0.005%	74An22
γ_2'	0.028±0.008	
α_1 (Theoretical)	1.45×10^{-3} [a]	
γ_1	99.80±0.02[b]	

a) Pure M1 transition is assumed.
b) Obtained from the equation $\beta_1+\gamma_1(1+\alpha_1)+\gamma_2'=100$

References

54Za05 P. P. Zarubin, Izv. Akad. Nauk. SSSR, Ser. Fiz. 18 (1954) 563
63La06 L. M. Langer and D. E. Wortman, Phys. Rev. 132 (1963) 324
67Ei03 N. A. Eissa et al. Acta Phys. Acad. Sci. Hung. 23 (1967) 67
69Fo01 C. Foin, J. Oms, J. Blachot and J. Crancon, Nucl. Phys. A123 (1969) 513
69Br29 S. M. Brahmava and J. H. Hamilton, Phys. Rev. 187 (1969) 1487
72MeHo L. M. Medsker and D. J. Horen, Nuclear Data Sheets, B8 (1972) 29
72Su T. Suzuki, Y. Nakahara and H. Umezawa, EANDC(J) 26L, I-C-4 (1972) 23
72Er08 N. N. Erten and C. D. Corvell, Radiochim. Acta., 18 (1972) 39
74An22 N. M. Antoneva, et al., Izv. Akad. Nauk. SSSR, Ser. Fiz. 38 (1974) 1668

8. ^{106}Ru

^{106}Ru はγ線を放出せずβ崩壊して ^{106}Rh となる (Fig. 8.1)。^{106}Rh はふたたびβ崩壊する。このβ崩壊の約80%は ^{106}Pd の基底状態への転移である。崩壊にともなうγ線は100本以上あるが，大部分は弱く，一番強い512keV γ線の約1%以上のものは7本しかない。これら7本のγ線について評価を行った。

a) 利用できる測定値は，10組の相対強度 (Table 8.1) と主なる3本のγ線の崩壊あたりの強度 (Table 8.2) である。

b) γ線の相対強度の測定値の間には，かなりのバラつきと系統的なずれが見られた (Fig. 8.2)。また，誤差の大きさにかなりの開きがあり，実験値の信頼性の高いと思われるものに誤差の大きいものがあり，$1/\varepsilon^2$ の荷重が不適当と思われる。測定値のどれを採用するかに問題があったので，6組のデータ，5

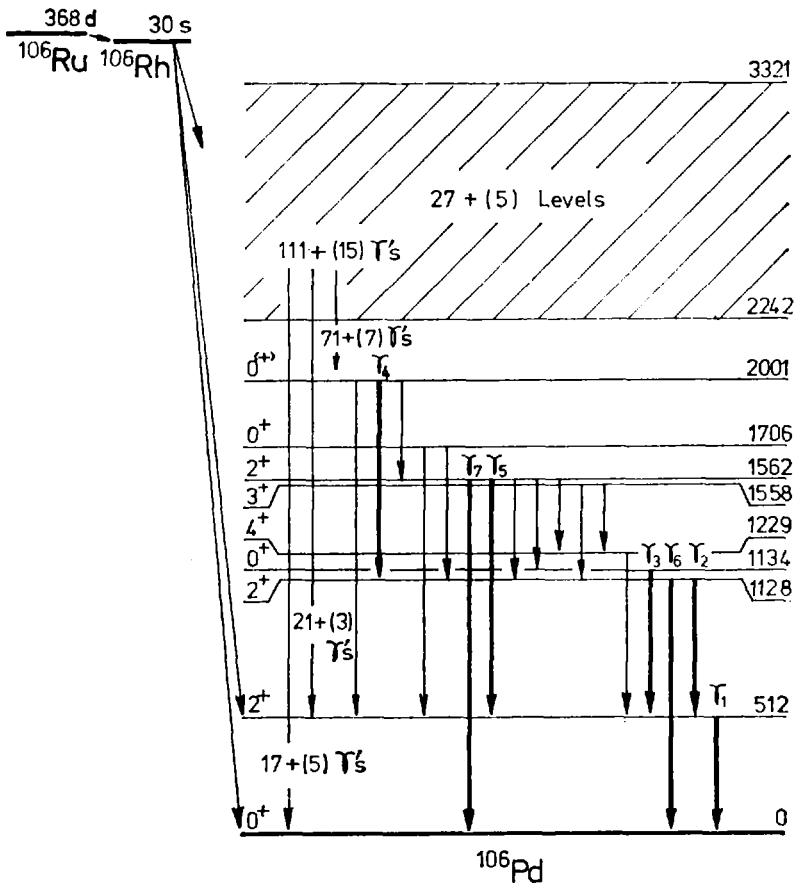

Fig. 8.1 Decay scheme of ^{106}Ru

組のデータ，4組のデータおよび3組のデータに関して平均値をもとめ比較した (Fig. 8.3)。検討の結果，最終的には4組のデータ (750k, 71Ge24, 69St03, 67Ra11) の平均値を採用した (Table 8.4)。

c) γ線の崩壊あたりの強度については，γ_1, γ_2, γ_3 の分離に問題があるので，$\gamma_1+\gamma_2+\gamma_3$ の崩壊あたりの強度の平均値を求めた。これを上に求めた相対強度で配分し，あわせて γ_4～γ_7 の崩壊あたりの強度を算出した。

Table 8.1 Experimental values of relative intensities

Author	γ_1 511.9	γ_2 616.1	γ_3 621.9	γ_4 873.5	γ_5 1050.4	γ_6 1128.1	γ_7 1562.2	Reference
Okano et al.	100	3.59±0.72	47.7±2.4	2.09±0.13	7.27±0.44	1.92±0.04	0.766±0.015	75Ok
Gehrke	100	4.1 ±0.4	48.8±3.0	2.20±0.15	7.6 ±0.5	1.98±0.15	0.80 ±0.05	72Ge24
Marsol et al.	100	3.8	47.6	2.5	7.35	1.93	0.74	72Ma71
Azuma and Sato	100	1.6	45.3	1.8	6.4	1.8	0.7	71Az02
Odru	100	3.2 ±0.2	47.7±0.5	2.3 ±0.1	7.35±0.30	2.15±0.10	0.78 ±0.04	69Od01
Strutz et al.	100	3.37±0.27	47.6±1.5	2.02±0.08	7.06±0.28	1.87±0.08	0.71 ±0.03	69St03
Hattula and Luikkonen	100	3.5 ±0.7	48.0±1.0	1.90±0.12	7.2 ±0.4	1.9 ±0.2	0.86 ±0.10	68Ha35
Forest et al.	100	5 ±1	47.3±6.0	1.80±0.25	6.3 ±1.0	1.60±0.25	0.72 ±0.08	67Fo
Rao and Fink	100	3.5 ±0.3	48.5±1.0	2.1 ±0.1	7.5 ±0.4	2.0 ±0.1	0.81 ±0.05	67Ra11
Vrzal et al.	100	3.4 ±0.4	48.5±1.0	2.0 ±0.1	8.0 ±0.5	2.06	0.80	67Vr05

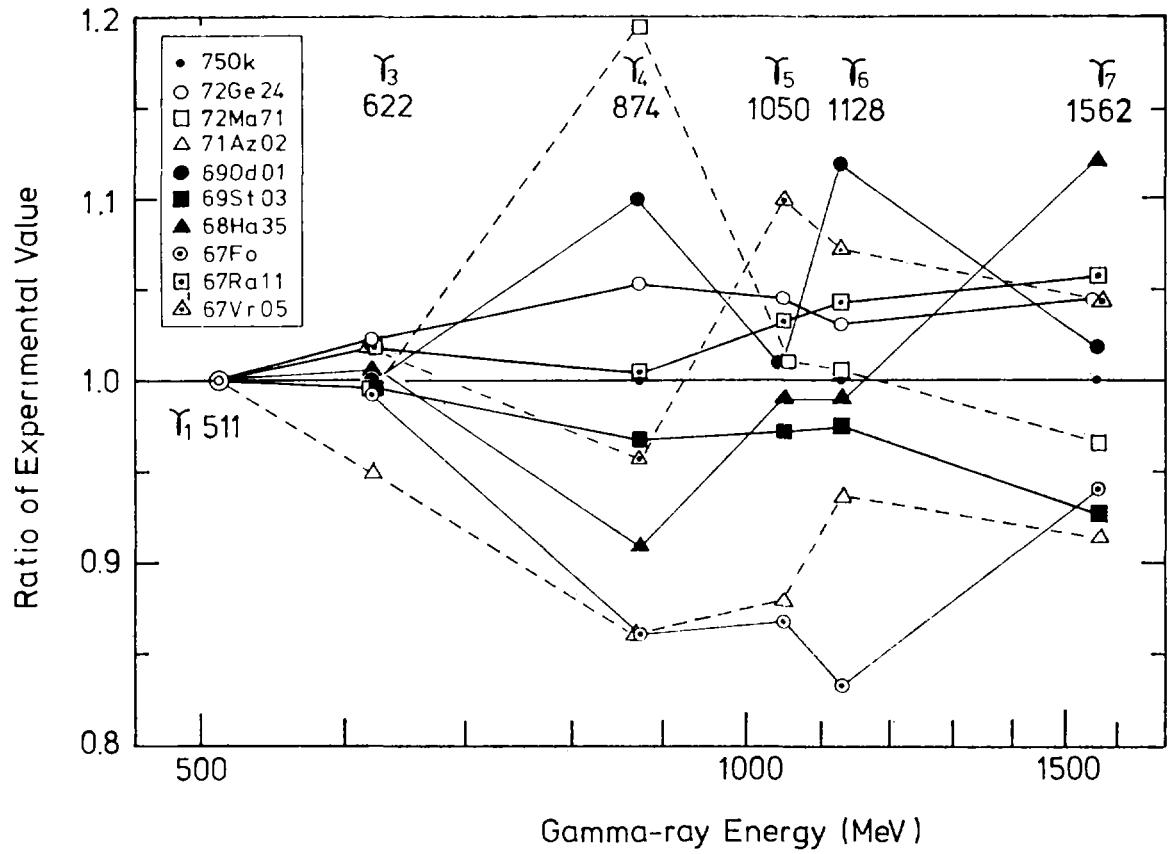

Fig. 8.2 Comparison of experimental values of relative intensities.

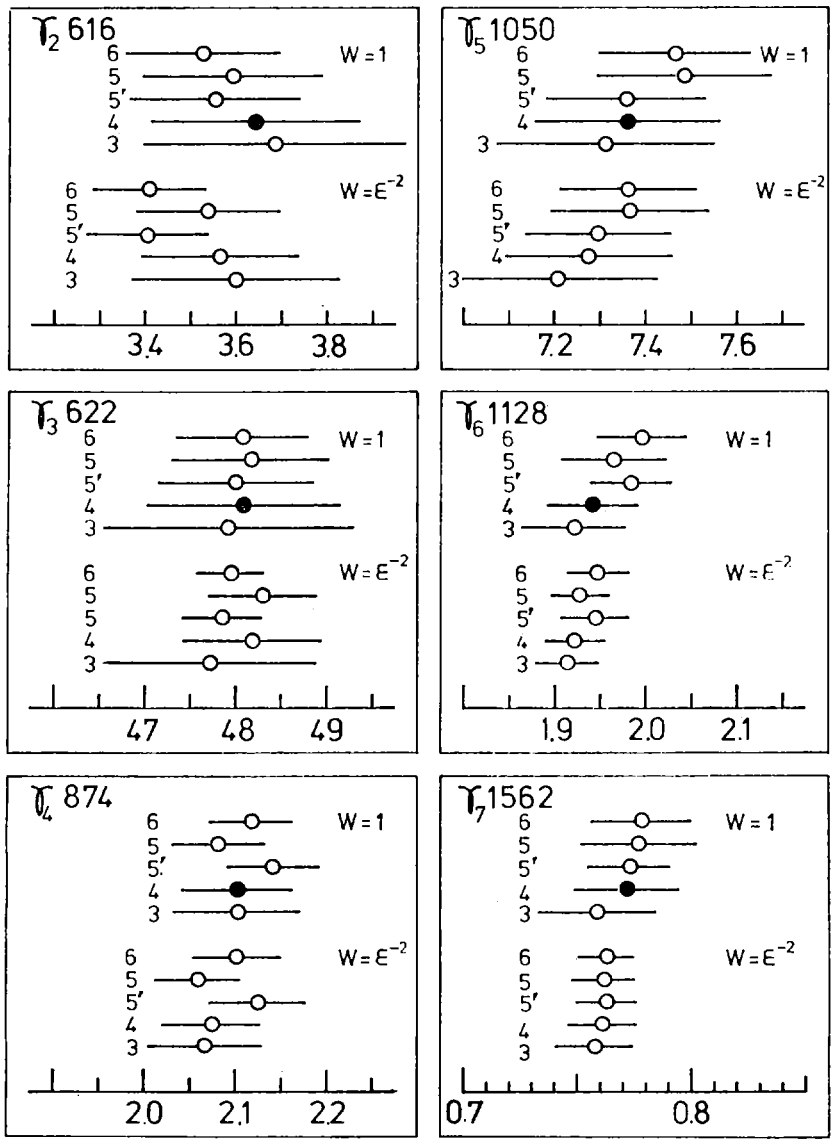

Fig. 8.3 Comparison of average values of relative intensities. The numbers 6, 5, 5′, 4 and 3 mean the numbers of used data. The adopted values are indicated with closed circles.

Table 8.2 Experimental values of intensities per decay

Gamma ray	Oduru 69Od01	Ovechkin et al 66Ov01	Kahn Lyon 53Ka47
γ_1	20.6±0.6	21.0±2.0	20.5±2.0[a]
$\gamma_2+\gamma_3$	10.6±0.3	10.0±1.0	10.4±1.0[a]

a) Errors are estimated by us.

Table 8.3 Average values of intensities per decay

Gamma ray	$w=1$			$w=1/\varepsilon^2$			$w=1, 2^{a)}$		
	Intensity	Error		Intensity	Error		Intensity	Error	
		Int.	Ext.		Int.	Ext.		Int.	Ext.
γ_1	20.70	0.96	0.15	20.62	0.55	0.08	20.68	0.77	0.06
$\gamma_2+\gamma_3$	10.33	0.48	0.18	10.54	0.28	0.12	10.40	0.38	0.14
$\gamma_1+\gamma_2+\gamma_3$	31.03	1.1	0.09	31.16	0.64	0.07	31.08	0.85	0.06

a) Weights for 69Od01, 66Ov01 and 53Ka47 are 2, 1 and 1, respectively.

Table 8.4 Evaluated values

Gamma ray	Energy (keV)	Relative intensity	Intensity per decay (%)
γ_1	511.9	100	20.5 ±0.6
γ_2	616.1	3.64 ±0.23	0.75 ±0.05
γ_3	621.9	48.1 ±1.1	9.85 ±0.31
γ_4	873.5	2.10 ±0.06	0.431±0.017
γ_5	1050.4	7.36 ±0.21	1.51 ±0.06
γ_6	1128.1	1.94 ±0.05	0.398±0.015
γ_7	1562.2	0.772±0.023	0.158±0.007

References

53Ka47 B. Kahn and W. S. Lyon, Phys. Rev. 92 (1953) 902

66Ov01 V. V. Ovechkin, T. K. Ragimov and D. F. Rau, Soviet J. Nucl. Phys. 4 (1966) 484

67Fo H. Forest, M. Huguet et C. Ythier, C. R. Acad. Sc. Paris Ser. B 264 (1967) 1614

67Ra11 P. Venugopala Rao and R. W. Fink, Nucl. Phys. A103 (1967) 385

67Vr05 Ya. Vrzal, E. P. Grigorev, A. V. Zolotavin, J. Liptak, V. O. Sergeev and J. Urbanets, Izv. Akad. Nauk. SSSR, Ziz. Zemli 31 (1967) 696, Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser. 31 (1967) 692

68Ha35 J. Hattula and E. Liukkonen, Ann. Acad. Fennicae Ser. A VI. No. 274 (1968)

69Od01 P. Odru, Radiochimica Acta 12 (1969) 64

69St03 K. D. Strutz, H. J. Strutz und A. Flammersfeld, Z. Phys. 221 (1969) 231

71Az02 T. Azuma and Y. Sato, Ann. Rep. Rad. Cent. Osaka 12 (1971) 28

72Ge24 R. J. Gehrke, ANCR-1088 (1972) 392

72Ma71 C. Marsol, O. Rahmouni et G. Ardisson, C. R. Acad. Sc. Paris B275 (1972) 805

75Ok K. Okano, Y. Kawase and S. Yamada, Ann. Rep. Res. Reactor Inst. Kyoto Univ. Vol. 8 (1975) 86

9. ^{134}Cs

^{134}Cs は β 崩壊して，約11本の γ 線を放射する。^{134}Ba の基底状態への β 転移はないので γ 線の強度のみから崩壊あたりの強度が求められる。ここでは，9本の γ 線の評価値を求めた。

a) γ 線の相対強度と崩壊あたりの強度の測定値は非常に多い (Table 1, Table 2)。内部変換電子に関しても4つの測定値がある。

b) 先ず γ 線の測定値を相対強度になおして，その評価値を求め，つづいて，K軌道内部変換電子の相対強度の評価値をも求めた。内部変換係数は605 keV γ 線で理論値にあわせた。γ 線の崩壊あたりの強度を求めるためにはスピンの変化が2のときは E2 のみであるから理論値を使い，他のときは M1 の混合がわからないので実験値を使った。

c) γ 線の相対強度の評価値を求めるにあたって測定値の信頼性を検討した。平均値と各データの比を Fig. 9.2 にしめした。各データにかなりの散らばりが認められる。評価値を求めるにあたっては，4つのデータを採用し，ε^{-2} 荷重の平均値を求めた。

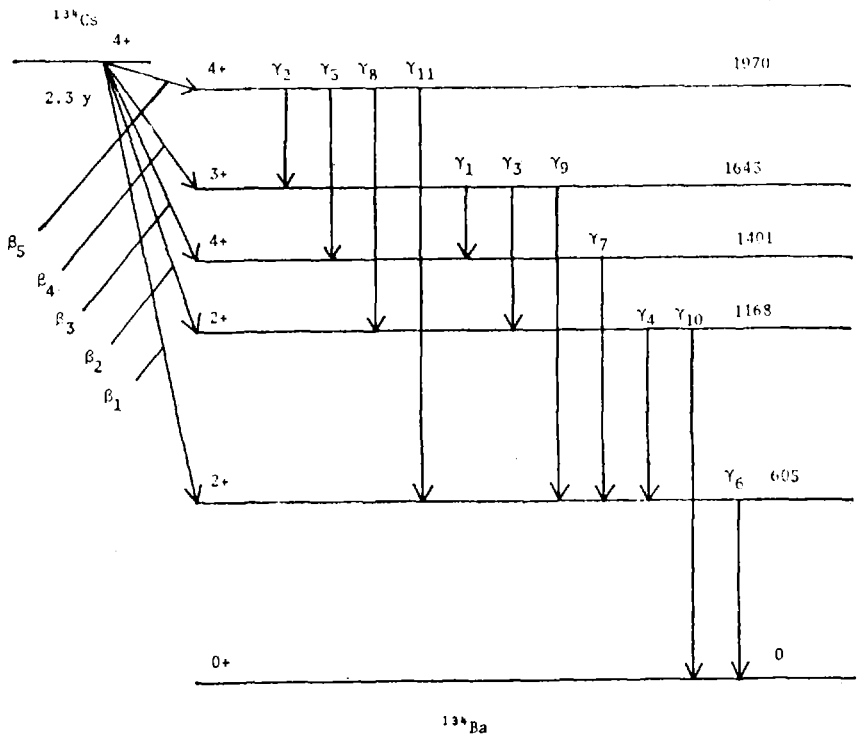

Fig. 9.1 Decay scheme of ^{134}Cs

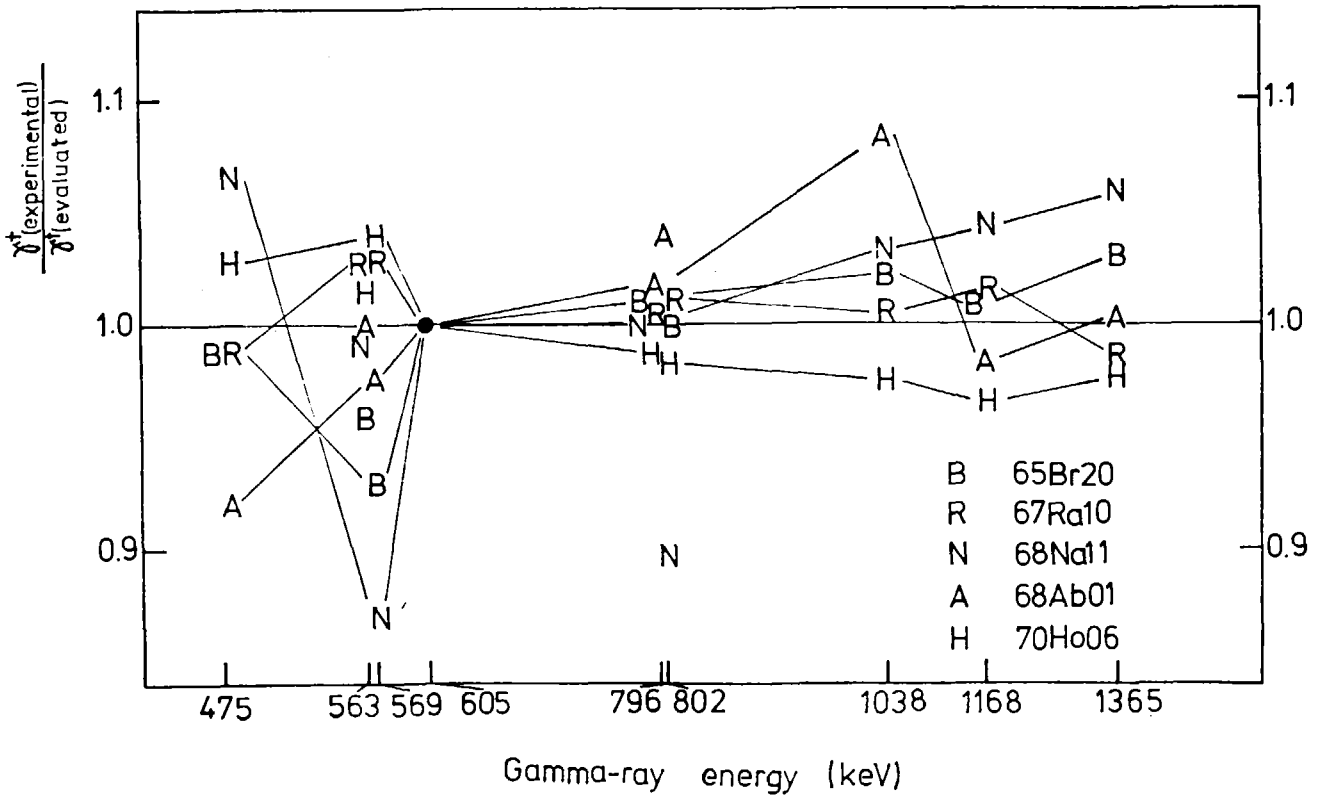

Fig. 9.2 Ratios of relative gamma-ray intensities to the evaluated relative intensities.

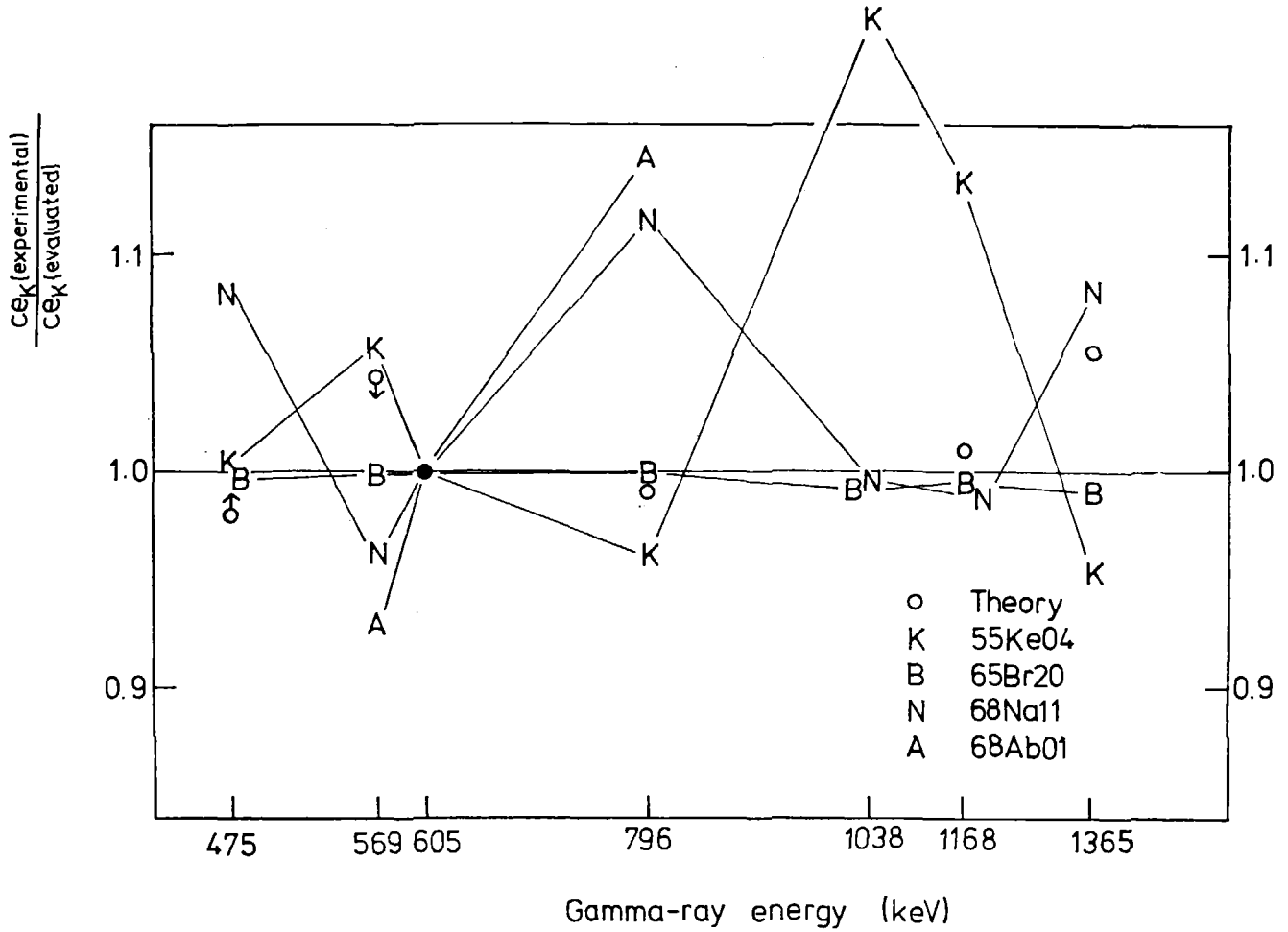

Fig. 9.3 Ratios of relative conversion electron intensities to the evaluated relative intensities. These values are normalized at 605 keV. Theoretical values (68HaSe) are in good agreement with the evaluated values within 5%.

Table 9.1 Experimental values of relative intensities

Energy (keV)	Nagpal 68Na11	Bashaindy Abd El-Haliem 66Ba57	Brown Ewan 65Br20	Segaert et al. 63Se09	Yamamoto 60Ya03	Girgis et al. 59Gi49	Keister et al. 55Ke04	Verhaeghe et al. 54Ve09
106								
200		0.039±0.016						
202		0.022±0.010						
204		0.028±0.010						
206		0.018±0.007						
396		0.88 ±0.12						
458		0.67 ±0.10						
472		0.39 ±0.07						
475	1.67 ±0.11	0.31 ±0.05	1.54±0.8	1.4 ±0.04	1.72	1.3 ±0.4	1.8±0.5	4
478		0.44 ±0.07						
505		0.90 ±0.13						
563	8.83 ±0.46	8.86 ±0.83	8.5 ±0.8		12.2		9±2	15
569	13.61 ±0.70	14.18 ±1.12	14.6 ±1.4	20±5	26.3	24±4	13±2	20
581		0.52 ±0.08						
605	100±3	100	100±5	100	100	100	100	100
796	89.25 ±4.47	48.08 ±3.55	90±9	91±10	46.55	92±7	91±4	100
802	8.12 ±0.42	1.43 ±0.25	9.0 ±1.5		4.85		18±4	15
909		3.93 ±0.40						
924		2.68 ±0.29						
962		1.36 ±0.32						
1038	1.06 ±0.06	1.55 ±0.21	1.06±0.10	1.5 ±0.3	0.36	1.5 ±0.3	0.9±0.2	4
1168	2.06 ±0.14	2.31 ±0.30	1.99±0.17	2.4 ±0.05	0.44	2.2 ±0.3	3.0±0.4	4
1365	3.55 ±0.19	4.76 ±0.52	3.46±0.30	3.5 ±0.07	0.57	3.3 ±0.5	4.6±0.3	4
1402		2.28 ±0.33						
1567		3.33 ±0.40	0.01	0.13±0.08		0.12±0.05		
1580	0.025±0.003							
1644		2.92 ±0.32						
1770		3.05 ±0.33						
1846		4.88 ±0.62						
1971		4.89 ±0.51						

Table 9.2 Experimental values of intensities per decay

Gamma-ray energy (keV)	Hofmann* et al. 70Ho06	Abdul-Malek* Naumann 68Ab01	Nagpal 68Na11	Raeside* et al. 67Ra10	Brown Ewan 65Br20
242	<0.08			0.02±0.01[a]	
326	<0.08			0.02±0.01[a]	
475	1.57±0.08	1.4±0.2	1.62 ±0.11	1.51±0.16	1.5 ±0.15
563	8.86±0.45	8.7±1.0	8.60 ±0.46	8.96±0.84	8.3 ±0.8
569	16.0 ±1.0	15.0±1.6	13.30 ±0.70	15.81±1.1	14.2 ±1.4
605	98.1 ±6.0	98.0	97.50 ±3.0	98.04	97.5
796	86.0 ±4.3	88.4±9.1	87.00 ±4.47	87.79±6.6	87.8 ±9
802	8.70±0.44	9.2±1.0	7.90 ±0.42	8.94±0.8	8.8 ±1.5
1038	0.99±0.06	1.1±0.6	1.04 ±0.06	1.02±0.08	1.03±0.1
1168	1.86±0.10	1.9±0.2	2.01 ±0.14	1.96±0.22	1.94±0.15
1365	3.23±0.17	3.3±0.3	3.47 ±0.19	3.25±0.32	3.37±0.30
1580			0.025±0.003[b]		

a) Intensities are measured with the bend-crystal spectrometer.

b) No gamma ray was found (69Si16).

Table 9.3 Experimental values of conversion electron intensities

Gamma-ray energy (keV)	Nagpal 68Na11 $\times 10^3$	Abdul-Malek Naumann 68Ab01 Rel. Int.	Brown Ewan 65Br20 $\times 10^4$	Van Wijngaaden Connor 64Va06 Int. per decay	Trehan et al. 63Tr05 $\alpha_K \times 10^3$	Keister et al. 55Ke04 Rel. Int.
475	15.97± 3.2		1.41 ±0.06			3 ±1
563	55.00± 5.50	10.5±0.7	4.65 ±0.2			11.9±0.6
569	117.00±11.70	22.4±1.2	11.62 ±0.5		8.28±1	26 ±1
605	494.00±49.40	98.0	47.3 ±1.0	4.69×10^{-3}	5.5 ±0.4	100.
796	252.10±25.21	51.4±2.0	21.6 ±0.8			44 ±1
802	21.90± 4.4	4.5±1.0	2.26 ±0.1		2.6 ±0.3	3.9±0.5
1038	1.75± 0.18		0.167±0.009	$(1.82\pm0.18)\times10^{-5}$	1.53±0.2	0.43±0.08
1168	2.11± 0.20		0.204±0.010	$(1.82\pm0.18)\times10^{-5}$	0.9 ±0.2	0.49±0.08
1365	2.75± 0.27		0.241±0.010	$(2.30\pm0.20)\times10^{-5}$	0.7 ±0.15	0.49±0.08

Table 9.4 Relative intensities obtained from intensities per decay

Gamma-ray energy (keV)	Hofmann* et al. 70Ho06	Abdul-Malek* Naumann 68Ab01	Nagpal 68Na11	Raeside* et al. 67Ra10	Brown* Ewan 65Br20
242	<0.082			$0.020_4\pm0.010$[a]	
326	<0.082			$0.020_4\pm0.010$[a]	
475	1.60±0.082	1.43±0.18	1.66±0.11	1.54 ±0.14	1.54±0.15
563	9.03±0.46	8.88±0.79	8.82±0.47	9.14 ±0.71	8.5 ±0.8
569	16.3 ±1.0	15.31±1.19	13.64±0.72	16.13 ±0.72	14.6 ±1.4
605	100 ±6.1	100 ±7.3[b]	100 ±3.1	100 ±5.3[b]	100 ±7.5
796	87.7 ±4.4	90.2 ±6.6	89.2 ±4.6	89.6 ±4.8	90. ±9
802	8.87±0.45	9.39±0.76	8.10±0.43	9.12 ±0.66	9.0 ±1.5
1038	1.01±0.06	1.12±0.61	1.07±0.06	1.04 ±0.06	1.06±0.10
1168	1.90±0.10	1.94±0.15	2.06±0.14	2.00 ±0.20	1.99±0.17
1365	3.29±0.17	3.37±0.18	3.56±0.20	3.31 ±0.27	3.46±0.30

a) See footnote a) of Table 9.2.

b) Errors are our estimation.

Table 9.5 Average values of relative intensities

Gamma-ray energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$ Average value	Error Int.	Error Ext.	$w=1$ or 0 Average value	Error Int.	Error Ext.
242	0.020_4	0.010[a]				
326	0.020_4	0.010[a]				
475	1.558	0.057	0.029	1.528	0.067	0.035
563	8.88	0.29	0.14	8.89	0.32	0.14
569	15.7	0.46	0.40	15.58	0.50	0.40
605	100	3.2	0	100	3.3	0
796	89.0	2.6	0.62	89.4	2.8	0.58
802	9.03	0.33	0.11	9.10	0.44	0.11
1038	1.035	0.036	0.012	1.06	0.16	0.023
1168	1.971	0.042	0.020	1.958	0.069	0.023
1365	3.363	0.096	0.039	3.36	0.10	0.038

a) See footnote a) of Table 9.2.

Table 9.6 Experimental values of relative conversion electron intensities

Gamma-ray energy (keV)	Nagpal* 68Na11	Abdul-Malek* Naumann 68Ab01	Brown* Ewan 65Br20	Keister* et al. 55Ke04
475	3.23±0.65		2.98 ±0.13	3 ±1
563	11.1 ±1.1	10.71±0.71	9.83 ±0.42	11.9 ±0.6
569	23.7 ±2.4	22.9 ±1.2	24.6 ±1.1	26 ±1
605	100 ±10	100 ±4[a]	100 ±2.1	100 ±4[c]
796	51.0 ±5.1	52.5 ±2.0	45.7 ±1.7	44 ±1[c]
802	4.43±0.89	4.6 ±1.0	4.78 ±0.21	3.9 ±0.5
1038	0.35±0.036		0.353±0.019	0.43±0.08
1168	0.43±0.041		0.431±0.021	0.49±0.08
1365	0.56±0.055		0.510±0.021	0.49±0.08

a) Errors are our estimation

Table 9.7 Evaluated values of relative conversion electron intensities

Gamma-ray energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$ Evaluated value	Error Int.	Error Ext.	$w=1$ or 0 Evaluated value	Error Int.	Error Ext.
475	2.99	0.12	0.034	3.07	0.40	0.081
563	10.59	0.30	0.50	10.89	0.38	0.43
569	24.61	0.60	0.71	24.28	0.76	0.67
605	100	1.7	0	100	2.9	0
796	45.77	0.78	1.75	48.3	1.5	2.0
802	4.64	0.19	0.18	4.43	0.37	0.19
1038	0.356	0.017	0.011	0.379	0.030	0.026
1168	0.433	0.018	0.009	0.449	0.031	0.020
1365	0.515	0.019	0.012	0.519	0.033	0.020

Table 9.8 Theoretical values of conversion coefficients[a)]

Gamma-ray energy (keV)	E2 conversion coefficients					M1 conversion coefficients				
	$\alpha_K \times 10^3$	$\alpha_L \times 10^3$	K/L	MNO/L	$\alpha \times 10^3$	$\alpha_K \times 10^3$	$\alpha_L \times 10^3$	K/L	MNO/L	$\alpha \times 10^3$
475	9.52	1.45	6.54	0.25	11.3	13.0	1.67	7.77	0.26	15.1
563	6.04	0.88	6.86	0.25	7.14	8.54	1.09	7.83	0.26	9.91
569	5.88	0.85	6.88	0.25	6.94	8.32	1.06	7.83	0.26	9.65
605	5.03	0.72	6.98	0.25	5.93					
796	2.58	0.35	7.38	0.25	3.02					
802	2.54	0.34	7.39	0.25	2.97					
1038	1.43	0.19	7.69	0.25	1.67	2.00	0.25	7.97	0.26	2.32
1168	1.12	0.14	7.80	0.25	1.30					
1365	0.819	0.104	7.91	0.25	0.949					

a) These values are taken from ref. 68HaSe and the ratios of MNO/L are taken from ref. 75Dr.

Table 9.9 Adopted values of conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	Conversion coefficient[a)] $\alpha_K \times 10^3$
475	9.65±0.53
563	6.7 ±0.35
569	7.90±0.33
605	5.03
796	2.58
802	2.54
1038	1.73±0.10
1168	1.12
1365	8.19

a) Conversion coefficients with errors are experimental values. These values are normalised to the theoretical values of 5.03×10^{-2} at 605 keV. Others are theoretical values obtained from ref. 68HaSe.

Table 9.10 Evaluated values of beta-ray branching ratios

Branch	Maximum energy (keV)	Branching ratio (%)
β_1	1454	<0.005[a)]
β_2	891	<0.045[a)]
β_3	658	69.9±0.7
β_4	416	2.5±0.1
β_5	89	27.6±0.6

a) These values are taken from ref. 64Va06.

Table 9.11 Evaluated values

Gamma ray	Energy (keV)	Relative intensity	Intensity per decay
γ_1	242	0.020_4±0.010[a)]	0.020±0.010
γ_2	326	0.020_4±0.010[a)]	0.020±0.010
γ_3	475	1.56 ±0.06	1.52 ±0.08
γ_4	563	8.88 ±0.29	8.48 ±0.33
γ_5	569	15.7 ±0.5	15.3 ±0.7
γ_6	605	100.0 ±3.2	97.50 ±0.07
γ_7	796	89.1 ±2.7	85.08 ±0.42
γ_8	802	9.03 ±0.33	8.81 ±0.43
γ_9	1038	1.04 ±0.04	1.01 ±0.05
γ_{10}	1168	1.97 ±0.04	1.92 ±0.07
γ_{11}	1365	3.36 ±0.10	3.28 ±0.14

a) See footnote a) of Table 9.2.

Table 9.12 Evaluated values for primary standard

Gamma ray	Energy (keV)	Intensity per decay (%)	Relative intensity (%)	Estimation
γ_6	605	97.50±0.07	100.00	a)
γ_7	796	85.08±0.42	87.26±0.43	b)

a) Beta transition to the first excited state is neglected. These values are obtained from the 605 keV and 1168 keV gamma-ray intensities.

b) These values are obtained from the four gamma transition intensities to the first excited stated such as the 563 keV, 796 keV, 1038 keV and 1365 keV gamma rays. In the error estimation of the relative intensity the reror of the 1168 keV gamma ray is not included.

References

54Ve09 J. Verhaeghe and J. Demuynk, Compt. Rend. 239 (1954) 1474

55Ke04 G. L. Keister, E. B. Lee and F. H. Schmidt, Phys. Rev. 97 (1955) 451

59Gi49 R. K. Girgis and R. Van Lieshout, Nucl. Phys. 12 (1959) 672

60Ya03 Y. Yamamoto, Thesis, Osaka Univ. (1960)

63Se09 O. J. Segaert, J. L. Demuunck, L. V. Dorikens-Vanpreat and M. Dorikens, Nucl. Phys. 43 (1963) 76

63Tr05 P. N. Trehan, J. D. French and M. Goodrich, Phys. Rev. 131 (1963) 2625

64Va06 W. Van Wijngaaden and R. D. Connor, Can. J. Phys. 42 (1964) 504

65Br20 R. A. Brown and G. T. Ewan, Nucl. Phys. 68 (1965) 325

66Ba57 E. Bashancy and A. Abd El-Haliem, ATKE 11-54 (1966) 316

67Ra10 D. E. Raeside, J. J. Reidy and M. L. Wiedenbeck, Nucl. Phys. A98 (1967) 54

68Ab01 A. Abdul-Malek and R. A. Naumann, Nucl. Phys. A106 (1968) 225

68HaSe R. S. Hager and E. C. Seltzer, Nuclear Data Tables A4 (1968) 1

68Na11 T. S. Nagpal, Can. J. Phys. 46 (1968) 2579

69Si16 B. Singh, A. H. Kukoc and H. W. Taylor, Can. J. Phys. 47 (1969) 1863

70Ho06 S. Hofmann, H. K. Walter and A. Weitsch, Z. Phys. 230 (1970) 37

10. ^{137}Cs

^{137}Cs は，β 崩壊して 662 keV の γ 線を放出する。この γ 線の崩壊あたりの強度を求めた。

a) 実験値を Table 10.1 に示す。測定方法は 2 つあり，ひとつは β 線のスペクトルを解析し，基底状態と第 1 励起状態との β 転移の割合と，内部変換電子を測定し，γ 線の崩壊あたりの強度を求めたもの，もうひとつは，γ 線と β 線の強度測定により崩壊あたりの強度を求めたものである。

b) γ 線と β 線の強度測定のうち，β-γ 同時計数法により比較した精密な 2 つの実験の重み付平均より崩壊あたりの強度を求めた。β 線のスペクトルを解析する方法とは，系統的な差が，実験結果に見られる。これは，基底状態への β 転移が第 2 禁止転移で スペクトルが 許容型ら 大きくずれているためと 思われる。

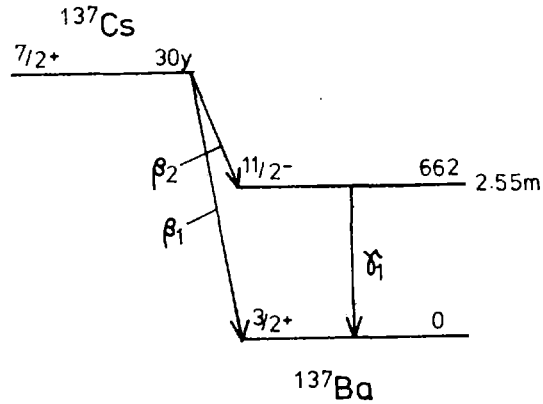

Fig. 10.1 Decay scheme of ^{137}Cs

Table 10.1 Experimental values of the gamma-ray intensity per decay

Author	intensity per decay (%)	Reference
Ricci	84.3±2.1	57Ri41
Yoshizawa	81.4±0.9	58Yo01
Daniel, Schmitt	82.8±0.3	62Da05
Merritt, Taylor	85.7±0.9*	65Me03
Hsue et al.	82.3±0.8	66Hs02
Zarnowiecki	84.6±0.6	67Za
Hansen et al.	85.1±0.4*	69Ha05

Table 10.2 Average values of the intensity per decay

$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
Average	Error		Average	Error	
value	Int.	Ext.	value	Int.	Ext.
85.2*	0.4*	0.2	85.4	0.5	0.3

Table 10.3 Experimental values of conversion coefficients

Author	α_K	K/L	K/LMN	α	Ref.
Kelly			4.57±0.05		52Ke02
Maerker, Birkhoff			4.52±0.07		53Ma14
Yoshizawa	0.097±0.005	5.66±0.04			58Yo01
Daniel, Schmitt	0.093±0.003				62Da05
Geiger et al.		5.21±0.04†			62Ge09
Merritt, Taylor	0.0907±0.0010			0.1100±0.0011	65Me03
Hsue et al.	0.101±0.007				66Hs02
Kartashov et al.		5.29±0.23			67Ka24
Baldinger, Haller		5.25±0.30			69Ba53
Hansen et al.	0.0916±0.0004		4.41±0.04	0.1124±0.0006	69Ha05
Planskoy			4.35±0.04		69Pl08
Legrand et al.	0.0901±0.0011			0.1105±0.0010	73Le30

† Calculated from the values of $K=1\pm0.02$ $\Sigma L=0.192\pm0.006$.

Table 10.4 Theoretical values of conversion coefficients

Item		Value
Atomic	Z	56
Energy	keV	661.64
Multipolarity		M4
Conversion coefficients	α_K	9.26 (−2)
	α_{L1}	1.33 (−2)
	α_{L2}	1.88 (−3)
	α_{L3}	1.54 (−3)
	α_L	1.67 (−2)
	K/L	5.55
	MNO/L	0.27
	α	0.114
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.898

Table 10.5 Evaluated value

Gamma ray	Energy (keV)	Intensity per decay (%)	Estimation
γ_1	662	85.2±0.4	a)

a) This value is obtained from ref. 65Me03 and ref. 68Ha05.

References

52Ke02 W. C. Kelly, Phys. Rev. 85 (1952) 101
53Ma14 R. E. Maerker and R. D. Birkhoff, Phys. Rev. 89 (1953) 1159
57Ri41 R. A. Ricci, Physica 23 (1957) 693
58Yo01 Y. Yoshizawa, Nucl. Phys. 5 (1958) 122
62Da05 H. Daniel and H. Schmitt, Z. Phys. 168 (1962) 292
62Ge09 J. S. Geiger, R. L. Graham and F. Brown, Can. J. Phys. 40 (1962) 1258
63Ku09 T. J. Kurey, Jr. and R. R. Roy, Nucl. Phys. 44 (1963) 670
65Me03 J. S. Merritt and J. G. V. Taylor, Anal. Chem. 37 (1965) 351
66Hs02 S. T. Hsue, L. M. Langer and S. M. Tang, Nucl. Phys. 86 (1966) 47
66Ve01 L. J. Velinsky, M. A. Velinsky and S. K. Haynes, Proc. Intern. Conf. Internal Conversion Process, Nashville, Tenne. (1965)
67Ka24 V. M. Kartashov, O. V. Stakhov, A. G. Troitskaya and G. A. Shevelev, Soviet J. Nucl. Phys. 6 (1968) 656
67Za K. Zarnowiecki, Nucl. Instr. Methods 55 (1967) 329
68HaSe R. S. Hager and E. C. Seltzer, Nuclear Data A4 (1968) 1
69Ba53 E. Baldinger and E. Haller, Helv. Phys. Acta 49 (1969) 949
69Ha05 H. H. Hansen, G. Lowenthal, A. Spernol, W. van der Eijk and R. Vaninbröukx, Z. Phys. 218 (1969) 25
69Pl08 B. Planskoy, Nucl. Instr. Methods 73 (1969) 205
73Le30 J. Legrand, J. P. Brenthon and F. Lagoutine, CEA-R-4428 (1973)

11. ^{203}Hg

^{203}Hg は陰電子崩壊して，ほとんど100%が279keVの励起状態に転移する。この励起状態からγ線を放出するが，20%近くは内部変換により電子を放出する。それ故，この内部変換電子の強度または，全内部変換係数αより崩壊あたりのγ線強度が求められる。幸い多くの内部変換係数の実験がある。

a) 基底状態へのβ転移の上限が測定されている。それから $\log ft > 12$ をる。この転移は一義的第1禁止転移であり，この $\log ft$ 値は大きいが，この付近で ^{198}Au の $\log ft = 11.2$ の例がある。内部変換係数の精度とくらべてこのβ転移は無視することができる。

b) K殻内部変換係数の測定は非常に多い。L_I, L_{II}, L_{III}, M殻係数の測定もある。この転移は M1 と E2 の混合だけでは，これらの量をすべて説明することはできず，penetration effect を考慮に入れて説明されている (64He19, 74Ha29)。その結果，E2/M1 混合比は 1.32±0.11 (E2＝57±2%) である。

γ線強度と関係なく求められた内部変換係数とγ線の強度測定により求られたものがある。279keV付近に信頼できる標準がないので，γ線強度に関係するものは信頼性が低いと言わざるをえない。

γ線強度の校正に関係しない α_K は Night et al (58Ni28), Croft et al (6Cr14), Herrander and Graham (64He19) などがあり，これらの値は一致している。この3つの値を平均すれば，α_K＝0.163±0.002 となる。これに Herrlander and Graham の α_L, α_L, α_M, α_{N+O} を使って，$\alpha_L+\alpha_M+\alpha_{NO}$＝0.0637±0.0007 を加えれば，$\alpha$＝0.227±0.002 をえる。最近の Hansen and Mouchel (74Ha29) の値はγ線強度に関係しているが，この値とくらべて誤差の範囲程度であるが僅かに大きい。

αを測定した精度の高いものとして，Taylor, Walz et al と Hansen and Mouchel の3つの値がある。Walz et at のものは2つの値をえたがその間に誤差以上のちがいがあり，Hansen andMouckel の測定はγ線強度に関係するところがある。しかし，これらは精度が高いαの測定であるから，これら3つのαの荷重1の平均値を採用し，これからγ線の崩壊あたりの強度を求めた。Walz et al の値は大きい方のみを採用した。

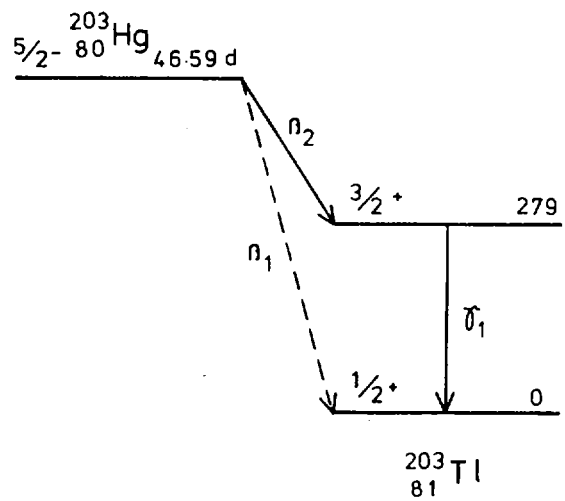

Fig. 11.1 Decay scheme of ^{203}Hg

Table 11.1 Beta transition to the ground state (unique 1st forbidden)

Author	Branch	Intensity (%)	logft	Ref.
Marty	β_1	$<4\times10^{-3}$	<12	55Ma40
Wolfson		$<3\times10^{-2}$		56Wo09

Table 11.2 Internal conversion coefficients for ^{203}Hg 279 keV gamma ray

Author	α_K $\times 10^3$	K/L	K/LMN	L/MNO	α $\times 10^3$	Ref.
Saxon	180	3		≥ 12		48Sa30
Slätis, Siegbahn		3		$\ll 12$	247	49Sl16
Wilson, Curran	185		3.71			51Wi22
Heath, Bell	230 ±10					52He18
Johansson	210 ±10					52Jo23
Burford	158 ± 3		2.59±0.04		(219 ±4)	53Bu79
Metzger	163 ± 6	3.5		3.2		54Me08
Thulin, Nybö	154 ±15		2.78±0.20			54Th17
Wapstra et al	141 ±15	3.34±0.10	2.55±0.05	3.5 ±0.3		54Wa12
Marty	205 ±20	3.15±0.15		4.5 ±1.5		55Ma40
Azuma	160			2.80		55Az54
Doerner, Weber	147 ± 2	3.29				55Do12
Bell, Skarsgard	140					56Be97
Nordling et al	159 ± 4	3.24±0.05				56No26
O'Friel, Weber	150 ±10	3.2				56Of03
Wapstra, Nijgh	164 ± 5	3.35±0.05				56Wa
Wolfson	130 ±10		2.75			56Wo09
Nejgh et al	163 ± 3	3.39±0.06	2.60±0.06	3.28±0.10	(226 ±4)	58Ni28
Peelle	163 ± 6					60Pe22
Ramaswamy, Jastram	195 ±14					60Ra04
Stockendal	160 ±15					60St21
Hurley. Ferguson	175 ± 4					61Hu15
Subba Rao	150 ±20	3.1				61Su05
Sujkowski	164 ± 4	3.65±0.26	2.75±0.19	3.09±0.21	(224 ± 4)	61Su10
Taylor	163.3± 1.7				226.2± 1.9	62Ta06
Burmeister et al	168 ± 8					63Bu09
Croft et al	162 ± 3					63Cr14
Herrlander et al	163 ± 3	3.37±0.08	2.56±0.06	3.16±0.08	(226.7± 3)	64He19
Taylor	164.2± 2.1				227.3± 2.4*	64He19
Walther et al					222 ±15	65Wa13
Rao Jnanananda	158 ±24				210 ±30	65Ra12
Bosch et al	140 ±30		2.4 ±0.3			67Bo
Andersen	127	3.28±0.13		3.26±0.26		69An
Walz et al					226.7± 0.7*	71Wa
Walz et al					224.0± 0.9	71Wa
Hansen, Mouchel	165.3± 1.7	3.48±0.12	2.64±0.03	3.14±0.12	227.9± 2.4*	74Ha29

Table 11.3 Theoretical internal conversion coefficients

Item		Value	
Atomic number	Z	81	
Energy (keV)		279.19	
Multipolarity		M1	E2
Conversion coefficients	α_K	4.06 (−1)	7.67 (−2)
	α_{L1}	6.21 (−2)	1.07 (−2)
	α_{L2}	6.21 (−3)	2.40 (−2)
	α_{L3}	4.68 (−4)	1.23 (−2)
	α_L	6.88 (−2)	4.70 (−2)
	K/L	5.91	1.63
	MNO/L	0.31	0.32
	α	0.497	0.139
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.668	0.878

Table 11.4 Average values of the total internal conversion coefficient. These values are obtained from three data of Taylor (62Ta06, 64He19), Walz et al. (71Wa) and Hansen and Mouchel (73Ha29).

$w=1$			$w=1/\varepsilon^2$		
α	Error		α	Error	
	Int.	Ext.		Int.	Ext.
0.2273	0.0003	0.0012	0.2268	0.0006	0.0004

Table 11.5 Evaluation of gamma-ray intensity per decay

Item	Value
β_1	neglect
Other gamma ray	neglect
Adopted value of α	0.2273 ± 0.0012
Adopted value of γ_1	$81.48 \pm 0.08\%$

References

48Sa30 D. Saxon, Phys. Rev. 74 (1948) 849
49Sl16 H. Slätis and K. Siegbahn, Phys. Rev. 75 (1949) 318
51Wi22 H. W. Wilson and S. C. Curran, Phil. Mag. 42 (1951) 762
52He18 R. L. Heath and P. R. Bell, Phys. Rev. 87 (1952) 176A
52Jo23 S. A. E. Johansson, Ark. Fys. 3 (1952) 533
53Bu79 A. O. Burford, Thesis Vanderbilt University, TID 15. 684 (1953)
54Me08 F. R. Metzger, Private communication (1954)
54Th17 S. Thulin and K. Nubö, Ark. Fys. 7 (1954) 289
54Wa12 A. H. Wapstra, D. Maeder, G. J. Nijgh and L. Th. M. Ornstein, Physica 20 (1954) 169

55Az54 T. Azuma, Bull. Naniwa University 3A (1955) 327
55Do12 R. K. Doerner and A. H. Weber, Phys. Rev. 99 (1956) 672
55Ma40 N. Marty, Compt. rend. 240 (1955) 291
56Be97 R. E. Bell and H. M. Skargard, Can. J. Phys. 34 (1956) 745
56No26 C. Nordling, K. Siegbahn, E. Sokolowski and A. H. Wapstra, Nucl. Phys. 1 (1956) 326
56Of03 Z. O'Friel and A. H. Weber, Phys. Rev. 101 (1956) 1076
56Wa A. H. Wapstra and G. J. Nijgh, Nucl. Phys. 1 (1956) 245
56Wo09 J. L. Wolfson, Can. J. Phys. 34 (1956) 256
58Ni28 G. J. Nijgh, A. H. Wapstra, L. Th. M. Ornstein, N. Salomons-Grobben, J. R. Huisenga and O. Almen, Nucl. Phys. 9 (1958) 528 & 545
60Pe22 R. W. Peelle, ORNL-3016 (1960) p. 116
60Ra04 M. K. Ramaswamy and P. S. Jastram, Nucl. Phys. 15 (1960) 510
60St21 R. Stockendal, Ark. Fys. 17 (1960) 579
61Hu15 J. P. Hurley and J. M. Ferguson, Nucl. Phys. 27 (1961) 75
61Su05 B. N. Subba Rao, Proc. Ind. Acad. Sci. Sec. A53 (1961) 244
61Su10 Z. Sujkowski, Ark. Fys. 20 (1961) 243
62Ta06 J. G. V. Taylor, Can. J. Phys. 40 (1962) 383
63Bu09 R. Burmeister, H. Graber, J. Schintlmister and R. Weibrecht, Nucl. Phys. 42 (1963) 56
63Cr14 W. L. Croft, B.-G. Pettersson and J. H. Hamilton, Nucl. Phys. 48 (1963) 267
64He19 C. J. Herrlander and R. L. Graham, Nucl. Phys. 58 (1964) 544
65Ra12 M. Raja Rao and S. Jnanananda, Nucl. Inst. Meth. 36 (1965) 261
65Wa13 A. Walther, E. Baumgartner and P. Huber, Helv. Phys. Acta 38 (1965) 514
67Bo H. E. Bosch, E. Szichman, A. Baseggio and R. Dolinkue, Nucl. Inst. Meth. 52 (1967) 289
69An V. Andersen, Risø report no. 195 (1969)
71Wa K.-F. Walz, H. M. Weiss and E. Funck, Jahresbericht der PTB (1971) p. 150
74Ha29 H. H. Hansen and D. Mouchel, Z. Physik 267 (1974) 371

12. ^{24}Na

^{24}Naはβ崩壊し，1369keV および 2754keV のγ線を放出する。これらのγ線の崩壊あたりの強度は100%に近く，他に弱いγ線が測定されている。これら2つの強いγ線の強度を評価した。

a) ^{24}Naの崩壊で測定されている弱いγ線は3867keV と 4239keV である。また，^{23}Na$(p, \gamma)^{24}$Mg などの核反応で 5236keV および4239keV の励起状態から放射される弱いγ線が観測されている（Table 12. 2)。なお，^{24}Mg の第1励起状態への弱いβ転移が測定されている。

b) 1369keV および 2754keV のγ転移では，内部変換係数より内部電子対発生係数の方が大きい。内部電子対発生係数については多くの測定値がある。内部変換係数については理論値を，内部電子対発生係数については実験値を採用した。

c) 評価を行った2つのγ線の誤差は，主にγ_0とγ_3の相対強度と内部電子対発生係数の誤差によるものである。

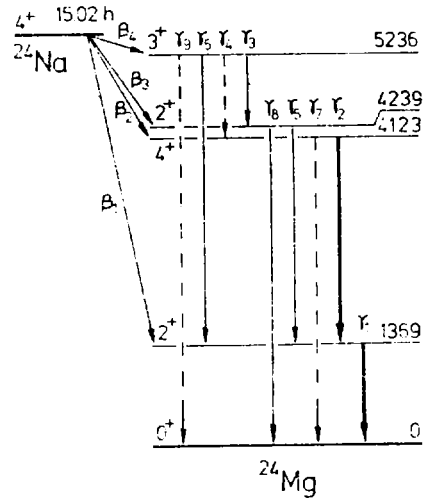

Fig. 12.1 Decay scheme of ^{24}Na

Table 12.1 Experimental values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Artamonova et al. 60Ar	Monahan et al. 62Mo	VanKlinken et al. 68Va06	Lebowitz et al. 70Le12	Raman et al. 72Ra21
γ_1	1368.6	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
γ_2	2754	100	100	100	100	100
γ_6	3867	0.09 ± 0.02	0.075 ± 0.020	0.063 ± 0.006	0.0489 ± 0.0025*	
γ_7	4123					
γ_8	4239	0.0015 ± 0.0005	0.008 ± 0.003[a]		0.0033[a]	0.00084 ± 0.00010*
γ_9	5236	2×10^{-3}	7×10^{-4}			

a) γ_7 and γ_8 are not resolved.

Table 12.2 Experimental values of gamma-ray branching ratios in nuclear reactions and in the decay of ^{24}Al

Level energy (keV)	Gamma ray	Energy (keV)	Batchelor et al. 60Ba	Cohen Cookson 62Co	Meyer et al. 72Me09	Detraz 72De28
4239	γ_8	2871.0	1.0	1.00	23 ± 2	1.4 ± 0.4
	γ_8	4238.9	2.9 ± 0.5	3.44 ± 0.50	77 ± 2[a]	3.6 ± 0.4[a]
5236	γ_9	996.6		3	1.0 ± 0.5*	
	γ_4	1113.2			1	
	γ_6	3867.2		92	99.0 ± 0.5*	
	γ_9	5236		≤ 5	8	

a) The values of γ_8/γ_8 are 3.35 ± 0.38 and 2.6 ± 0.8 for Meyer et al. and Detraz, respectively.

Table 12.3 Average values of gamma-ray branching ratio

Gamma ray	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
		Error			Error	
	Average	Int.	Ext.	Average	Int.	Ext.
γ_0	1.00			1.00		
γ_3	3.19*	0.25*	0.16	3.07	0.28	0.39

Table 12.4 Theoretical values of internal conversion coefficients and internal pair formation coefficients

Item		Value	
Atomic number	Z	12	
Energy (keV)		1369	2754
Multipolarity		E2	E2
Conversion coefficient	α_K	9.43(－6)	2.58(－6)
	α_L	0.617(－6)	0.169(－6)
	K/L	15.2	15.3
	M/L	~0.05	~0.05
	α	10.1(－6)	2.76(－6)
Pair formation coefficient	Γ	0.3(－4)	6.9(－4)
Gamma branch	$1/(1+\alpha+\Gamma)$	0.99996	0.99931

Table 12.5 Experimental values of internal pair formation coefficients

Author	$\Gamma \times 10^4$		Remarks	Reference
	1369 keV	2754 keV		
Rae		11.6 ±1.0	e^+/β	49Ra
Mims et al.		7.6 ±1.9	Ann./decay	50Mi
		8.25±1.05	Ann./decay	50Mi
Cleland et al.		6.7 ±1.0	Ann./decay	51Cl
Slätis and Siegbahn	0.30	8.0 ±0.5	e^+/β	52Sl
Bloom	0.6 ±0.1*	7.1 ±0.2*	e^+/β	52Bl
Spring	0.4 ±0.3	6.6 ±0.7	Triple coinc.	65Sp08

Table 12.6 Evaluation of intensities per decay and relative intensities

Item	Value	Remarks
β_1/β_2	3×10^{-5} a)	51Tu
γ_2^t	99.9470 ± 0.0027%	$1/\left[1+\frac{\beta_1}{\beta_2}+\frac{\gamma_1^t}{\gamma_2^t}+\left(\frac{\gamma_1^t}{\gamma_2^t}+1\right)\frac{\gamma_3^t}{\gamma_2^t}\right]$
γ_1^t	99.99916±0.00010%	$1-\frac{\gamma_3^t}{\gamma_2^t}\gamma_2^t$
γ_1	99.9922 ± 0.0010%	$\gamma_1^t/(1+\alpha_1+I'_1)$
γ_2	99.8758 ± 0.0034%	$\gamma_2^t/(1+\alpha_2+I'_2)$
γ_1^t	100.0000	
γ_2^t	99.8836 ± 0.0035%	$\frac{\gamma_2}{\gamma_1}$

a) The error is estimated to be 1×10^{-5}.

References

49Ra E. R. Rae, Phil. Mag. 40 (1949) 1155
50Mi W. Mims, H. Halban and R. Wilson, Nature 166 (1950) 1027
51Cl M. R. Cleland, J. Townsend and A. L. Hughes, Phys. Rev. 84 (1951) 298
51Tu J. F. Turner and P. E. Cavanagh, Phil. Mag. 42 (1951) 636
52Bl S. D. Bloom, Phys. Rev. 88 (1952) 312
52Sl H. Slätis and K. Siegbahn, Ark. Fys. 4 (1952) 485
60Ar K. P. Artamonova, L. V. Gustova, Yu. N. Podkopaev and O. V. Chubinskii JETP 12 (1961) 1109
60Ba R. Batchelor, A. J. Ferguson, H. E. Gove and A. E. Litherland, Nucl. Phys. 16 (1960) 38
62Co A. V. Cohen and J. A. Cookson, Nucl. Phys. 29 (1962) 604
62Mo J. E. Monahan, S. Raboy and C. C. Trail, Nucl. Phys. 33 (1962) 633
65Sp08 E. Spring, Phys. Lett. 18 (1965) 132
68Va06 J. VanKlinken, F. Pleiter and H. T. Dijkstra, Nucl. Phys. A112 (1968) 372
70Le12 J. Lebowitz, A. R. Sayres, C. C. Trail and B. Weber, Nuovo Cim. A65 (1970) 675
72De28 C. Detraz, Nucl. Phys. A188 (1972) 513
72Me09 M. A. Meyer, J. P. L. Reinecke and D. Reitmann, Nucl. Phys. A185 (1972) 625
72Ra21 S. Raman, N. B. Gove, J. K. Dickens and T. A. Walkiewicz, Phys. Lett. 40B (1972) 89

13. ^{57}Co

^{57}Co は電子捕獲により ^{57}Fe に崩壊する。主な 14.4keV, 122keV, 136keV の γ 線について評価値を求めたが，標準γ線として利用できるのは，122keV γ 線のみである。707keV 励起状態への崩壊により，7本の弱いγ線が観測されている。

a) 14.4keV 励起状態への電子捕獲は観測されていないので，この近傍の第2禁止転移のうち，log ft の一番小さい転移 $^{57}_{26}$Fe$_{31}$(3/2−)→$^{57}_{27}$Co$_{30}$(7/2−) (log ft=10.9) と log ft が同じであるとして，電子捕獲の分岐比を求めた。この分岐比 4×10^{-5} となるので無視した。

b) 内部変換係数は，14.4keV のγ線については実験値を使った。122keV 転移では M1+E2 混合比の実験値と M1, E2 の理論値から内部変換係数を求めた。136keV, 707keV 転移は E2, 他の転移は M1 として理論値を使用した。理論値の誤差は10%とした。

c) 122keV γ 線の評価値の誤差は，内部変換係数の誤差と，弱いγ線による誤差によるものである。

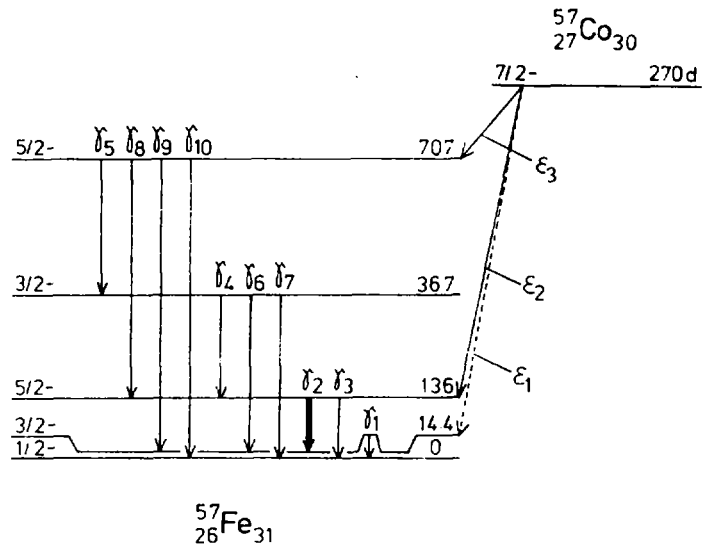

Fig. 13.1 Decay scheme of ^{57}Co

Table 13.1 Experimental values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Fiebiger et al. 62Fi05	Thomas et al. 63Th04	Kistner Sunyar 65Ki03	Mathiesen Hurley 65Ma38	Konijn Lingeman 71Ko19
γ_1	14.41				10^6	11410 ± 500
γ_2	122.06		900 ± 20	800 ± 50	(9.98 ± 0.10) · 10^5	10^5
γ_3	136.47	100	100	100	(1.20 ± 0.01) · 10^5	13000 ± 400
γ_4	230.2				2 ± 2	0.5 ± 0.5
γ_5	339.7				29 ± 3	4.5 ± 0.4
γ_6	352.5				20 ± 2	3.7 ± 0.4
γ_7	366.8				7 ± 1	1.5 ± 0.4
γ_8	570.1				160 ± 10	19.4 ± 1.1
γ_9	692.1	1.24 ± 0.20			1880 ± 50	183 ± 11
γ_{10}	706.6				55 ± 6	6.2 ± 0.6

Table 13.2 Experimental values of intensities per decay

Gamma ray	Energy (keV)	Kistner Sunyar 65Ki03	Sprouse Hanna 65Sp06	Żarnowiecki 67Za	Konijn Lingeman 71Ko19
γ_1	14.41		8.370	10.7 ± 0.3	9.7 ± 0.4
γ_2	122.06		85.310	85.3 ± 1.5	85.2 ± 0.4
γ_3	136.47		10.740	8.4 ± 0.5	11.1 ± 0.3
γ_4	230.2	0.0005	0.0005		0.0004 ± 0.0004
γ_5	339.7	0.0042	0.0048		0.0038 ± 0.0003
γ_6	352.5	0.0032	0.0037		0.0032 ± 0.0003
γ_7	366.8	0.0006	0.0007		0.0013 ± 0.0003
γ_8	570.1	0.0132	0.0144		0.0165 ± 0.0009
γ_9	692.1	0.137	0.159		0.156 ± 0.009
γ_{10}	706.6	0.0057	0.0067		0.0053 ± 0.0005

Table 13.3 Experimental values of conversion coefficients

Author	γ_1 14.4 keV		γ_2 122 keV		γ_3 136 keV		Ref.
	K/LMN	α	α_K	K/LMN	α_K	K/LMN	
Alburger Grace				8.2±0.8		7.7±0.8	54Al06
Lemmer et al.		15±1					55Le30
Cork et al.				9.5±1.0[a]		10 ±1.0[a]	55Co31
Bellicard Moussa	8.05±0.14[b]			6.7±0.6		8.2±0.5	57Be45
Thomas et al.		9.94±0.60					63Th04
Muir et al.		9.5 ±0.5					63Mu02
Hanna Preston		8.9 ±0.7*					65Ha34
Nussbaum Housley		9.0 ±0.4*					65Nu01
Kistner Sunyar		8.9 ±0.6*					65Ki03
Kistner Sunyar		9.0 ±0.5*					65Ki03
Moreau Ambrosino		8.5 ±1.0*		9.5±0.3		10.0±0.3	65Mo22
Isaak Isaak		9.2 ±0.5*					65Is02
Hall Albridge		10.2 ±0.9	0.0214±0.0012	8.3±0.6	0.122±0.013	8.4±0.4	67Ha06
Mukerji et al.			0.0245±0.0030		0.151±0.018		67Mu02
Rubinson Gopinathan		8.17±0.26*					68Ru04

a) Errors are estimated by us.

b) Obtained from the values of K/L 8.93±0.14 and L/M 9.1±0.5.

Table 13.4 Experimental values of E2/M1 mixing ratio for the 122 keV gamma ray

Author	δ (E2/M1)	E2(%)	Ref.
Fox et al.	0.120±0.002	1.42±0.05	72Fo05
Schoeters et al.	0.116±0.001	1.33±0.02	73Sc15

Table 13.5 Theoretical values of conversion coefficients for Z 26

Gamma-ray energy (keV)	M1				E2			
	$\alpha_K \cdot 10^3$	K/L	MNO/L	$\alpha \cdot 10^3$	$\alpha_K \cdot 10^3$	K/L	MNO/L	$\alpha \cdot 10^3$
122.06	18.8	10.1	0.15	20.9*	206	9.53	0.15	231*
136.47	14.1	10.1	0.15	15.7	134	9.64	0.15	150*
570.1	0.458	1.04	0.15	0.964*	0.819	10.3	0.15	0.910
692.1	0.302	1.04	0.15	0.636*	0.464	10.4	0.15	0.515

Table 13.6 Estimated errors for relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Mathiesen* Hurley 65Ma38	Sprouse[a]* Hanna 65Sp06	Konijn* Lingeman 71Ko19
γ_1	14.41		77.9±5.1	87.8±3.9
γ_2	122.06	832±54	794±52	769±42[a]
γ_3	136.47	100±6.5	100±6.5	100.0±5.5[a]
γ_4	230.2	0.0017±0.0017		0.0038±0.0038
γ_5	339.7	0.024 ±0.003	0.045 ±0.005	0.035 ±0.003
γ_6	352.5	0.017 ±0.002	0.034 ±0.004	0.028 ±0.003
γ_7	366.8	0.0058±0.0008	0.0065±0.0007	0.012 ±0.003
γ_8	570.1	0.133 ±0.017	0.134 ±0.015	0.149 ±0.009
γ_9	692.1	1.57 ±0.17	1.48 ±0.16	1.41 ±0.09
γ_{10}	706.6	0.046 ±0.006	0.062 ±0.007	0.048 ±0.005

a) Errors are estimated by us.

Table 13.7 Average values of relative intensities

Gamma-ray energy (keV)	$w = 1/\varepsilon^2$			$w = 1$		
	Average* value	Error Int.	Ext.	Average value	Error Int.	Ext.
14.41	84.2*	3.1	4.7*	82.9	3.2	4.9
122.06	793*	28*	18	798	29	18
136.47	100.0*	3.5*	0	100.0	3.6	0
230.2				0.0038[a]*	0.0038[a]*	
339.7	0.0320*	0.0020	0.0052*	0.0345	0.0022	0.0059
352.5	0.0232*	0.0016	0.0052*	0.0265	0.0018	0.0052
366.8	0.0063*	0.0005	0.0007*	0.0080	0.0011	0.0018
570.1	0.1436*	0.0068*	0.0053	0.1389	0.0081	0.0052
692.1	1.446*	0.069*	0.042	1.485	0.084	0.046
706.6	0.0504*	0.0032	0.0046*	0.0520	0.0034	0.0052

a) This value is adopted from Table 13.6 (71Ko19).

Table 13.8 Average values of the conversion coefficient and the mixing ratio

Gamma-ray energy (keV)	Item	$w = 1/\varepsilon^2$			$w = 1$		
		Average value	Error Int.	Ext.	Average value	Error Int.	Ext.
14.41	α	8.63*	0.17	0.17*	8.81	0.23	0.13
122.06	δ	0.117	0.001	0.016	0.118*	0.001	0.002*

Table 13.9 Adopted values of conversion coefficients

Gamma ray	Energy (keV)	Multi-polarity	α_K 10^3	K/L	MNO/L	α 10^3
γ_1	14.41	M1 + E2				8630±170
γ_2	122.06	M1 + E2	21.4	10.02	0.15	23.8
γ_3	136.47	E2	134	9.64	0.15	150

Table 13.10 Evaluated values

Gamma ray	Energy (keV)	Gamma-ray intensity per decay (%)
γ_1	14.41	9.09±0.18
γ_2	122.06	85.4 ±0.6
γ_3	136.47	10.8 ±0.5

References

54Al06 D. E. Alburger and M. A. Grace, Proc. Phys. Soc. (London) 67A (1954) 280
55Le30 H. R. Lemmer, O. J. A. Segaert and M. A. Grace, Proc. Phys. Soc. (London) 68A (1955) 701
55Co31 J. M. Cork, M. K. Brice and L. C. Schmid, Phys. Rev. 99 (1955) 703
57Be45 J. B. Bellicard and A. Moussa, J. Phys. radium 18 (1957) 115
62Fi05 N. F. Fiebiger, W. R. Kane and R. E. Segel, Phys. Rev. 125 (1962) 2031
63Th04 H. C. Thomas, C. F. Griffin, W. E. Phillips and E. C. Davis Jr., Nucl. Phys. 44 (1963) 268
63Mu02 R. H. Muir, Jr., E. Kankeleit and F. Boehm, Phys. Letters 5 (1963) 161
65Ha34 S. S. Hanna and R. S. Preston, Phys. Rev. 139 (1965) A722
65Nu01 R. H. Nussbaum and R. M. Housley, Nucl. Phys. 68 (1965) 145
65Ki03 O. C. Kistner and A. W. Sunyar, Phys. Rev. 139 (1965) B295
65Mo22 G. Moreau and G. Ambrosino, Compt. Rend. 261 (1965) 5438
65Is02 G. R. Isaak and U. Isaak, Phys. Letters 17 (1965) 51
65Ma38 J. M. Mathiesen and J. P. Hurley, Nucl. Phys. 72 (1965) 475
65Sp06 G. D. Sprouse and S. S. Hanna, Nucl. Phys. 74 (1965) 177
67Ha06 D. C. Hall and R. G. Albridge, Nucl. Phys. A91 (1967) 495
67Mu20 A. Mukerji, W. W. Walker and O. B. Dickins Jr., Nuovo Cimento 52B (1967) 225
67Za K. Żarnowiecki, Nucl. Instr. Methods 55 (1967) 329
68Ru04 W. Rubinson and K. P. Gopinathan, Phys. Rev. 170 (1968) 969
71Ko19 J. Konijn and E. W. A. Lingeman, Nucl. Instr. Methods 94 (1971) 389
72Fo05 R. A. Fox, W. D. Hamilton and M. J. Holmes, Phys. Rev. C5 (1972) 853
73Sc15 E. Schoeters, R. E. Silverans and L. Vanneste, Z. Phys. 260 (1973) 337

14. ^{85}Sr

^{85}Sr は電子捕獲により崩壊し，514keV の γ 線を放出する。この γ 線は約99%で，他に弱い γ 線が観測されている。

a) 514keV γ 線の内部変換係数の測定値は，誤差の範囲で M2 の理論値と一致している。しかし，測定値の精度が悪いのでよくわからないが，E3 混合の可能性がある。それ故，評価には，精度がよくないが，α の実験値を使用した。

b) 弱い γ 線のうちで，514keV γ 線の強度を定める上で必要なのは，869keV γ 線である。この γ 線は化学分離により減少したという報告 (71Bu08) もあるが，ここではその後の値を採用した。

c) 514keV γ 線の崩壊あたりの強度を決める上で問題になるのは，基底状態への電子捕獲転移である。この転移は9/2+→5/2−の一義的第一禁止転移である。この転移強度の測定値はなく，実測することは困難である。logft が９程度であれば，１%以下ではあるが補正を要する。近傍の一義的第一禁止転移の logft 値は Table 15.4 に示すように8.0～11.6である。質量数もスピンも同じ ^{85}Kr・^{85}Rb の転移が logft=9.1 であるから，この値と同じであるとすれば，^{85}Sr の基底状態への転移は0.4%となる。これを0.2±0.2%として評価値に使用した。

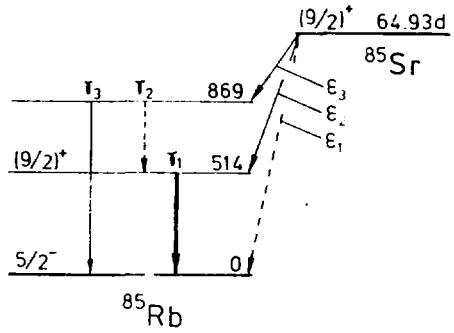

Fig. 14.1 Decayscheme of ^{85}Sr

Table 14.1 Experimental values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Sattler 62Sa12	Vartanov et al. 66Va16	Bubb et al. 71Bu08	Vatai et al. 74Va02
γ_1	514.0	100	100	100	100
γ_2	356	0.002		no	$<10^{-3}$
γ_3	869	0.017	0.010±0.002	<0.018	0.014±0.002*
	880			<0.006	no

Table 14.2 Experimental values of internal conversion coefficients for the 514 keV transition

Author	$\alpha_K \times 10^3$	K/L	$\alpha \times 10^3$	Ref.
Emmerich, Kurbatov	7	12±3		52Em02
Sunyar et al.			8±1*	52Su29
Alvager et al.		8.4		62All1

Table 14.3 Theoretical values of internal conversion coefficients for the 514 keV transition

Item		Value	
Atomic number	Z	37	
Energy (keV)		514.0	
Multipolarity		M2	E3
Conversion coefficients	α_K	6.30(−3)	7.92(−3)
	α_{L1}	6.73(−4)	8.02(−4)
	α_{L2}	2.60(−5)	1.01(−4)
	α_{L3}	9.85(−6)	6.66(−5)
	α_L	7.09(−4)	9.69(−4)
	K/L	8.88	8.17
	MNO/L	0.18	0.18
	α	7.13(−3)	9.06(−3)
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.993	0.991

Table 14.4 Log ft values of the unique first forbidden transition for neighbouring nuclei

Nucleus		Spin-parity		log ft
Parent	Daughter	I_i	I_f	
^{79}Se	^{79}Br	7/2+	3/2−	≤10.8
^{81}Kr	^{81}Br	7/2+	3/2−	11.6
^{85}Kr	^{85}Rb	9/2+	5/2−	9.1
^{89}Sr	^{89}Y	5/2+	1/2−	8.6
^{91}Y	^{91}Zr	1/2−	5/2−	8.5
^{84}Rb	^{84}Kr	2−	0+	8.7
^{84}Rb	^{84}Sr	2−	0+	9.0
^{86}Rb	^{86}Sr	2−	0+	8.5
^{86}Y	^{86}Sr	4−	2+	9.2
^{90}Y	^{90}Zr	2−	0+	8.0

Table 14.5 Evaluation of intensity per decay

Item	Value (%)	Ref.
α (exp.)	0.8 ±0.1	52Su29
γ_{β^+}	0.014±0.002	74Va02
ε_1	0.2 ±0.2	Estimated
γ_1	99.0 ±0.3	

References

52Em02 W. S. Emmerich and J. D. Kurbatov, Phys. Rev. 85 (1952) 149

52Su29 A. W. Sunyar, J. W. Mihelich, G. Scharff-Goldhaber, M. Goldhaber, N. S. Wall and M. Deutsch, Phys. Rev. 86 (1952) 1023

62Al11 T. Alvager, H. Ryde and P. Thieberger, Ark. Fysik 21 (1962) 559

62Sa12 A. R. Sattler, Phys. Rev. 127 (1962) 854

66Va16 N. A. Vartanov, P. S. Samoilov and Yu. S. Tsaturov, Soviet J. Nucl. Phys. 3 (1966) 436; J. Nucl. Phys. (U.S.S.R.) 3 (1966) 598

71Bu08 I. F. Bubb, S. I. H. Naqvi and J. L. Wolfson, Nucl. Phys. A167 (1971) 252

74Va02 E. Vatal, A. C. Xenoulis, K. R. Baker, F. Tolea and R. W. Fink, Nucl. Phys. A219 (1974) 595

15. ^{88}Y

^{88}Y は電子捕獲により ^{88}Sr に崩壊し，898keV と 1836keV の γ 線を放射する。これらの γ 線の強度は約94%と99%である。その他にも4本の弱い γ 線が測定されている。

a) 1次標準として使えるのは1836keV γ 線であり，898keV γ 線の強度は強度測定によらねばならない。

b) 1836keV γ 線の内部変換係数の測定値があり，理論値より17%小さい。理論値の α_K は Trusov の値を内挿したものであり，α_L の理論値がないので，Hager and Seltzer の KL を外挿して求めた。評価値を求めるにあたっては，実験値を採用した。

c) 弱い γ 線のうち，1836keV γ 線の評価値を求めるのに必要なものは，基底状態へ転移する2734keV と3219keV γ 線である。

d) 基底状態への陽電子転移は測定されていないが，$4^- \to 0^+$ 転移で，一義的第3禁止転移である。$4^- \to 0^+$ の例として ^{40}K があり，log ft は ^{40}K→^{40}Ca と ^{40}K→^{40}Ar でそれぞれ18,21である。この値から ^{88}Sr の基底状態への転移の分岐比は≤10^{-11}と推定されるので，これを無視した。

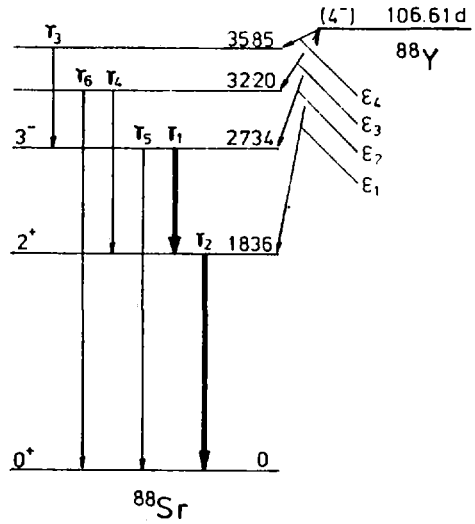

Fig. 15.1 Decay scheme of ^{88}Y

Table 15.1 Experimental values of intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Relative intensity				Intensity per decay	
		Peelle 60Pe23	Shastry et al. 64Sh16	Sakai et al. 66Sa08	Zarnowiecki 67Za	Schätzig et al. 73Sc40	Ardisson et al. 74Ar12
γ_1	898.0	94.0±0.7	91		92	94.3±0.5*	91.4±0.7
γ_2	1836	100	100	100	100		99.4±0.1
γ_3	850.6						0.066 ±0.013
γ_4	1382		3				0.021 ±0.006
γ_5	2734		0.97	0.63 ±0.04	0.63±0.4		0.72 ±0.07*
γ_6	3219		0.03	0.0095±0.003			0.0071±0.0020*

Table 15.2 Experimental values of internal conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)		Peacock Jones Pe	Metzger Amacher 52Me50	Hamilton et al. 66Ha07	Allan 71A106
898.0	$\alpha_K \times 10^4$			3.01±0.21	2.5 ±0.3
	K/LMN			7.0 ±0.5	8.0 ±0.2
	$\alpha \times 10^4$	2.7	3.4 ±0.7	3.45±0.24	2.8 ±0.3
1836	$\alpha_K \times 10^4$				1.24±0.16
	K/LMN				7.8 ±0.3
	$\alpha \times 10^4$	1.3	1.7±0.4		1.40±0.16*
	$\Gamma \times 10^4$				2.3 ±0.3*
2734	$\Gamma \times 10^4$				3.3 ±0.5

Table 15.3 Theoretical values of internal conversion coefficients

Item		Value	
Atomic number	Z	38	
Energy (keV)		898.0	1836
Multipolarity		E1	E2
Conversion coefficients	α_K	2.73(−4)	1.45(−4)
	α_{L1}	2.79(−5)	
	α_{L2}	3.23(−7)	
	α_{L3}	6.12(−7)	
	α_L	2.89(−5)	
	K/L	9.45	9.23
	MNO/L	0.18	0.19
	α	3.07(−4)	1.64(−4)
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.99969	0.99984

Table 15.4 Evaluation of intensities

Item	Value	Reference
γ_5	0.72 ±0.07	74Ar12
γ_6	0.007±0.002	74Ar12
$\alpha_2 \times 10^4$	1.40 ±0.16	71Al06
$I'_2 \times 10^4$	2.3 ±0.3	71Al06
γ_2	99.24 ±0.07	a)
γ_1	94.3 ±0.5	73Sc40
γ_1^+	95.0 ±0.5	

a) $\gamma_1 = (1-\gamma_5-\gamma_6)/(1+\alpha_1+I'_1)$

References

Pe W. C. Peacock and J. W. Jones, A. E. C. Report AECD-1812

52Me50 F. R. Metzger and H. C. Amacher, Phys. Rev. 88 (1952) 147

60Pe23 P. W. Peelle, ORNL-3016 (1960) p. 110

64Sh16 S. Shastry and R. Bhallacharyya, Nucl. Phys. 55 (1964) 397

66Ha07 J. H. Hamilton, S. R. Amtey, B. van Nooijen, A. V. Ramayya and J. J. Pinajian, Phys. Letters 19 (1966) 682

66Sa08 M. Sakai, T. Yamazaki and J. M. Hollander, Nucl. Phys. 84 (1966) 302

67Za K. Zarnowiecki, Nucl. Inst. Meth. 55 (1967) 329

71Al06 C. J. Allan, Nucl. Inst. Meth. 91 (1971) 117

73Sc40 U. Schötzig, K. Debertin and H. M. Weiss, PTB Mitteilungen 83 (1973) 307

74Ar12 G. Ardisson, S. Laribi and C. Marsol, Nucl. Phys. A223 (1974) 616

16. ^{108m}Ag

^{108m}Agは約90%が直接 ^{108}Pd に電子捕獲し，723keV, 614keV および 434keV の３本のγ線を放出する。残りの約10%は ^{108}Ag の基底状態へ転移する。これら３本の強いγ線の強度の評価値を求めた。

a) これら３本のγ線はカスケードに転移し，分岐によるγ線は観測されていない。したがって，３本のγ線の相対強度は精度よく求められる。434keVγ線には，^{108m}Agの異性体転移を経由する成分がわずかに混入する。この割合は ^{108}Ag（半減期2.4分）の崩壊のデータから求めた。

b) ^{108m}Agの異性体転移の割合は，２つの方法で求められる。それは，434keVγ線に対する 633keVγ線の相対強度から求めるものと 79keVγ線の相対強度から求める方法である。これらの相対強度からそれぞれ算出した値は誤差の範囲内で一致しているので，その重みつき平均をとって評価値とした。79keVγ線の内部変換係数には実験値を採用した。

c) 崩壊あたりの強度の評価値の精度は，異性体転移の分岐比の誤差のため，相対強度のようによい精度で決めることはできなかった。

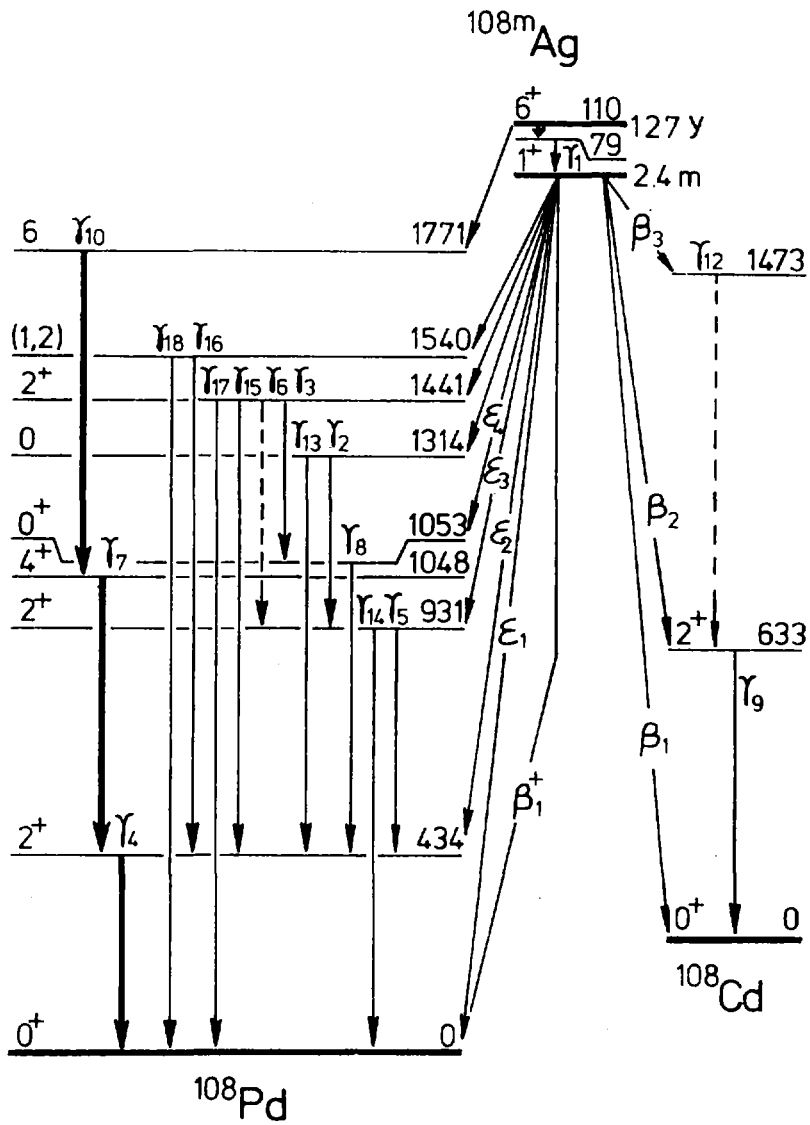

Fig. 16.1 Decay scheme of ^{108m}Ag

Table 16.1 Experimental values of relative intensities of gamma rays in the decay of ^{108m}Ag

Gamma ray	Energy (keV)	Wahlgren Meinke 60Wa10	Kistner Sunyar 66Ki03	Kracikova Kracik 68Kr04	Hamilton et al. 71Ha17	
					Vanderbilt	ORNL
γ_1	79.2	5.9	7.3 ± 0.8	8.3 ± 0.9		
	406			0.8 ± 0.4	0.012	0.011
γ_4	434.0	100	100	100	100	100
γ_7	614.4	100	103 ± 3	105 ± 10	98.8 ± 2.8	99.3 ± 2.0
γ_9	632.9			0.18 ± 0.07	0.16 ± 0.02	0.15 ± 0.01
γ_{10}	723.0	100	102 ± 3	102 ± 10	97.8 ± 2.8	100.4 ± 2.0
γ_{11}	837			0.06 ± 0.04	0.01	0.005 ± 0.003
	1020			1.0 ± 0.5	0.004	0.003

Table 16.2 Experimental values of relative intensities of internal conversion electrons in the decay of ^{108m}Ag

Transition	Energy (keV)		Wahlgren Meinke 60Wa10	Kistner* Sunyar 66Ki03
γ_1	79.2	K		204 ± 10
		L		25 ± 2
		$M+N$		6.1 ± 1.3
γ_4	434.0	K	100	100
		$L+M$		14.8 ± 2.3
γ_7	614.4	K	41	37 ± 3
		$L+M$		5.1 ± 1.6
γ_{10}	723.0	K	21	25.0 ± 1.2
		$L+M$		4.6 ± 0.8

Table 16.3 Experimental values of electron capture and beta branching in the decay of ^{108}Ag

Branch	Perlman et al. 53Pe16	Wahlgren Meinke 60Wa10	Frevert 62Fr02	Frevert* 65Fr01
β_1	97.3	93.8	95.0 ± 0.3	95.9 ± 0.3
β_2	0.8	1.90	1.73 ± 0.10	1.75 ± 0.10
β_3			~0.02	~0.02
β_1^+	0.14	0.36	0.28 ± 0.02	0.28 ± 0.02
ε_1	1.5	3.35	2.49 ± 0.25	1.73 ± 0.12
ε_2	0.06	0.18	0.19 ± 0.03	0.19 ± 0.03
ε_4	0.22	0.42	0.26 ± 0.03	0.27 ± 0.03

Table 16.4 Experimental values of relative intensities of gamma rays in the decay of ^{108}Ag

Gamma ray	Energy (keV)	Johnson et al. 71Jo07	Johnson[a] et al. 71Jo07	Okano et al. 71Ok01	Singhal et al. 73Si02
γ_2	383				0.18 ± 0.06
γ_3	389			0.2	0.37 ± 0.12
γ_4	434.0	26.6 ± 0.06	100	100	100
γ_5	497	0.07 ± 0.04	0.26 ± 0.15	0.25 ± 0.09	0.45 ± 0.11
γ_6	510[b]	25.7 ± 0.6[c]			0.7[d]
γ_8	618.9	14.6 ± 0.4	54.9 ± 1.6	54.1 ± 2.4	52.4 ± 2.6
γ_9	632.9	100	375.9 ± 8.5	355.1 ± 14.9	349.6 ± 17.5
γ_{12}	841	≦0.04	≦0.15	0.1	
γ_{13}	880	0.12 ± 0.02	0.45 ± 0.08	0.65 ± 0.03	0.64 ± 0.05
γ_{14}	931	0.025 ± 0.012	0.094 ± 0.045	0.091 ± 0.016	0.11 ± 0.01
γ_{15}	1007	0.79 ± 0.08	2.97 ± 0.33	2.71 ± 0.11	2.79 ± 0.14
γ_{16}	1106	0.13 ± 0.01	0.49 ± 0.04	0.26 ± 0.02	0.33 ± 0.03
γ_{17}	1441	0.14 ± 0.02	0.53 ± 0.08	0.56 ± 0.04	0.61 ± 0.04
γ_{19}	1540	0.040 ± 0.015	0.15 ± 0.06	0.20 ± 0.02	0.21 ± 0.02

a) Normalized at the 434 keV gamma ray intensity.
b) Energies of 510.8 keV and 510.1 keV are reported by Johnson et al. and by Singhal et al., respectively.
c) Possible composite of annihilation radiation and a weak gamma ray.
d) Derived from intensity balance.

Table 16.5 Average values of relative intensities of gamma rays in the decay of ^{108m}Ag

Gamma ray	Energy (keV)	$w = 1/\varepsilon^2$ Intensity	Error Int.	Error Ext.	$w = 1$ Intensity	Error Int.	Error Ext.	Remarks
γ_1	79.2	7.74	0.60	0.50	7.80*	0.60	0.71*	66Ki03 68Kr04
γ_4	434.0	100			100			
γ_9	632.9	0.152	0.009	0.004	0.155*	0.011*	0.007	71Ha17

Table 16.6 Theoretical values of internal conversion coefficients

Atomic number Z		46			47	48
Transition energy	keV	434.0	614.4	723.0	79.2	632.9
Multipolarity		E2	E2	E2	E1	E2
α_K		7.87(－3)	2.92(－3)	1.91(－3)	0.271	3.01(－3)
α_{L1}		8.35(－4)	3.15(－4)	2.07(－4)	2.59(－2)	3.29(－4)
α_{L2}		9.94(－5)	2.47(－5)	1.33(－5)	3.08(－3)	2.84(－5)
α_{L3}		8.37(－5)	1.95(－5)	1.03(－5)	4.62(－3)	2.14(－5)
α_L		1.02(－3)	3.59(－4)	2.30(－4)	3.36(－2)	3.79(－4)
K/L		7.73	8.12	8.28	8.08	7.95
$M/N, L$		0.22	0.22	0.22	0.23	0.23
α		9.11(－3)	3.36(－3)	2.19(－3)	0.312	3.48(－3)
$1/(1+\alpha)$		0.99097*	0.99665*	0.99781*	0.7622	0.99653*

Table 16.7 Evaluated values of internal conversion coefficients

Atomic number	Z	46			47
Transition energy	keV	434.0	614.4	723.0	79.2
Multipolarity		E2	E2	E2	E1
α_K		7.87(−3)[a]			0.206±0.030
K/LMN		6.8±1.0	7.3±2.3	5.4±1.0	6.56 ±0.60
α					0.237±0.034
$1/(1+\alpha)$					0.808±0.022*

a) Theoretical value.

Table 16.8 Average values of relative intensities of gamma rays in the decay of ^{108}Ag

Gamma ray	Energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
		Intensity	Error		Intensity	Error	
			Int.	Ext.		Int.	Ext.
γ_4	434.0	100			100*		
γ_5	497	0.32	0.06	0.07	0.32	0.07	0.07
γ_8	618.9	54.2	1.2	0.7	53.8	1.3	0.7
γ_9	632.9	367.6	6.8	7.9	360.2*	8.2*	8.0
γ_{13}	880	0.629	0.025	0.041	0.580	0.033	0.065
γ_{14}	931	0.104	0.008	0.006	0.098*	0.016*	0.006
γ_{15}	1007	2.76	0.08	0.05	2.82	0.12	0.08
γ_{16}	1106	0.312	0.015	0.056	0.360	0.018	0.068
γ_{17}	1441	0.579	0.027	0.021	0.567*	0.033*	0.023
γ_{18}	1540	0.202	0.014	0.009	0.187*	0.022*	0.019

Table 16.9 Evaluated values of intensities per decay of two gamma rays in the decay of ^{108}Ag

Gamma ray	Energy (keV)	Intensity per decay[a] (%)
γ_4	434.0	0.48±0.07
γ_9	632.9	1.73±0.25

a) $\gamma_i=\dfrac{\gamma_i^t(1.0014-\beta_1-\beta_1^+-\varepsilon_1)/1.0014}{\gamma_4^t(1+\alpha_4)+\gamma_9^t(1+\alpha_9)+\gamma_{14}^t+\gamma_{17}^t+\gamma_{18}^t}$

Table 16.10 Evaluation of intensities per decay and relative intensities of gamma rays in the decay of ^{108m}Ag

Item	Value	Remarks
h_1[a]	0.090±0.014	$(\gamma_9^+(m)/\gamma_4^+(m))/\gamma_9(g)$
h_2[a]	0.096±0.007	$(1+\alpha_1)\gamma_1^+(m)/\gamma_4^+(m)$
h	0.095±0.007	Weighted average of h_1 and h_2
f[b]	8.6±0.6%	$[1+(1/h-\gamma_4(g))(1+\alpha_4)]^{-1}$
$\gamma_4(^{108m}\mathrm{Ag})$	90.6±0.6%	$(1-f)/(1+\alpha_4)+f\gamma_4(g)$
$\gamma_7(^{108m}\mathrm{Ag})$	91.1±0.6%	$(1-f)/(1+\alpha_7)$
$\gamma_{10}(^{108m}\mathrm{Ag})$	91.2±0.6%	$(1-f)/(1+\alpha_{10})$
$\gamma_4^+(^{108m}\mathrm{Ag})$	99.36±0.09%	$[1/(1+\alpha_4)+f\gamma_4(g)/(1-f)](1+\alpha_{10})$
$\gamma_7^+(^{108m}\mathrm{Ag})$	99.88±0.04%	$(1+\alpha_{10})/(1+\alpha_7)$
$\gamma_{10}^+(^{108m}\mathrm{Ag})$	100.00	

a) Ratio of the isomeric transition intensity to the 434 keV gamma-ray intensity.
b) Isomeric transition branching.

References

53Pe16 M. L. Perlman, W. Bernstein and R. B. Schwartz, Phys. Rev. 92 (1953) 1236
60Wa10 M. A. Wahlgren and W. W. Meinke, Phys. Rev. 118 (1960) 181
62Fr07 L. Frevert, Z. Phys. 169 (1962) 456
64Ta13 H. W. Taylor and T. A. Eastwood, Can. J. Phys. 42 (1964) 2173
65Fr01 L. Frevert, R. Schönberg and A. Flammersfeld, Z. Phys. 182 (1965) 439
66Ki03 O. C. Kistner and A. W. Sunyar, Phys. Rev. 143 (1966) 918
68Kr04 T. I. Kracikova and B. Kracik, Czech. J. Phys. B18 (1968) 143
71Ha17 J. H. Hamilton, S. M. Brahmavar, J. B. Gupta, R. W. Lide and P. H. Stelson, Nucl. Phys. A172 (1971) 139
71Jo07 N. D. Johnson, J. H. Hamilton, A. F. Kluk and N. R. Johnson, Z. Phys. 243 (1971) 395
71Ok01 K. Okano, Y. Kawase, S. Uehara and T. Hayashi, Nucl. Phys. A164 (1971) 545
72Sc42 W. D. Schmidt-Ott and R. W. Fink, Z. Phys. 254 (1972) 281
73Si02 N. C. Singhal, N. R. Johnson, E. Eichler and J. H. Hamilton, Phys. Rev. C7 (1973) 774

17. ^{139}Ce

^{139}Ce は電子捕獲により ^{139}La に崩壊し，166keV の γ 線のみを放出する。

a) ^{139}La の基底状態への電子捕獲は測定されていないが，第2禁止転移である。この付近の第2禁止転移の ^{137}Cs(7/2+)→^{137}Ba(3/2+) の log ft が12.1であることから，log ft=12 を仮定すれば分岐比は 4×10^{-6} となるので，この転移を無視した。

b) 内部変換係数は実験値の荷重1の平均値を採用した。この値は理論値より5%ほど小さい。

c) 評価値の誤差は内部変換係数の誤差によるものである。

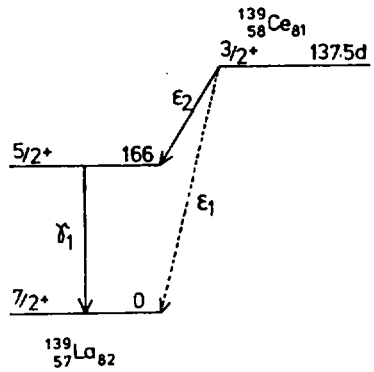

Fig. 17.1 Decay scheme of ^{139}Ce

Table 17.1 Experimental values of conversion coefficients

Author	$\alpha_K \times 10^3$	K/LMN	$\alpha \times 10^3$	Ref.
Pruett, Wilkinson	0.20 ±0.05	6.6 ±0.3		54Pr31
Mitchell, Hebb	0.22	7.0 ±0.3		54Mi56
Nussbaum, Van Lieshout	0.20 ±0.01			54Nu12
Kettelle et al.	0.22 ±0.01			56Ke23
Dzhelepov et al.		8.1 ±0.5		58Dz10
Jastrzebski		6.7		60Ja02
Taylor, Merritt			0.2514±0.0011*	62Ta03
Geiger et al.		5.86±0.13		65Ge04
Hansen, Delabaye	0.209±0.027			67Ha45
Aristov, Bazhenov			0.254 ±0.006*	71Ar43
Legrand et al.			0.2446±0.0012	73Le27
Morinaga, Hisatake	0.207±0.009			75Mo12

Table 17.2 Theoretical values of internal conversion coefficients

Item		Value	
Atomic number	Z	57	
Energy (keV)		165.85	
Multipolarity		M1	E2
Conversion coefficients	α_K	2.26(−1)	2.51(−1)
	α_{L1}	2.79(−2)	2.48(−2)
	α_{L2}	1.93(−3)	2.30(−2)
	α_{L3}	4.10(−4)	2.21(−2)
	α_L	3.03(−2)	6.98(−2)
	K/L	7.46	3.60
	MNO/L	0.26	0.26
	α	0.264	0.339
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.791	0.747

Table 17.3 Average values of the total internal conversion coefficient

$w=1$			$w=1/\varepsilon^2$		
Average value	Error		Average value	Error	
	Int.	Ext.		Int.	Ext.
0.2527*	0.0031*	0.0013	0.2515	0.0011	0.0005

Table 17.4 Experimental values of E2/M1 mixing ratio

Author	δ(E2/M1)	E2(%)	Reference
Knipper	−0.06	0.36	61Kn02
Grace et al.	$\|\delta\|<0.02$	<0.040	62Gr17
Haag et al.	0.34±0.34	0.12±0.12	63Ha07, 64Ha20

Table 17.5 Evaluation of the intensity per decay

Item	Value
ε_1	neglect
Adopted value of α	0.2527±0.0031
Adopted value of γ_1	79.83±0.20%

References

54Mi56 A. C. G. Mitchell and E. Hebb, Phys. Rev. 95 (1954) 727
54Nu12 R. H. Nussbaum and R. van Lieshout, Physica 20 (1954) 440
54Pr31 C. H. Pruett and R. G. Wilkinson, Phys. Rev. 96 (1954) 1340
56Ke23 B. H. Ketelle, H. Thomas and A. R. Brosi, Phys. Rev. 103 (1956) 190
58Dz10 B. S. Dzhelepov, B. K. Preobrazhenskii, I. M. Rogachev and P. A. Tishkin, Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz. 22 (1958) 931
60Ja02 J. Jastrzebski, J. Phys. Radium 21 (1960) 12
61Kn02 A. Knipper, Ann. Phys. 6 (1961) 211
62Gr17 M. A. Grace, C. E. Johnson, R. G. Scurlock and R. T. Taylor, Phil. Mag. 7 (1962) 1087
62Ta03 J. G. V. Taylor and J. S. Merritt, Bull. Am. Phys. Soc. 7 (1962) 352, XA4
63Ha07 J. N. Haag, D. A. Shirley and D. H. Templeton, Phys. Rev. 129 (1963) 1601
64Ha20 J. N. Haag, Phys. Rev. 134 (1964) B509
65Ge04 J. S. Geiger, R. L. Graham, I. Bergström and F. Brown, Nucl. Phys. 68 (1965) 352
67Ha45 H. H. Hansen and M. Delabaye, Intern. At. Energy Agency, Vienna (1967) 361; CONF-661012 (1967)
71Ar43 E. A. Aristov and V. A. Bazhenov, Meas. Tech. (USSR) 14 (1971) 1883
73Le27 J. Legrand, M. Blondel and P. Magnier, Nucl. Instr. Methods 112 (1973) 101
75Mo12 A. Morinaga and K. Hisatake, J. Phys. Soc. Japan 38 (1975) 322

18. ^{144}Ce, ^{144}Pr

^{144}Ce は主に ^{144}Pr の基底状態へ β 崩壊するが，崩壊にともない 133keV, 80keV のエネルギーの低い γ 線を放射する。^{144}Pr は ^{144}Nd に β 崩壊し，弱い 696keV, 1489keV, 2185keV の γ 線を放射する。また ^{144}Pr の第1励起状態は7.2分の異性体であり，これから ^{144}Nd に β 崩壊する分岐もわずかにある。^{144}Ce の2本の γ 線と ^{144}Pr の3本の γ 線について崩壊あたりの強度の評価値を求めた。いずれも，余り良い精度では求まらなかった。

a) ^{144}Ce の γ 線の相対強度は1970年代の値から求めた。内部変換係数は実験値と理論値が少しずれるので，α_K, α_L については実験値を採用し，MNO/L 比は理論値を採用した。

b) ^{144}Pr の異性体から ^{144}Nd への β 崩壊の分岐は Fasching (70Fa03) の測定値があり，0.05±0.03%である。

c) ^{144}Pr の崩壊では数多くの γ 線が放射されるが主なものは3本である。^{144}Nd の基底状態への β 崩壊の分岐比からこれらの γ 線の崩壊あたりの強度を求めると，約10%の精度でしか決まらない (Table 18.

11)。$4\pi\beta$-γ 同時計数による崩壊あたりの強度は精度よく観測されている（Table 18.12)。696keV と 2186keV γ 線の相対強度を利用して，$4\pi\beta$-γ 同時計数による２つの実験値を平均し，評価値を求めた。

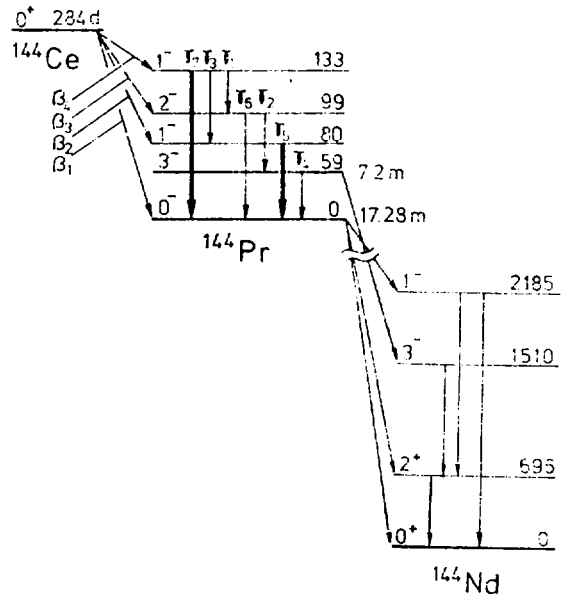

Fig. 18.1 Decay scheme of ^{144}Ce

Table 18.1 Experimental values of beta-ray branching ratios

Beta ray	Maximum energy (keV)	Branching ratio (%)				
		Emmerich et al. 54Em09	Pullman Axel 56Pu24	Hickok et al. 58Hi76	Freeman 59Fr54	Daniel Kaschl 66Da04
β_1	316	70.5±5.0	76±5	65±5	60	75.7±0.8*
β_2	236			5±2	5	4.6±0.3
β_3	182		24±5	30±5	23	19.7±0.5
β_4	150				12	

Table 18.2 Experimental values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Potnis et al. 70Po09	Anttila Piiparinen 70An15	Fashing et al. 70Fa03	Rao Rao 75Ra
γ_1	33.57	2.3 ±0.2	2.0±0.5	1.4±0.5	a)
γ_2	40.93	5 ±4	4.4±1.5	4.6±2.3	7.2±0.4
γ_3	53.41	1.1 ±0.1	1.2±0.2	0.8±0.4	0.7±0.1
γ_4	59.03		≈0.01	(not observed)	0.03±0.02
γ_5	80.12	16 ±1	14.8±1.0	14.3±1.2[b]	15.0±0.4
γ_6	99.95	0.39±0.04	0.36±0.05	0.35±0.04	0.6±0.1
γ_7	133.53	100 ±6	100 ±5	100±5[b]	100±1

a) Combined peak with X rays.
b) The error is estimated by us.

Table 18.3 Average values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
		Average value	Error		Average value	Error	
			Int.	Ext.		Int.	Ext.
γ_2	40.93	4.5[a]	1.2	0.1	4.7*[a]	1.6*	0.6
γ_3	53.41	0.9	0.1	0.04	1.0	0.1	0.1
γ_5	80.12	15.1	0.3	0.2	15.0*	0.5*	0.5
γ_6	99.95	0.37[a]	0.02	0.01	0.37*[a]	0.03*	0.01
γ_7	133.53	100	3	0	100	3	0

a) The weight for 75Ra is taken to be zero.

Table 18.4 Experimental values of internal conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	K/L	L/M	α_K		α_L
	54Em09	54Em09	58Hi76	70An15	70An15
33.57		3			4.5 ±1.2
40.93		11			1.8 ±0.6
53.41				6.6 ±0.5	0.98 ±0.10
59.03	1				≈610
81.12	5	9	1.4 ±0.24	2.5 ±0.5*	0.31 ±0.04*
99.95				1.4 ±0.5	0.82 ±0.30
133.53	8	≧4	0.76±0.15	0.54±0.12*	0.075±0.015*

Table 18.5 Theoretical values of internal conversion coefficients

Item		Value	
Atomic number	Z	59	
Energy (keV)		80.12	133.53
Multipolarity		M1	M1
Conversion coefficients	α_K	2.12	4.93(−1)
	α_{L1}	2.67(−1)	6.21(−2)
	α_{L2}	2.13(−2)	4.62(−3)
	α_{L3}	4.29(−3)	9.20(−4)
	α_L	2.92(−1)	6.77(−2)
	K/L	7.24	7.29
	MNO/L	0.27*	0.27*
	α	2.49	0.579
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.287	0.633

Table 18.6 Evaluation of intensities per decay

Item	Value	Reference
β_1	75.7 ±0.8%	66Da04
γ_2^+ (Adopted)	4.7 ±1.6%	
γ_5^+ (Adopted)	15.0 ±1.0%	
γ_6^+ (Adopted)	0.37±0.03%	
α_5	3.7 ±0.5[a)]	
α_7	0.64±0.12[a)]	
γ_7	10.1 ±0.7%[b)]	
γ_5	1.5 ±0.1%[c)]	

a) The value is obtained from the adopted values of α_K, α_L in Table 18.4 and *MNO*/*L* in Table 18.5.

b) $\gamma_7=(1-\beta_1)/((1+\alpha_7)+\gamma_2^+ +\gamma_5^+(1+\alpha_5)+\gamma_6^+)$

c) The value is obtained from the relative intensity γ_5^+.

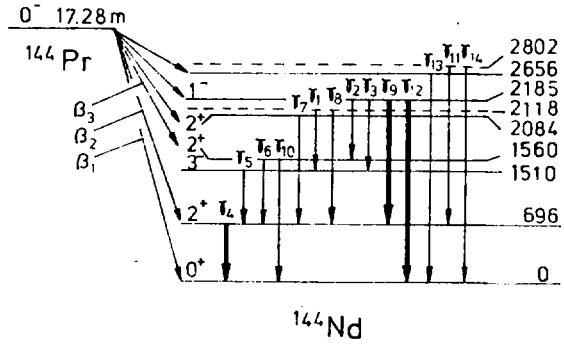

Fig. 18.2 Decay scheme of ^{144}Pr

Table 18.7 Experimental values of beta-ray branching ratios

Beta ray	Maximum energy (keV)	Branching ratio (%)	
		Emmerich et al. 54Em09	Hickok et al. 58Hi76
β_1	2996	95.5±2.0	95±4
β_2	2300	1.7±1.0	3±2
β_3	810	2.8±1.0	2±1

Table 18.8 Experimental values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Raman 68Ra01	Mangal Trehan 69Ma24	Fashing et al. 70Fa23	Behar Grabowski 74Be09	Rao Rao 75Ra
γ_1	609					0.06 ±0.02
γ_2	624.7	0.15±0.04		0.045±0.02	0.085±0.015	0.09 ±0.02
γ_3	675.0	0.23±0.06		0.172±0.017	0.207±0.015	0.23 ±0.01
γ_4	696.5	100	100	100	100	100
γ_5	814.2	0.29±0.07		0.228±0.022	0.245±0.013	0.23 ±0.01
γ_6	864.5	0.26±0.07		0.156±0.015	0.193±0.012	0.19 ±0.01
γ_7	1388	0.45±0.11		0.42 ±0.042	0.445±0.016	0.39 ±0.03
γ_8	1421					0.03 ±0.01
γ_9	1489	20.2±2.0	22±2	19.5 ±1.4	20.3 ±0.7	20.0 ±0.4
γ_{10}	1562				≈0.017	0.11 ±0.01
γ_{11}	2114	0.03±0.008		≤0.016		0.03 ±0.01
γ_{12}	2186	49.5±5.0	64±6	49.5 ±3.5	52.2 ±2.0	49.9 ±1.0
γ_{13}	2655			0.011±0.003	0.014±0.002	0.011±0.002
γ_{14}	2802					0.004±0.002

Table 18.9 Average values of relative intensities[a)]

Gamma ray	Energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
		Average value	Error		Average value	Error	
			Int.	Ext.		Int.	Ext.
γ_4	696.5	100			100		
γ_9	1489	20.0	0.3	0.1	20.0*	0.6*	0.2
γ_{12}	2186	50.3	0.6	0.1	50.2*	1.3*	0.6

a) The weight for 69Ma24 is taken to be zero.

Table 18.10 Theoretical values of internal conversion coefficients

Item		Value	
Atomic number Z		60	
Energy (keV)		696.49	1489.15
Multipolarity		E2	E1
Conversion coefficients	α_K	4.27(−3)	3.96(−4)
	α_{L1}	5.08(−4)	4.66(−5)
	α_{L2}	7.93(−5)	1.11(−6)
	α_{L3}	4.52(−5)	1.55(−6)
	α_L	6.32(−4)	4.92(−5)
	K/L	6.75	0.805
	MNO/L	0.27	0.27
	α	0.00507*	0.000459
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.995	0.9995

Table 18.11 Calculation of intensities per decay from relative intensities and the beta-ray branching

Item	Value
β_1	95.4±2.0%[a]
γ_9^+ (Adopted)	20.0±0.6%
γ_{12}^+ (Adopted)	50.2±1.3%
α_4 (Theoretical)	0.00507
γ_4	3.1±1.3%[b]
γ_9	0.6±0.1%[c]
γ_{12}	1.6±0.4%[c]

a) The weighted average of the values of 54Em09 and 58Hi76.
b) Obtained from the equation, $\gamma_4=(1-\beta_1)/(1+\alpha_4+\gamma_{12}^+)$.
c) Obtained from the relative intensity.

Table 18.12 Experimental values of intensities per decay by means of $4\pi\beta$-γ coincidence measurements

Gamma ray	Energy (keV)	Porter, Day 59Po77	McIsaac 64Mc23
γ_4	696.5	1.49±0.09%	
γ_9	1489	0.29±0.03%	
γ_{12}	2186	0.68±0.10%	0.77±0.04%

Table 18.13 Evaluation of the intensity per decay in the decay of ^{144}Pr

Item	Value	Reference
γ_4	1.49 ±0.09%	59Po77
γ_{12}	0.77 ±0.04%	64Mc23
γ_{12}^+ (Adopted)	50.2 ±1.3%	
f	0.0151±0.0006	a)

a) Conversion factor f from the relative intensity to the intensity per decay. This value is the weighted average of γ_4 and $\gamma_{12}/\gamma_{12}^+$.

Table 18.14 Evaluated values of ^{144}Pr

Gamma ray	Energy (keV)	Relative intensity (%)	Intensity per decay[a] (%)
γ_4	696.5	100	1.51±0.06
γ_9	1489	20.0±0.6	0.30±0.05
γ_{12}	2186	50.2±1.3	0.76±0.04

a) Obtained from $\gamma_4=f$, $\gamma_9=f\gamma_9^+$ and $\gamma_{12}=f\gamma_{12}^+$.

References

54Em09 W. S. Emmerich, W. J. Auth and J. D. Kurbatov, Phys. Rev. 94 (1954) 110
56Pu24 I. Pullman and P. Axel, Phys. Rev. 102 (1956) 1366
58Hi76 R. L. Hicok, W. A. McKinley and S. C. Fultz, Phys. Rev. 109 (1958) 113
59Fr54 N. J. Freeman, Proc. Phys. Soc. (London) 74 (1959) 449
59Po77 F. T. Porter and P. P. Day, Phys. Rev. 114 (1959) 1286
64Mc23 L. D. McIsaac, IDO-17042, p. 43 (1964)
66Da04 H. Daniel and G. Th. Kaschl, Nucl. Phys. 76 (1966) 97
68Ra01 S. Raman, Nucl. Phys. A107 (1968) 402
69Ma24 P. C. Mangal and P. N. Trehan, J. Phys. Soc. Japan 27 (1969) 1
70Po09 V. R. Potnis, G. P. Agin and C. E. Mandevill, J. Phys. Soc. Japan 29 (1970) 539
70An15 A. Anttila and M. Piiparinen, Z. Phys. 237 (1970) 126
70Fa03 J. L. Fashing, W. B. Walters and C. D. Coryell, Phys. Rev. C1 (1970) 1126
74Be09 M. Behar, Z. W. Grabowski and S. Raman, Nucl. Phys. A219 (1974) 516
75Ra B. V. N. Rao and G. N. Rao, J. Phys. Soc. Japan 40 (1975) 1

19. ^{207}Bi

^{207}Bi は，ほとんど電子捕獲により崩壊し，約98%の 570keV γ 線と約75%の 1064keV の γ 線を放射する。この２本の γ 線の強度を評価した。

a) ^{207}Bi の陽電子崩壊の上限をおさえたものは Miller ら (59Mi19) のものが唯一であり，その値は0.5%である。

b) 570keV γ 線の崩壊あたりの強度は 897keV γ 線の相対強度より求めた。内部変換係数は，多くの実験があり，理論値と良く一致している。評価には Anderson ら (68An04) の実験値を採用した。

c) 1064keV γ 線の崩壊あたりの強度は，570keV γ 線との相対強度の実験値を使って求めたが，余り良い精度は得られなかった。

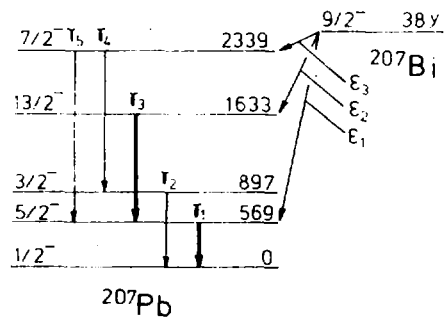

Fig. 19.1 Decay scheme of ^{207}Bi

Table 19.1 Experimental values of relative intensities

Gamma ray	Energy (keV)	Alburger Sunyar 55Al26	Monahan 61Mo09	Donnely et al. 67Do09	Hedin Backlin 69He19	Rao et al. 69Ra13
γ_1	569.7	100	100	100	100 ± 2.0	100
γ_2	897.3	0.16				0.150±0.015
γ_3	1064	87	76± 6	78.4± 2.4	74.0± 2.0	78.7 ±4.0
γ_4	1442	0.16				0.150±0.015
γ_5	1770	8		7.07±0.35		7.5 ±0.4

Table 19.2 Average values of relative intensities[a)]

Gamma ray	Energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
		Average value	Error		Average value	Error	
			Int.	Ext.		Int.	Ext.
γ_1	569.7	100.0			100.0		
γ_3	1064	76.8	1.6	1.2	76.8*	2.0*	1.1

a) The weight for 55Al26 is taken to be zero. Relative intensities of the 569 keV and 1064 keV gamma rays by Hedin et al. (69He19) are estimated to be 100 and 74.2±2.8, respectively.

Table 19.3 Experimental values of K-conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	$\alpha_K \times 10^2$						
	Alburger Sunyar 55Al26	Kleinheinz et al. 67Kl02	Nooijen Krugten 67Va25	Sen Rizvi 67Se15	Anderson Christensen 68An04	Baldinger Hallen 69Ba53	Hedin Backlin 69He19
569.7		1.56±0.07	1.59±0.06	1.6±0.1	1.56±0.05	1.5±0.3	1.55 ±0.05
897	2.4±1						
1064		9.0 ±0.9		8.5±0.5	8.40±0.5[a)]	9.5±1.4	9.6 ±0.3
1442	(5±2) $\times 10^{-1}$						
1770	(2.5±0.5) $\times 10^{-1}$						

a) The error is estimated by us.

Table 19.4 Experimental values of K/L ratios and total conversion coefficients

Gamma-ray energy (keV)	K/L			α
	Sen Rizvi 67Se15	Anderson Christensen 68An04	Baldinger Hallen 69Ba53	Anderson Christensen 68An04
569.7	3.26±0.09	3.45±0.35	3.00±0.15	0.0219±0.0003*
1064	3.64±0.10		3.20±0.15	0.1085

Table 19.5 Average values of K-conversion coefficients in the unit of 10^{-2}

Gamma-ray energy (keV)	$w=1/\varepsilon^2$			$w=1$		
	Average value	Error		Average value	Error	
		Int.	Ext.		Int.	Ext.
569.7	1.57	0.03	0.01	1.56	0.06	0.02
1064	8.57	0.32	0.17	8.85	0.90	0.25

Table 19.6 Theoretical values of internal conversion coefficients

Item		Value	
Atomic number	Z	82	
Energy (keV)		569.67	1063.62
Multipolarity		E2	M4
Conversion coefficients	α_K	1.58(－2)	9.70(－2)
	α_{L1}	2.34(－3)	1.89(－2)
	α_{L2}	1.57(－3)	3.84(－3)
	α_{L3}	5.42(－4)	1.72(－3)
	α_L	4.45(－3)	2.45(－2)
	K/L	3.55	3.96
	MNO/L	0.33	0.33
	α	2.17(－2)	1.30(－1)
Gamma branch	$1/(1+\alpha)$	0.979	0.885

Table 19.7 Evaluation of intensities per decay

Item	Value	Reference
γ_2^+	0.150 ±0.015%	69Ra13
γ_3^+ (Adopted)	76.8 ±2.0%	
α_1	0.0219±0.0003	68An04
γ_1	97.71 ±0.03%[a]	
γ_3	75.0 ±2.0%[b]	

a) $\gamma_1=1/(1+\alpha_1+\gamma_2^+)$

b) Obtained from the relative intensity γ_3^+.

References

55Al26 D. E. Alburger and A. W. Sunyar, Phys. Rev. 99 (1955) 695

59Mi19 C. H. Millar, T. A. Eastwood and J. C. Roy, Can. J. Phys. 37 (1959) 1126

61Mo09 J. E. Monahan, S. Raboy and C. C. Trail, Phys. Rev. 123 (1961) 1373

67Do09 D. P. Donnelly, H. W. Baer, J. J. Reidy and M. L. Wiedenbeck, Nucl. Instr. and Meth. 57 (1967) 219

67Kl02 P. Kleinheinz, R. Vukanović, L. Samuelsson, D. Krmpotić, H. Lindström and K. Siegbahn, Nucl. Phys. A93 (1967) 63

67Va25 B. Van Nooijen and H. Van Krugten, Phys. Lett. 25B (1967) 510

67Se15 S. K. Sen and S. I. H. Rizvi, Nucl. Instr. and Meth. 57 (1967) 227

68An04 V. Anderson and C. J. Christensen, Nucl. Phys. A113 (1968) 81

69Ba53 E. Baldinger and E. Haller, Helv. Phys. Acta. 42 (1969) 949

69He19 G. Hedin and A. Backlin, Ark. Fys. 38 (1969) 593

69Ra13 P. V. Rao, R. E. Wood, J. M. Palms and R. W. Fink, Phys. Rev. 178 (1968) 1997

付録 A. 半減期

1次標準に使用する8種類の核種 ^{22}Na, ^{46}Sc, ^{54}Mn, ^{60}Co, ^{85}Sr, ^{88}Y, ^{134}Cs, ^{203}Hg の半減期に関する文献を調査し，半減期の評価値を求めた。半減期の表には，測定期間，生成核反応，化学分離と同位体分離の有無，測定方法をしめした。なお，表中の記号の意味は，下記のとおりである。

chem	Chemical separation
mass	Mass separation
ic	Ionization counter
pc	Proportional counter
GM	Geiger-Müller counter
scin	Scintillation counter

Table A.1 Half-life of ^{22}Na

Author	Half-life (y)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation	Method	Ref.
Wyatt et al.	2.62±0.2	1.5	Mg(n, α) chem	ic	61Wy01
Anspach et al.	2.602±0.011*	0.5		$4\pi\gamma$ic	65An07
Anspach et al.	2.603±0.001*	1.2		$4\pi\gamma$ic	65An07
Anspach et al.	2.613±0.011*	0.5		$4\pi\gamma$ic	65An07
Anspach et al.	2.591±0.003*	2.6		$4\pi\gamma$ic	65An07
Endt et al.	2.602±0.002	61Wy01, 65An07			73En

Table A.2 Evaluation for the half-life of ^{22}Na

Weight	Average (y)	Error (y)	
		Int.	Ext.
1	2.602	0.004	0.004
$1/\varepsilon^2$	2.602*	0.001	0.002*

Table A.3 Half-life of ^{46}Sc

Author	Half-life (d)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation	Method	Ref.
Schuman et al.	84.1±0.3*	8	^{46}Ti(n, p) chem	pc	56Sc87
Geiger	83.89±0.12*		^{45}Sc(n, γ)	ic	57Ge07
Wright et al.	84.2±0.2*	3.8	^{45}Sc(n, γ)	ic	57Wr37
Hontzeas et al.	84.0±0.9*		^{51}V($\leqq$84 Mel p) chem		63Ho17
Anspach et al.	83.80±0.03*	2.8		$4\pi\gamma$ic	65An07

Table A.4 Evaluation for the half-life of ^{46}Sc

Weight	Average (d)	Error (d)	
		Int.	Ext.
1	84.00	0.19	0.07
$1/\varepsilon^2$	83.82*	0.03	0.03*

Table A.5 Half-life of ^{54}Mn

Author	Half-life (d)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation		Method	Ref.
Wyatt et al.	313.5 ±0.7	2.0	^{54}Fe(n, p)	chem	ic	61Wy01
Anspach et al.	311.9 ±0.2	1.5	^{54}Fe(n, p)	chem	$4\pi\gamma$ic	65An07
Taylor et al.	312.4 ±0.6*			chem	ic	65Ta10
Boulanger	312.2 ±0.6*	1.3				66Bo33
Anspach et al.	312.1 ±0.3*	2.4	^{54}Fe(n, p)	chem	ic	68An01
Lagoutine et al.	312.2 ±0.9*[a]	1.3	^{53}Cr(d, n)	chem	ic pc scinγ	68La10
Zimmer et al.	312.99 ±0.10*[b]	6.2	^{54}Fe(n, p)	chem	scinγ	68Zi01
Martin et al.	312.5 ±0.5	61Wy01, 65An07, 65Ta10, 68An01, 68La10, 68Zi01				70MaB1

a) The uncertainty means the 99.7% confidence level.
b) The uncertainty means the 95% confidence level.

Table A.6 Evaluation for the half-life of ^{54}Mn

Weight	Average (d)	Error (d)	
		Int.	Ext.
1	312.38*	0.16	0.18*
$1/\varepsilon^2$	312.94	0.10	0.05

Table A.7 Half-life of ^{60}Co

Author	Half-life (y)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation	Method	Ref.
Tobailem	5.27 ±0.07	0.02		ic	51To25
Kastner et al.	5.21 ±0.04			ic	53Ka21
Evans	5.28 ±0.03	1.0		ic	56Ev18
Lockett et al.	5.20 ±0.03			electroscope	56Lo31
Perry et al.	5.25 ±0.04	1.2		ic	56Pe52
Geiger	5.24 ±0.03	1.2	^{59}Co(n, γ)	ic	57Ge07
Brosi et al.	5.29 ±0.03	0.2			58Bl92
Keene et al.	5.33 ±0.04	0.23	^{59}Co(n, γ)	ic	58Ke26
Loftus et al.	5.29 ±0.02		^{59}Co(n, γ)	electroscope	58Lo61
Seliger et al.	5.26 ±0.03				58Se53
Gorbics et al.	5.263 ±0.003	0.61		ic	63Go03
Anspach et al.	5.242 ±0.008	1		$4\pi\gamma$ic	65An07
Anspach et al.	5.259 ±0.003	1.0	^{59}Co(n, γ)	ic	68An01
Lagoutine et al.	5.27 ±0.02		^{59}Co(n, γ)	ic pc scinγ	68La10
Merritt et al.	5.297 ±0.008			$4\pi\gamma$ic	69Me
Walz et al.	5.2719 ±0.0011				70Wa19
Rytz	5.270 ±0.003				73Ry
Martin et al.	5.26 ±0.01	51To25, 53Ka21, 56Ev18, 56Lo31, 56Pe52, 57Ge07, 58Bl92, 58Ke26, 58Lo61, 58Se53, 63Go03, 68An01, 68La10			70MaB1
Grinberg et al.	5.2721 ±0.0024[a]	68La10, 69Me, 70Wa19, 73Ry			74Gr

a) This value is adopted.

Table A.8 Half-life of ^{85}Sr

Author	Half-life (d)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation		Method	Ref.
Herrmann et al.	65.0 ±0.7		U(n, f)	chem		56He77
Wright et al.	64.0 ±0.2	3.3	^{84}Sr(n, γ)	chem	scinγ	57Wr37
Sattler	63.90±0.27	4	^{84}Sr(n, γ)		scinγ	62Sa12
Anspach et al.	65.19±0.13*	1.4	Sr(n, γ)		4$\pi\gamma$ic	65An07
Gleason	64.93±0.22*				scinγ	67Gl05
Grotheer et al.	66.6 ±0.6	0.8			scinγ	69Gr12
Lagoutine et al.	64.68±0.23*	3	^{84}Sr(n, γ)		pc	72La14
Martin et al.	64.5 ±0.5	56He77, 57Wr37, 62Sa12, 65An07, 67Gl05				70MaB1

Table A.9 Evaluation for the half-life of ^{85}Sr

Weight	Average (d)	Error (d)	
		Int.	Ext.
1	64.93*	0.11	0.15*
$1/\varepsilon^2$	65.04	0.10	0.14

Table A.10 Half-life of ^{83}Y

Author	Half-life (d)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation		Method	Ref.
Wyatt et al.	108.1 ±0.3	3.1	Sr(p, n)	chem	ic	61Wy01
Anspach et al.	106.52±0.03	2.6	Sr(p, n)	chem	4$\pi\gamma$ic	65An07
Anspach et al.	106.67±0.03	2.7	Sr(p, n)	chem	4$\pi\gamma$ic	65An07
Anspach et al.	106.61±0.02[a]	4.3	Sr(p, n)	chem	4$\pi\gamma$ic	68An01
Grotheer et al.	108.4 ±0.9	0.5			scinγ	69Gr12
Martin et al.	107 ±1	61Wy01, 65An07, 68An01				70MaB1
Bunting et al.	106.60±0.04	65An07, 68An01				76Bu

a) This value is adopted.

Table A.11 Half-life of ^{134}Cs

Author	Half-life (y)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation	Method	Ref.
Merritt et al.	2.19 ± 0.02	2,3	Cs(n, γ)	4πpc	57Me
Geiger	2.07 ± 0.02			ic	57Ge07
Bayly	2.15 $^{+0.08}_{-0.04}$		Cs(n, γ)		58Ba
Edwards	2.26 ± 0.05	3	Cs(n, γ)	mass-spect.	58Ed
Easterday et al.	2.05 ± 0.02			ic	60Ea
Wyatt	2.07 ± 0.02			ic	61Wy01
Dietz et al.	2.046 ± 0.004				63Di
Flynn	1.99 ± 0.02			pc	65Fl02
Lagoutine et al.	2.058 ± 0.012	1,5	^{133}Cs(n, γ)	4$\pi\beta$pc	72La14
	2.05 ± 0.02				73IA
Dietz et al.	2.062 ± 0.005[a]	4,9	mass chem	ion-counting	73Di01
Hashizume et al.	2.056 ± 0.008	57Me, 57Ge07, 58Ba, 58Ed, 60Ea, 61Wy01, 65Fl02, 72La14, 73IA, 73Di01			73Ha

a) This value is adopted. The uncertainty means the 99% confidence level.

Table A.12 Half-life of ^{203}Hg

Author	Half-life (d)	No. $T_{1/2}$ followed	Production, Separation	Method	Ref.
Wilson et al.	45.9 ± 0.2	2	Hg(n, γ)	pc	51Wi22
Cork et al.	47.9 ± 0.2	1	^{202}Hg(n, γ)		52Co01
Eichholz et al.	46.91 ± 0.14	5	Hg(n, γ)	ic	56Ei14
Thiry	47.1 ± 0.2	3	Hg(n, γ)	GM	57Th11
Wright et al.	45.4 ± 0.5	4	Hg(n, γ) chem	ic	57Wr37
Cali et al.	47.2 ± 0.7	2～6	Hg(n, γ)	pc	59Ca12
Taylor	46.8 ± 0.2*	2	^{202}Hg(n, γ)	scinγ pcβ	62Ta06
Anspach et al.	46.56 ± 0.02	4,8	Hg(n, γ) chem	4$\pi\gamma$ic	65An07
Anspach et al.	46.577 ± 0.008	5,1	Hg(n, γ) chem	4$\pi\gamma$ic	65An07
Gleason	46.64 ± 0.27*	2		scinγ	67Gl05
Anspach et al.	46.600 ± 0.010*	3	Hg(n, γ) chem	ic	68An01
Lagoutine et al.	47.0 ± 0.1		Hg(n, γ)	ic pc scinγ	68La10
Martin et al.	46.59 ± 0.05	51Wi22, 52Co01, 56Ei14, 57Th11, 57Wr37, 59Ca12, 62Ta06, 65An07, 67Gl05, 68An01, 68La10			70MaBI

Table A.13 Evaluation for the half-life of ^{203}Hg

Weight	Average (d)	Error (d)	
		Int.	Ext.
1	46.68*	0.11*	0.06
$1/\varepsilon^2$	46.601	0.010	0.007

Table A.14 Adopted values of half-lives

Nuclide	Half-life	
^{22}Na	2.602 ±0.002	y
^{46}Sc	83.82 ±0.03	d
^{54}Mn	312.38 ±0.18	d
^{60}Co	5.2721±0.0024	y
^{85}Sr	64.93 ±0.15	d
^{88}Y	106.61 ±0.02	d
^{134}Cs	2.062 ±0.005	y
^{203}Hg	46.68 ±0.11	d

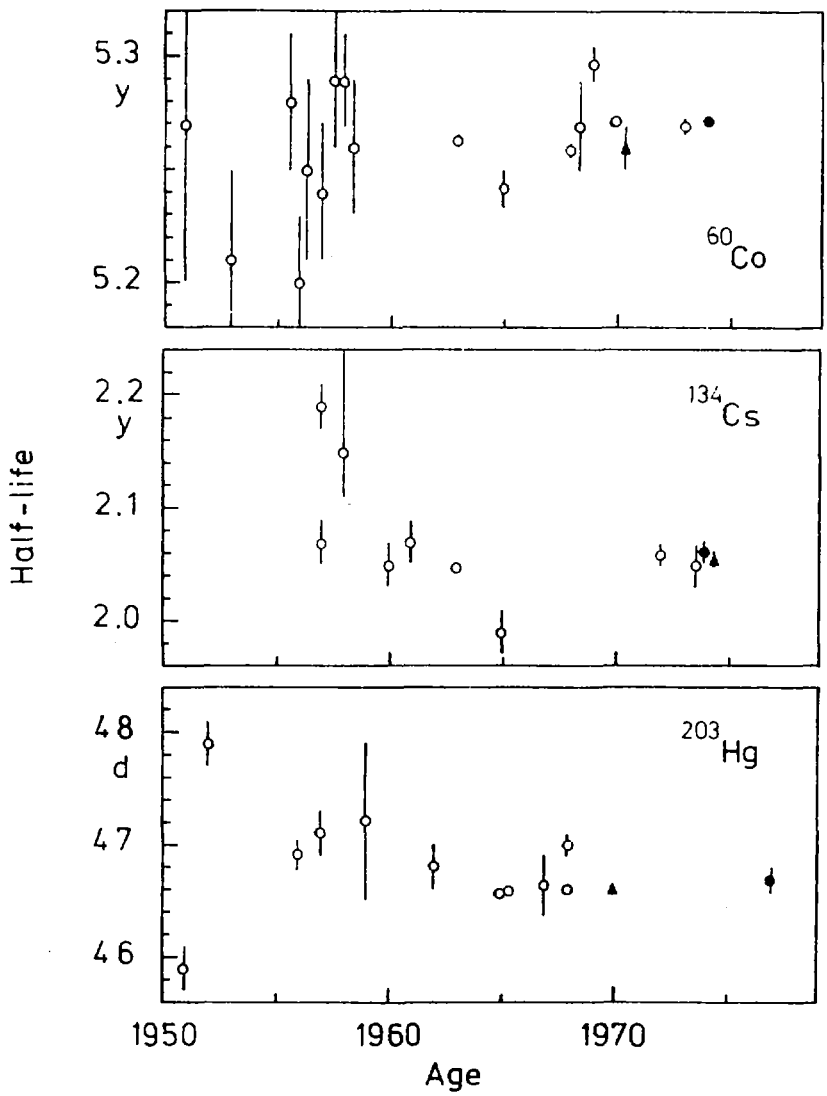

Fig. A.1 Comparison of half-lives. Solid circles and triangles indicate the adopted and evaluated values, respectively.

References

51Ne02 H. M. Neumann and I. Perlman, Phys. Rev. 81 (1951) 958
51To25 J. Tobeilem, Comp. rend. 233 (1951) 1360
51Wi22 H. W. Wilson and S. C. Curran, Phil. Mag. 42 (1951) 762
52Co01 J. M. Cork, D. W. Martin, J. M. LeBlanc and C. E. Branyan, Phys. Rev. 85 (1952) 386
53Ka21 J. Kastner and G. N. Whyte, Phys. Rev. 91 (1953) 332
56Ei14 G. G. Eichholz and J. V. Krzyzewski, Can. J. Phys. 34 (1956) 1167
56Ev18 R. D. Evans, Priv. Comm. (1956)
56He77 G. Herrmann and F. Strassmann, Z. Naturforsch. 11a (1956) 946
56Lo31 E. E. Lockett and R. H. Thomas, Nucleonics 14, No. 11 (1956) 127
56Pe52 W. E. Perry and J. W. Dale, Quoted by 56Lo31
56Sc87 R. P. Schuman, M. E. Jones and A. C. Mewherter, J. Inorg. Nucl. Chem. 3 (1956) 160
57Ge07 K. W. Geiger, Phys. Rev. 105 (1957) 1539
57Me W. F. Merritt et al., Can. J. Phys. 35 (1957) 16
57Th11 H. Thiry, Bull. soc. roy. sci. Liege 26 (1957) 29
57Wr37 H. W. Wright, E. I. Wyatt, S. A. Reynolds, W. S. Lyon and T. H. Handley, Nucl. Sci. and Eng. 2 (1957) 427
58Ba J. G. Bayly, J. Inorg. Nucl. Chem. 5 (1958) 259
58Bl92 A. R. Brosi and B. H. Ketelle, Priv. Comm. (1958)
58Ed J. E. Edwrds, J. Inorg. Nucl. Chem. 7 (1958) 336
58Ke26 J. P. Keene, L. A. Mackenzie and C. W. Gilbert, Phys. In Med. Biol. 2 (1958) 360
58Lo61 T. P. Loftus and R. M. Lee, Priv. Comm. (January 1958)
58Se53 H. H. Seliger and L. M. Cavallo, Priv. Comm. (January 1958)
59Ca12 J. P. Cali and L. F. Lowe, Nucleonics 17, No. 10 (1959) 86
59Ha20 G. Harbottle, J. Inorg. Nucl. Chem. 12 (1959) 6
59So12 J. Sosniak and R. E. Bell, Can. J. Phys. 37 (1959) 1
60Ea H. T. Easterday et al., Nucl. Phys. 20 (1960) 155
61Ap01 E. H. Appelman, Phys. Rev. 121 (1961) 253
61Wy01 E. I. Wyatt, S. A. Reynolds, T. H. Handley, W. S. Lyon and H. A. Parker, Nucl. Sci. and Eng. 11 (1961) 74
62Sa12 A. R. Sattler, Phys. Rev. 127 (1962) 854
62Ta06 J. G. V. Taylor, Can. J. Phys. 40 (1962) 383
63Di L. A. Dietz, C. F. Pachucki and G. A. Land, Analyt. Chem. 35 (1963) 797
63Ho17 S. Hontzeas and L. Yaffe, Can. J. Chem. 41 (1963) 2194
63Go03 S. G. Gorbics, W. E. Kunz and A. E. Nash, Nucleonics 21, No. 1 (1963) 63
65An07 S. C. Anspach, L. M. Cavallo, S. B. Garfinkel, J. M. R. Hutchinson and C. N. Smith, Natl. Bur. Stand. Misc. Publ. 260-9 (1965)
65Fl02 K. F. Flynn, L. E. Glendenin and E. P. Steinberg, Nucl. Sci. and Eng. 22 (1965) 416
65Ta10 J. G. V. Taylor and J. S. Merritt, AECL 250 (1965) 26
66Bo33 J. P. Boulanger, CEA-R-2991 (1966); UCRL-Trans-10293 (1968)
67Gl05 G. I. Gleason, Priv. Comm. (December 1967)
68An01 S. C. Anspach, L. M. Cavallo, S. B. Garfinkel, J. M. R. Hutchinson and C. N. Smith, Priv. Comm. (January 1968)
68La10 F. Lagoutine, Y. Le Gallic and J. Legrand, Int. J. Appl. Rad. Iso. 19 (1968) 475
68Zi01 W. H. Zimmer and R. E. Dahl, Nucl. Sci. and Eng. 32 (1968) 132
69Gr12 H. H. Grotheer, J. W. Hammer and K. W. Hoffmann, Z. Physik 225 (1969) 293
69Me J. S. Merritt and J. G. V. Taylor, — AECL — 3333 (1969) 32
70MaBl M. J. Martin and P. H. Blichert, Nucl. Data Tables A8 (1970) 149
70Wa19 K. F. Walz and H. M. Weiss, Z. Naturforsch. 25a (1970) 921
72La14 F. Lagoutine, J. Legrand, C. Perrot, J. P. Brethon and J. J. Morel, Int. J. Appl. Radiat. Isotop.

23 (1972) 219
73Di01 L. A. Dietz and C. F. Pachucki, J. Inorg. Nucl. Chem. 35 (1973) 1769
73En P. M. Endt and C. Vander Leun, Nucl. Phys. 214 (1973) 42
73Ha A. Hashizume and H. Kawakami,
73Ry A. Rytz, Procès verbaux des séanees du Comité International des Poids et Mesures (1973) 40
73IA IAEA/SM-170/12
74Gr B. Grinberg, J. P. Brethon, F. Lagoutine, Y. Le Gallic, J. Legrand, A. H. Wapstra, H. M. Weiss, W. Bambynek, E. De Roost, H. H. Hansen and A. Spernol, Atomic Energy Journal (1974) 516
76Bu R. L. Bunting and J. J. Kraushaar, Nucl. Data Sheets 18 (1976) 87

㈱　高野高速印刷納