

JAERI-M

6785

中性子放射化に関する核種チャート
—生成核種の敏速な予知に役立つ新型チャート—

1976年11月

岡田 實

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、複製などのお問い合わせは、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.

中性子放射化に関する核種チャート
—— 生成核種の敏速な予知に役立つ新型チャート ——

日本原子力研究所ラジオアイソトープ・原子炉研修所

岡田 實

(1976年10月20日受理)

改良型核種チャートの試作を繰り返すことによって核種チャートの単能化を進め、下記の方式によるチャートを完成させた。(1)記載項目は、核種、核異性体、壊変型、とする。(2)中性子放射化に関係のない核種は記載しない。(3)チャートを一定の方法で分割した上、チャートの寸法を最適化させる。(4)どの項目についても不確定性をなるべく示す。

Chart of Nuclides Relating to Neutron Activation
—A New Chart for the Rapid Finding of the Nuclides
Which may be Formed—

Minoru OKADA

Radioisotope and Nuclear Engineering School, JAERI

(Received October 20, 1976)

By repeated trial preparation of the chart a new chart has been developed, which incorporates the following: (1) only three items (nuclide, isomer, and type of decay); (2) only the nuclides relating to neutron activation; (3) division of the chart into optimum sizes; (4) where possible, the uncertainty involved.

1 序 論

中性子放射化という過程で起こる核反応の種類は一般に二～三にとどまらない。例えば (n, γ) , (n, n') , (n, p) , (n, α) 等である。さらに、生成核種の中には放射性の娘核種を生じるものもある。従って、中性子放射化によって一元素から直接間接に生じる核種（および核異性体）はかなり多い。そこで、ある一元素から生じる可能性のある生成物を予知するには、核種チャートの上でパターン認識の迅速性を利用することが得策である。この種の予知の仕事は放射化分析を計画するさいに特に重要である。

よく知られた数種類の核種チャートは、その大部分がこのような予知の仕事に頻繁に使うには適しない。というのは、それらが下記の問題点の少なくとも一つを持っているからである。(1)文字が小さ過ぎる。核異性体の多い ^{152}Eu の所が特に読みにくい。(2)チャートの寸法と形が、頻繁な使用に向いていない。すなわち、大き過ぎたり折り畳んであったりして人間工学的配慮が足りない。(3)幾つかの核種については、それが壊変したら何が生じるかということが明確に分かるようにはなっていない。例えば「 ^{12}N が壊変すると部分的ながら ^{12}C が生じるのに ^8B が壊変しても ^8Be は生じない」というように ^{12}N と ^8B は壊変形式が違うにもかかわらず同じ表示が付けてある。大部分の核種チャートには、この様な不明確な表示が4種類入っている。例えば $\beta^+(\alpha)$, $\beta^-(\alpha)$, $\beta^-(n)$, $\beta^+(p)$ の4種である。(4)半減期 0.3s 以上の核異性体を測定対象とするサイクル照射システム⁽¹⁾（気送管使用の反復輸送式放射化分析装置）がすでに造られているにもかかわらず、半減期 0.3s 以上の核異性体の一部が記載されていない。

2 方 法

代表的な核種チャート 10 種^{(2)~(11)}を相互に比較し、3種の核種チャートを次々に試作した。この試作を通じてチャート改善を段階的に行った。その3回目の試作品はほぼ満足すべきものと思われるのでここに発表する。

3 考察および結果

3.1 チャート内の字数の削減

3.1.1 チャートの効用の限定

チャートの寸法は、頻繁な使用に向くよう大き過ぎないことが望ましい。他方、チャートの中の最小の字でも、読みやすい大きさであることが望ましい。この二つを両立させるため、チャートの効用を「中性子放射化で生じる核種・核異性体の予知に役立つ」という効用に絞った。従って記載すべき項目は核種名、核異性体名、壊変の型、の三つになった。半減期は核種名と核異性体名とに含まれる。二つの半減期が一致した場合には準位のエネルギー値を付記して区別することにした。

3.1.2 記載する核種の限定

中性子放射化に関係のない核種（例えば中性子不足の核種），および，中性子照射では生じにくい核種（例えば (n, γ) 反応を3回以上繰り返さなければ生じないような核種）は記載しないことにし，核分裂生成物も考慮外とした。ただし核分裂生成物のうち他の中性子反応によっても生じる核種は記載した。

3.2 頻繁な使用に適する寸法・形状

今，仮に理想的な大きさの核種チャートがあったとする。そのチャートを，もし拡大すれば頻繁に扱うのに不便となり，もし縮小すれば読みにくくなる。この二つの兼ね合いを考えに入れた最適寸法を実験的試作によって探した。そして，ほぼ理想的な大きさのチャートを次のようにして実現させた。
 (1)一つの架空の核種チャートを10個の部分に分割した。分割のさい各部がほぼ等しい大きさになるようにし，しかも切り口がなるべく短くなるようにした。(2)分割されたチャートの二～三の部分を実際に行った。そのさい各部の左半分は左側のページに掲載されるように，右半分は右側のページに掲載されるように計画し，各ページの最終的な大きさとしてA4 (210mm×297mm)を予定し，その2倍の大きさに書いた。(3)予定したA4という大きさが妥当かどうか確かめるために，最も混み合っている箇所 (^{160}Ho の所) を書き，最終寸法がA4の場合とB5 (182mm×257mm)の場合の二通りに縮小した。前者の場合は一核種の占める部分が13mm×23mmとなり，ほとんど困難なく読めたが，後者の場合は字が小さくて読みにくかった。(4)上記の(2)の方法で残りの部分を書いた。そのさい，第9部分と第10部分は同じページに入れることができたので，全部で18ページとなった。

以上のようにしてでき上がったA4版18ページの核種チャートは，見たい個所をあける手数と時間が少なく済み，立ったりかがんだりせずに使うことができ，持ち運びも収納も容易である。

3.3 核変生成物の種類を示す新表示

^{92}Rb と ^{141}I とを例に引いて説明する。この両者は共に β^- と遅発中性子を放出する。 ^{92}Rb は Fig. 1 のように ^{92}Sr になるが， ^{141}I の少なくとも大部分は ^{140}Xe にはならない (Fig. 2)。

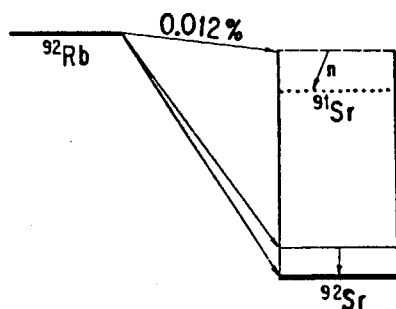


Fig. 1 Decay scheme for ^{92}Rb

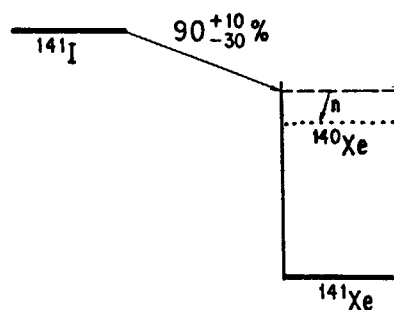
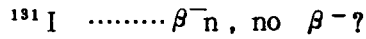
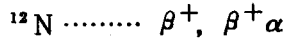


Fig. 2 Decay scheme for ^{141}I

このような違いを示すためには別々の表示が必要である。しかしながら従来は，このような二つの場合に対して $\beta^-(n)$ というような共通の表示が使われていて区別できなかった。そこで筆者は下記の表示を試してみた。



同様に前記の ^{12}N と ^8B には次の表示を付けてみた。



3.4 短寿命核異性体の省略の限度

短くとも 0.3s の半減期を持つ核異性体なら放射化分析に利用できる，ということを序論で述べた。近い将来，半減期 0.1s のものでも放射化分析に利用されると思われる。従ってチャートにはその程度の短寿命の核種も記載することが望ましい。

ここに提示する核種チャートには，半減期が 1 μs 未満の場合に限って核異性体を省略してある。0.1s 未満としなかった理由は，1 μs に下げても最大混雑度が変わらず従って最小の文字の大きさも変わらないからである。

3.5 「no β^+ ?」という表示の導入

便宜上，例を引いて説明する。 ^{56}Ni の β^+ 強度は 1% 未満であることが知られており， ^{40}K と ^{163}Er は共に β^+ 強度が 10^{-5} % であることが知られている。 ^{56}Ni の β^+ に対して報告されている「1%」という検出限界はかなり高いから， ^{56}Ni に対しては「no β^+ 」と表示するよりも「no β^+ ?」と表示するほうが妥当と考えられる。no β^+ に ? を付け加えた記号は，従来の核種チャートには全く使われていないけれども，これが必要な場合はかなり多く，50 を超える。

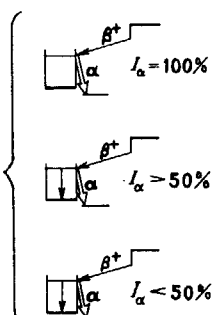
3.6 その他の表示

この核種チャートを作るに当たり必要に迫られて数種類の新型表示を使った。おもなものをチャートの冒頭に示す。

3.7 改良点の総括

このチャートと従来のチャートの代表的なもの^{(2)~(11)}とを比較すると Table 1 のようになる。

Table 1 Comparative table for the good points of this chart

	This chart	Typical ten familiar charts (2) ~ (11)
Size of letters	Any letter is as large as one can read easily.	Magnifying glass is necessary to read the smallest letter in chart. (Sullivan's chart is the only exception.)
Size and style of page or pages	A4 (210mm x 297 mm). 18 pages. No foldout.	Width of chart is often as large as 0.5~1.0m. Sometimes it is in a foldout.
Indications for type of double decay via an energy level of very short life (1) [β^+ decay] + [α decay] <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;">  <div style="margin-left: 20px;"> $\beta^+ \alpha$ $\beta^+ \alpha, \beta^+$ $\beta^+, \beta^+ \alpha$ </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> (2) [β^+ decay] + [p decay] (3) [β^- decay] + [α decay] (4) [β^- decay] + [n decay] </div>	$\beta^+ \alpha$ $\beta^+ \alpha, \beta^+$ $\beta^+, \beta^+ \alpha$	$\left[\begin{matrix} \beta^+ \\ (\alpha) \end{matrix} \right]$ or $\left[\begin{matrix} \beta^+ \\ \alpha \end{matrix} \right]$
	Very similar to the above indications	
Extent of omission of short-lived isomers	Isomers of half lives of less than 1.0 μ s are omitted.	Not a few charts omit isomers of half lives of less than 0.4s, and a few charts do longer-lived isomers.
Indication of "no β^+ "	Both "no β^+ " and "no $\beta^+?$ " are used in a certain manner.	Use of "no β^+ " often seems to be capricious, and "no $\beta^+?$ " has never been used.
Change with the passage of time	Discovery of a nuclide does not increase the chart.	Chart grows with the discovery of a nuclide.
Expression of half life	Uncertainty is considered.	Expression is not always parallel to the uncertainty.

参考文献

- (1) 富永 洋, 榎本茂正: ^{252}Cf 放射化分析のためのサイクル照射システム, 第13回理工学における同位元素研究発表会, 東京, 1976
- (2) G.E., KAPL (General Electric, Knolls Atomic Power Lab.), Chart of the Nuclides, 5th ed., 1956
- (3) Sullivan W.H.: Trilinear Chart of Nuclides, 2nd ed., ORNL, 1957
- (4) Seelmann-Eggebert W., Pfennig G., Münzel H., Zundel G.: Chart of the Nuclides, 2nd ed., Nuclear Res. Centre Karlsruhe, 1961
- (5) G.E., KAPL, Chart of the Nuclides, 7th ed., 1964
- (6) 日本放射性同位元素協会, 仁科記念財団: Chart of the Nuclides, 2nd ed., 1965
- (7) Seelmann-Eggebert W., Pfennig G., Münzel H.: Chart of the Nuclides, 3rd ed., Nucl. Res. Centre Karlsruhe, 1968
- (8) Holden N.E., Walker F.W.: Chart of the Nuclides, 10th ed., G.E., KAPL, 1968, p. 72 - p. 85 of Radiological Health Handbook, revised ed., U.S. Department of Health, Education, and Welfare, 1970
- (9) 日本放射性同位元素協会, 仁科記念財団: Chart of the Nuclides, 3rd ed., 1970
- (10) Pannetier R., Chevillon P.L.: Tableau des Isotopes, 1970
- (11) Seelmann-Eggebert W., Pfennig G., Münzel H.: Chart of the Nuclides, 4th ed., Nucl. Res. Centre Karlsruhe, 1974

TO NEUTRON ACTIVATION

Research Institute
Bunkyo, Tokyo 113

						16					
						S 30 ≈1.24s β ⁺	S 31 ≈2.61s β ⁺				
						15					
						P 30 ≈2.497m β ⁺					
						14					
						Si 26 2.20s β ⁺	Si 27 4.17s β ⁺	Si 28	Si 29		
						13					
						Al 26 ≈6.347s β ⁺ , no IT		Al 27 7.2x10 ³ y β ⁺ , ε	Al 28 2.26m β ⁻		
						12					
						Mg 22 3.86s β ⁺	Mg 23 11.6s β ⁺	Mg 24	Mg 25	Mg 26	Mg 27 9.46m β ⁻
						11					
						Ne 22 2.602y β ⁺ , ε	Ne 23	Ne 24 20.1ms IT	Ne 25 15.02h β ⁻	Ne 26 60s β ⁻	Ne 27 1.05s β ⁻
Ne 18 1.67s β ⁺	Ne 19 ≈17.40s β ⁺	Ne 20	Ne 21	Ne 22	Ne 23 37.6s β ⁻	Ne 24 3.38m β ⁻	Ne 25 0.60s β ⁻				
	F 18 ≈109.77m β ⁺	F 19	F 20 11.0s β ⁻	F 21 ≈4.32s β ⁻	F 22 4.2s β ⁻						
O 16	O 17	O 18	O 19 26.9s β ⁻	O 20 13.6s β ⁻							
N 15	N 16 5.3μs IT	N 17 7.13s β ⁺ , β ⁻	N 18 4.16s β ⁻	N 19 ≈0.63s β ⁻							
C 14 5.69x10 ³ y β ⁻	C 15 2.3s β ⁻	C 16 ≈0.74s β ⁻ ↔ β ⁻ n									
B 13 ≈18.6ms β ⁻ , β ⁻ n											
Be 12 ≈11.4ms β ⁻											

								Sr 82 ≈25.0d ε, no β ⁺		Sr 83 5.0s IT ε, β ⁺			
										Rb 82 ≈6.2h ε, β ⁺ , no IT		≈1.25m β ⁺ , ε	
				Kr 76 ≈14.6h ε, no β ⁺ ?		Kr 77 75m β ⁺ , ε		Kr 78		Kr 79 ≈50s IT ε, β ⁺		Kr 80	
						Br 76 16h β ⁺ , ε		Br 77 4.3m 56h IT ε, β ⁺		Br 78 119μs ≈6.46m IT β ⁺ , ε, no β ⁺ ?		Br 79 ≈4.88s IT	
										Br 80 4.42h 17.4m IT β ⁺ , ε, β ⁺			
Se 72 8.4d ε, no β ⁺		Se 73 39m 7.1h IT, β ⁺ , ε β ⁺ , ε		Se 74		Se 75 120.4d ε, no β ⁺		Se 76		Se 77 17.5s IT		Se 78	
		As 72 26.0h β ⁺ , ε		As 73 ≈5.6μs 80.3d IT ε, no β ⁺		As 74 ≈17.78d ε, β ⁻ , β ⁺		As 75 17.5ms IT		As 76 ≈1.9μs ≈26.3h IT β ⁻		As 77 ≈116μs ≈38.8h IT β ⁻	
Ge 70		Ge 71 21.9ms ≈11.8d IT ε, no β ⁺		Ge 72		Ge 73 ≈0.53s ≈2.95μs IT IT		Ge 74		Ge 75 48s ≈82.78m IT β ⁻		Ge 76	
Ge 69		Ge 70 ? 21m IT? β ⁻ , no ε? no β ⁺		Ge 71		Ge 72 39.7ms 14.1h IT β ⁻		Ge 73 ≈4.91h β ⁻		Ge 74 10s 8.1m IT β ⁻		Ge 75 2.2m β ⁻	
Zn 68		Zn 69 ≈14.0h 56m IT β ⁻		Zn 70		Zn 71 ≈3.92h 2.4m β ⁻ , no IT β ⁻		Zn 72 46.5h β ⁻		Zn 73 24s β ⁻		Zn 74 95s β ⁻	
Cu 67 61.9h β ⁻		Cu 68 ≈3.75m 31s IT ↔ β ⁻ β ⁻		Cu 69 3.0m β ⁻		Cu 70 5s ↔ ≈42s β ⁻ β ⁻							
Ni 66 55h β ⁻		Ni 67 ≈18s β ⁻											

							50		Sn 110 4.0h ε, no β ⁺						
							49								
							48		Cd 104 58m ε, β ⁺	Cd 105 ? 6 μs IT? β ⁺ → ε	Cd 106	Cd 107 ≈6.49h ε, β ⁺	Cd 108		
							47		Ag 104 34m β ⁺ , IT, ε	Ag 105 69m ε, β ⁺	Ag 105 7.2m ≈41.0d IT, ε, ε, β ⁺ no β ⁺ ?	Ag 106 8.4d ≈23.96m ε, no β ⁺ ? no IT	Ag 107 44.3s IT		
							46		Pd 100 3.6d ε, no β ⁺	Pd 101 8.3h ε, β ⁺	Pd 102	Pd 103 ≈17.5d ε, no β ⁺	Pd 104	Pd 105 36 μs IT	Pd 106
							45		Rh 100 20.8h ε, β ⁺	Rh 101 4.34d 3.2y ε, IT, ε, no β ⁺	Rh 102 207d ≈2.9y ε, β ⁺ , β ⁺ , ε, no β ⁺ ?	Rh 103 56.12m IT	Rh 104 ≈4.34m ≈42.3s IT β ⁻ , ε, β ⁺	Rh 105 ≈45s ≈35.36h IT β ⁻	
Ru 97 2.9d ε, no β ⁺ ?		Ru 98		Ru 99		Ru 100		Ru 101 ≈22.5 μs IT		Ru 102		Ru 103 ≈1.56ms ≈39.35d IT? β ⁻		Ru 104	
Tc 96 52m 4.3d IT, ε, ε, no β ⁺ ?		Tc 97 ≈89d ≈2.6x10 ⁶ y IT ε, no β ⁺		Tc 98 ≈4.2x10 ⁶ y β ⁻		Tc 99 6.02h ≈2.13x10 ³ y IT β ⁻		Tc 100 15.8s β ⁻		Tc 101 ≈0.76ms 14.2m IT β ⁻		Tc 102 4.4m 5.3s β ⁻ , IT β ⁻		Tc 103 50s β ⁻	
Mo 95		Mo 96		Mo 97		Mo 98		Mo 99 17 μs 66.02h IT β ⁻		Mo 100		Mo 101 ≈14.62m β ⁻		Mo 102 ≈11.1m β ⁻	
Nb 94 6.26m 2.0x10 ⁴ y IT, β ⁻ β ⁻		Nb 95 87h ≈35.15d IT β ⁻		Nb 96 ≈23.35h β ⁻		Nb 97 6x10 ¹ s 72m IT β ⁻		Nb 98 52m 2.8s β ⁻ β ⁻		Nb 99 2.6m 14s β ⁻ , no IT β ⁻		Nb 100 ≈1.5s ↔ ≈3.1s β ⁻ β ⁻			
Zr 93 1.5x10 ⁶ y β ⁻		Zr 94		Zr 95 64.0d β ⁻		Zr 96		Zr 97 17.0h β ⁻		Zr 98 ≈31s β ⁻		Zr 99 2.4s β ⁻			
Y 92 3.54h β ⁻		Y 93 10.1h β ⁻		Y 94 ≈19.1m β ⁻		Y 95 10.7m β ⁻		Y 96 2.3m β ⁻							
Sr 91 ≈9.5h β ⁻		Sr 92 2.71h β ⁻		Sr 93 7.6m β ⁻		Sr 94 78s β ⁻		Sr 95 26s β ⁻							

								56		Ba 128 ≈2.43d ε, no β ⁺		Ba 129 2.1h ≈2.20h ε → β ⁺ , β ⁺ → ε no IT		Ba 130 11ms IT		Ba 131 14.6m 11.8d IT ε, β ₂ ⁻	
								55		Cs 128 ≈3.9m β ⁺ , ε		Cs 129 32.1h ε, no β ⁺ ?		Cs 130 29.9m ε, β ⁺ , β ⁻			
Xe 122 20.1h ε, no β ⁺ ?		Xe 123 6.3μs IT?		Xe 124 2.08h ε, β ⁺		Xe 125 57s ≈17.0h IT ε, β ⁺		Xe 126		Xe 127 70s ≈36.41d IT ε, no β ⁺		Xe 128		Xe 129 8.0d IT			
		I 122 3.6m β ⁺ , ε		I 123 13.2h ε, no β ⁺ ?		I 124 4.18d ε, β ⁺		I 125 60.1d ε, no β ⁺		I 126 13.0d ε, β ⁻ , β ⁺		I 127		I 128 24.99m β ⁻ , ε, β ₂ ⁻ ?			
Te 120		Te 121 1.5 × 10 ² d IT, ε, β ₂ ⁻ ?		Te 122		Te 123 119.7d ≈10 ² y IT ε, no β ⁺		Te 124		Te 125 58d IT		Te 126		Te 127 109d 9.4h IT, β ⁻ β ⁻			
Sb 119 39h ε, no β ⁺		Sb 120 5.76d ≈15.89m ε, no β ⁺ ε, β ⁺		Sb 121		Sb 122 4.2m 0.53ms 1.8μs 2.70d IT IT IT IT β ⁻ , ε, β ₂ ⁻		Sb 123		Sb 124 20.2m ≈93s ≈60.20d IT IT, β ⁻ β ⁻		Sb 125 ≈2.77y β ⁻		Sb 126 ≈19.0m 12.4d β ⁻ , IT β ⁻			
Sn 118 2.9μs IT		Sn 119 2.5 × 10 ² d IT		Sn 120 ≈11.8μs IT?		Sn 121 5 × 10 ¹ y ≈27.06h β ⁻ , no IT β ⁻		Sn 122		Sn 123 40.1m ≈129.2d β ⁻ , no IT β ⁻		Sn 124		Sn 125 ≈9.52m ≈9.64d β ⁻ , no IT β ⁻			
In 117 2.0h ≈30m β ⁻ , IT β ⁻		In 118 ≈0.5s ≈4.45m ≈5.0s IT, β ⁻ β ⁻ β ⁻		In 119 18m ≈2.3m β ⁻ , IT β ⁻		In 120 44s ≈3.1s β ⁻ β ⁻		In 121 3.7m ≈28s β ⁻ , no IT β ⁻		In 122 ≈10.0s ? β ⁻ β ⁻ (≈1.5s)		In 123 ≈47.8s ? β ⁻ , no IT β ⁻ (≈5.97s)		In 124 3.2s β ⁻			
Cd 116		Cd 117 ≈3.3h 2.4h β ⁻ , IT? β ⁻		Cd 118 50.3m β ⁻		Cd 119 ≈2.7m 9m β ⁻ , no IT β ⁻		Cd 120 50.8s β ⁻		Cd 121 ≈12.8s β ⁻		Cd 122 ? 5.5s					

								<table border="1"> <tr> <td>62</td> <td>Sm 142 ≈72.48m β⁺</td> <td>Sm 143 ≈30ms ≈66s 8.83m IT IT, ε⁺, ε, β⁺</td> <td>Sm 144</td> </tr> <tr> <td>61</td> <td></td> <td>Pm 142 2.20ms ≈40.5s IT β⁺</td> <td>Pm 143 2.7 × 10⁴d ε, no β⁺?</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>Nd 140 ≈0.60ms 3.37d IT ε, no β⁺</td> <td>Nd 141 62s 2.5h IT ε → β⁺, ε, β⁺</td> <td>Nd 142 ≈16.5μs IT</td> </tr> <tr> <td>59</td> <td></td> <td>Pr 140 3.1μs 3.39m IT β⁺, ε</td> <td>Pr 141</td> </tr> </table>		62	Sm 142 ≈72.48m β ⁺	Sm 143 ≈30ms ≈66s 8.83m IT IT, ε ⁺ , ε, β ⁺	Sm 144	61		Pm 142 2.20ms ≈40.5s IT β ⁺	Pm 143 2.7 × 10 ⁴ d ε, no β ⁺ ?	60	Nd 140 ≈0.60ms 3.37d IT ε, no β ⁺	Nd 141 62s 2.5h IT ε → β ⁺ , ε, β ⁺	Nd 142 ≈16.5μs IT	59		Pr 140 3.1μs 3.39m IT β ⁺ , ε	Pr 141
62	Sm 142 ≈72.48m β ⁺	Sm 143 ≈30ms ≈66s 8.83m IT IT, ε ⁺ , ε, β ⁺	Sm 144																						
61		Pm 142 2.20ms ≈40.5s IT β ⁺	Pm 143 2.7 × 10 ⁴ d ε, no β ⁺ ?																						
60	Nd 140 ≈0.60ms 3.37d IT ε, no β ⁺	Nd 141 62s 2.5h IT ε → β ⁺ , ε, β ⁺	Nd 142 ≈16.5μs IT																						
59		Pr 140 3.1μs 3.39m IT β ⁺ , ε	Pr 141																						
								<table border="1"> <tr> <td>58</td> <td>Ce 134 ≈72.0h ε, no β⁺</td> <td>Ce 135 20s ≈17.6h IT ε, no β⁺?</td> <td>Ce 136</td> <td>Ce 137 ≈34.4h ≈9.0h IT, ε → β⁺, ε, β⁺</td> <td>Ce 138 ≈9.2ms IT</td> <td>Ce 139 56s ≈137.5d IT ε, no β⁺</td> <td>Ce 140 7μs IT</td> </tr> <tr> <td>57</td> <td></td> <td>La 134 6.67m β⁺, ε</td> <td>La 135 19.5h ε, β₂⁺</td> <td>La 136 0.11ms ≈9.87m IT ε, β⁺</td> <td>La 137 6 × 10⁴y ε, no β⁺</td> <td>La 138 1.4 × 10¹¹y ε, β₂⁺, no β⁺?</td> <td>La 139</td> </tr> </table>		58	Ce 134 ≈72.0h ε, no β ⁺	Ce 135 20s ≈17.6h IT ε, no β ⁺ ?	Ce 136	Ce 137 ≈34.4h ≈9.0h IT, ε → β ⁺ , ε, β ⁺	Ce 138 ≈9.2ms IT	Ce 139 56s ≈137.5d IT ε, no β ⁺	Ce 140 7μs IT	57		La 134 6.67m β ⁺ , ε	La 135 19.5h ε, β ₂ ⁺	La 136 0.11ms ≈9.87m IT ε, β ⁺	La 137 6 × 10 ⁴ y ε, no β ⁺	La 138 1.4 × 10 ¹¹ y ε, β ₂ ⁺ , no β ⁺ ?	La 139
58	Ce 134 ≈72.0h ε, no β ⁺	Ce 135 20s ≈17.6h IT ε, no β ⁺ ?	Ce 136	Ce 137 ≈34.4h ≈9.0h IT, ε → β ⁺ , ε, β ⁺	Ce 138 ≈9.2ms IT	Ce 139 56s ≈137.5d IT ε, no β ⁺	Ce 140 7μs IT																		
57		La 134 6.67m β ⁺ , ε	La 135 19.5h ε, β ₂ ⁺	La 136 0.11ms ≈9.87m IT ε, β ⁺	La 137 6 × 10 ⁴ y ε, no β ⁺	La 138 1.4 × 10 ¹¹ y ε, β ₂ ⁺ , no β ⁺ ?	La 139																		
56	Ba 131 14.6m 11.8d IT ε, β ₂ ⁺	Ba 132	Ba 133 38.9h 10.5y IT, ε ₂ ⁺ , no β ⁺ ε, no β ⁺	Ba 134	Ba 135 28.7h IT	Ba 136 0.306s IT	Ba 137 2.552m IT	Ba 138																	
55	Cs 130 29.9m ε, β ₂ ⁺ , β ⁻	Cs 131 9.69d ε, no β ⁺	Cs 132 6.48d ε, β ₂ ⁺ , β ⁺	Cs 133	Cs 134 2.90h ≈2.062y IT β ₂ ⁺ , β ₂ ⁺ → ε	Cs 135 53m ≈2.3 × 10 ⁴ y IT β ⁻	Cs 136 12.98d β ⁻	Cs 137 ≈30.17y β ⁻																	
54	Xe 129 8.0d IT	Xe 130	Xe 131 11.9d IT	Xe 132 8ms IT	Xe 133 ≈2.19d 5.29d IT β ⁻	Xe 134 0.29s IT	Xe 135 15.7m 9.08h IT, β ₂ ⁻ β ⁻	Xe 136 3.0μs IT																	
53	I 128 24.99m β ₂ ⁻ , ε, β ⁺ ?	I 129 ≈1.57 × 10 ⁷ y β ⁻	I 130 9.0m 12.36h IT, β ₂ ⁻ β ⁻	I 131 8.04d β ⁻	I 132 84m ≈2.30h IT, β ₂ ⁻ β ⁻	I 133 ≈9s 20.8h IT β ⁻	I 134 3.7m ≈52.6m IT, β ₂ ⁻ β ⁻	I 135 6.61h β ⁻																	
52	Te 127 109d 9.4h IT, β ₂ ⁻ β ⁻	Te 128	Te 129 33.6d 69.6m IT, β ₂ ⁻ β ⁻	Te 130 ≈2.5 × 10 ¹¹ y ββ	Te 131 30h 25.0m β ₂ ⁻ IT β ⁻	Te 132 9μs 78h IT β ⁻	Te 133 ≈55.4m ≈12.5m β ₂ ⁻ IT β ⁻	Te 134 42m β ⁻																	
51	Sb 126 ≈19.0m 12.4d β ₂ ⁻ , IT β ⁻	Sb 127 11μs ≈3.85d IT β ⁻	Sb 128 10.4m ≈9.01h β ₂ ⁻ , IT β ⁻	Sb 129 ≈4.32h β ⁻	Sb 130 6.3m ≈40m β ⁻ β ⁻																				
50	Sn 125 ≈9.52m ≈9.64d β ₂ ⁻ , no IT β ⁻	Sn 126 ≈10 ³ y β ⁻	Sn 127 4.4m ≈2.10h β ₂ ⁻ , no IT β ⁻	Sn 128 ≈60.0m β ⁻	Sn 129 2.5m ≈7.5m β ⁻ ?, β ⁻ ?																				
49	In 124 3.2s β ⁻																								

								Dy 154 $\approx 1 \times 10^6$ y α		Dy 155 6 μ s IT ϵ, β^+		Dy 156			
								Tb 154 23h ϵ, IT, β^+ ϵ, IT, β^+ ϵ, β^+		Tb 155 5.3d $\epsilon, \text{no } \beta^+$					
				Gd 150 1.8×10^4 y α		Gd 151 1.2×10^2 d $\epsilon, \alpha, \epsilon, \text{no } \beta^+$		Gd 152 $\approx 1.1 \times 10^4$ y α		Gd 153 77 μ s IT $\epsilon, \text{no } \beta^+$		Gd 154			
				Eu 150 34y $\epsilon, \text{no } \beta^+, \text{no IT}$ 2-3y $\epsilon?$ $\text{no } \beta^+, \text{no IT}$ 12.6h $\beta^+, \epsilon, \beta^+$		Eu 151 $\approx 63\mu$ s IT		Eu 152 96m 9.3h $\beta^+, \epsilon, \beta^+, \text{no IT}$ $\beta^+, \text{no IT}$		Eu 153 ≈ 12.4 y ϵ, β^+					
Sm 145 ≈ 340 d $\epsilon, \text{no } \beta^+$		Sm 146 $\approx 1.03 \times 10^3$ y α		Sm 147 1.07×10^{11} y α		Sm 148		Sm 149		Sm 150 1.4 μ s IT β^-		Sm 151 9×10^1 y β^-		Sm 152	
Pm 144 3.6×10^2 d $\epsilon, \text{no } \beta^+$		Pm 145 ≈ 17.7 y $\epsilon, \alpha, \gamma, \text{no } \beta^+$		Pm 146 ≈ 5.53 y $\epsilon, \beta^-, \text{no } \beta^+$		Pm 147 2.6234y β^-		Pm 148 43d 5.4d β^-, IT β^-		Pm 149 53h β^-		Pm 150 2.68h $\beta^-, \text{no } \epsilon?, \text{no } \beta^+$		Pm 151 ≈ 28.40 h β^-	
Nd 143		Nd 144 $\approx 2.1 \times 10^2$ y α		Nd 145		Nd 146		Nd 147 ≈ 11.06 d β^-		Nd 148		Nd 149 ≈ 1.73 h β^-		Nd 150	
Pr 142 ≈ 14.6 m ≈ 19.13 h IT $\beta^-, \epsilon, \gamma, \text{no } \beta^+$		Pr 143 ≈ 13.58 d β^-		Pr 144 7.2m ≈ 17.28 m IT, β^- β^-		Pr 145 5.98h β^-		Pr 146 24.1m β^-		Pr 147 ≈ 12.0 m β^-		Pr 148 2.0m β^-		Pr 149 2.3m 28s $\beta^-, \text{no IT}$ β^-	
Ce 141 32.5d β^-		Ce 142		Ce 143 33.0h β^-		Ce 144 284.3d β^-		Ce 145 3.0m β^-		Ce 146 ≈ 14.2 m β^-		Ce 147 ≈ 70 s β^-		Ce 148 4×10^1 s β^-	
La 140 ≈ 40.22 h β^-		La 141 3.9h β^-		La 142 93m β^-											
Ba 139 85m β^-		Ba 140 12.79d β^-		Ba 141 18.3m β^-											
Cs 138 2.9m 32.2m IT, β^- β^-															
Xe 137 3.83m β^-		Xe 138 ≈ 14.13 m β^-													
I 136 46s 83s β^- β^-															
Te 135 18s β^-															

								W 178 $\approx 21.7d$ $\epsilon, no \beta$		W 179 $\approx 6.7m \approx 37.5m$ IT $\epsilon, no \beta^+?$					
										Ta 178 $2.2h \leftrightarrow \approx 9.31m$ $\epsilon, no \beta^+?$ ϵ, β^+					
		Hf 172 $\approx 1.87y$ $\epsilon, no \beta^+$		Hf 173 $\approx 24.0h$ $\epsilon, \beta^+?$		Hf 174 $\approx 2.0 \times 10^{10}y$ α		Hf 175 $54\mu s \quad 70d$ IT $\epsilon, no \beta^+$		Hf 176 $11\mu s$ IT		Hf 177 $\approx 51.4m \quad 1.1s$ IT IT			
		Lu 172 $0.44ms \approx 3.7m \approx 6.70d$ IT ϵ, β^+		Lu 173 $0.07ms \quad 1.37y$ IT $\epsilon, no \beta^+$		Lu 174 $142d \approx 3.31y$ IT $\epsilon, no \beta^+?$ ϵ, β^+_{-2}		Lu 175 $1.5\mu s$ IT		Lu 176 $\approx 3.68h \quad 3.8 \times 10^{10}y$ β^- β^-					
Yb 168		Yb 169 $46s \approx 30.7d$ IT $\epsilon, no \beta^+$		Yb 170		Yb 171 $\approx 5ms$ IT		Yb 172 $3.6\mu s$ IT		Yb 173 $2.9\mu s$ IT		Yb 174 $\approx 0.83ms$ IT		Yb 175 $\approx 68.2ms \quad 4.19d$ IT β^-	
Tm 167 $0.9ms \quad 1.1\mu s \quad 9.24d$ (293) (180) IT IT $\epsilon, no \beta^+$		Tm 168 $93.1d$ $\beta^+ \leftrightarrow \epsilon, \beta^-?$		Tm 169		Tm 170 $4.1\mu s \approx 128.6d$ IT $\beta^-, \epsilon, no \beta^+$		Tm 171 $2.60\mu s \quad 1.92y$ IT β^-		Tm 172 $63.6h$ β^-		Tm 173 $\approx 10\mu s \quad 8.2h$ IT β^-		Tm 174 $5.4m$ β^-	
Er 166		Er 167 $\approx 2.28s$ IT		Er 168		Er 169 $9.3d$ β^-		Er 170		Er 171 $\approx 7.52h$ β^-		Er 172 $\approx 49.3h$ β^-		Er 173 $1.4m$ β^-	
Ho 165 $\approx 1.52ms$ IT		Ho 166 $0.19ms \quad 1.2 \times 10^7y \quad 26.80h$ IT $\beta^-, no IT \beta^-$		Ho 167 $3.1h$ β^-		Ho 168 $3.0m$ β^-		Ho 169 $5m$ β^-		Ho 170 $2.8m \leftrightarrow 43s$ $\beta^- \quad \beta^-$					
Dy 164		Dy 165 $1.26m \quad 2.33h$ IT $\beta^- \quad \beta^-$		Dy 166 $81.6h$ β^-		Dy 167 $\approx 4.4m$ β^-									
Tb 163 $\approx 19.5m$ β^-		Tb 164 $3.0m$ β^-													
Gd 162 $9m$ β^-															

										Pb 202 $\approx 3.62\text{h}$ $\approx 3 \times 10^5\text{y}$ IT, ϵ , ϵ , no β^+ no β^- ?						
										Tl 201 $\approx 2.1\text{ms}$ 74h IT ϵ , no β^+						
80	Hg 194 0.40s IT?		Hg 195 $\approx 1.3\text{y}$ $\approx 40.0\text{h}$ $\approx 9.5\text{h}$ ϵ , no β^+		Hg 196		Hg 197 23.8h 64.1h IT, ϵ , ϵ , no β^+ no β^-		Hg 198		Hg 199 $\approx 42.6\text{m}$ IT		Hg 200			
79					Au 194 $\approx 39.5\text{h}$ ϵ , β^+		Au 195 30.5s 183d IT ϵ , no β^+		Au 196 9.7h 8.2s 6.18d IT IT ϵ , β^- , β^- β^-		Au 197 7.8s IT		Au 198 2.696d β^- , no ϵ ? no β^+		Au 199 $\approx 0.44\text{ms}$ 3.14d IT β^-	
	Pt 191 $\approx 107\mu\text{s}$ 2.8d IT ϵ , no β^+		Pt 192		Pt 193 $\approx 4.33\text{d}$ $5 \times 10^4\text{y}$ IT ϵ , no β^+		Pt 194		Pt 195 4.02d IT		Pt 196		Pt 197 81m 20.0h IT, β^- β^-		Pt 198	
	Ir 190 3.1h $\approx 1.2\text{h}$ 12.1d ϵ , IT, IT ϵ , β^+ no β^- ?		Ir 191 $\approx 4.88\text{s}$ IT		Ir 192 $2.4 \times 10^2\text{s}$ $\approx 1.44\text{m}$ 74.0d IT IT, β^- , β^- , ϵ , β^- ?		Ir 193 $\approx 11.9\text{d}$ IT		Ir 194 $1.7 \times 10^2\text{d}$ 31ms $\approx 9.15\text{h}$ β^- , no IT IT β^-		Ir 195 3.8h $\approx 2.5\text{h}$ β^- , no IT? β^-		Ir 196 1.40h 52s β^- , on IT? β^-		Ir 197 7m β^-	
	Os 189 6.0h IT		Os 190 9.9m IT		Os 191 13.0h 15.4d IT β^-		Os 192 $\approx 5.9\text{s}$ IT		Os 193 $\approx 30.0\text{h}$ β^-		Os 194 6.0y β^-		Os 195 $\approx 6.5\text{m}$ β^-			
	Re 188 18.6m 16.98h IT β^-		Re 189 $\approx 24.3\text{h}$ β^-		Re 190 2.8h $\approx 3.1\text{m}$ IT \leftrightarrow β^- β^-		Re 191 $\approx 9.8\text{m}$ β^-		Re 192 16s β^-							
	W 187 23.9h β^-		W 188 $\approx 69.4\text{d}$ β^-		W 189 $\approx 11.5\text{m}$ β^-											
	Ta 186 11m β^-															

					95		Am 241 2 μ s SF		433y α , SF ₉										
Pu 237 $\approx 1.0\mu$ s SF		Pu 238 $\approx 87.75y$ α , SF ₇		Pu 239 $\approx 93\mu$ s SF		Pu 240 6.54×10^3y α , SF ₅		Pu 241 23 μ s SF		15.2y β^- , α ₋₃									
Np 236 $\approx 22.5h$ ϵ , β^- , β^+		Np 237 2.14×10^6y α		Np 238 2,117d β^-		Np 239 $\approx 2,355d$ β^-		Np 240 7.4m β^- , IT		$\approx 65m$ β^-									
U 235 $\approx 7.1 \times 10^8y$ IT		U 236 2.40×10^7y α , SF ₇		U 237 6,75d β^-		U 238 4.49×10^9y α , SF ₄		U 239 $\approx 23.54m$ β^-		U 240 14.1h β^-									
Pa 234 $\approx 1.17m$ β^- , IT		Pa 235 24.1m β^-		Pa 236 9.1m β^-		Pa 237 8.7m β^-		Pa 238 2.3m β^-											
Th 233 22.3m β^-		Th 234 $\approx 24.10d$ β^-		Th 235 6.9m β^-															
										88		Ra 223 11.4d α							
										87		Fr 221 4.8m α , no β^- ?							
										86		Rn 217 $\approx 0.54ms$ α		Rn 218 $\approx 30ms$ α		Rn 219 4.0s α		Rn 220 55.6s α	
										85		At 215 0.10ms α		At 217 $\approx 32.3ms$ α , β^- ₂		At 218 $\approx 2s$ α , β^-		At 219 0.9m α , β^-	
Po 212 45s α , no IT?		Po 213 4 μ s α		Po 214 162 μ s α		Po 215 1.78ms α , β^- ₄		Po 216 0.15s α				Po 218 $\approx 3.05m$ α , β^- ₂							
Bi 211 2.13m α , β^-		Bi 212 60.6m β^- , α		Bi 213 $\approx 45.65m$ β^- , α		Bi 214 $\approx 19.8m$ β^- , α ₂		Bi 215 7m β^-											
Pb 210 22.3y β^- , α ₋₆		Pb 211 36.1m β^-		Pb 212 10.64h β^-				Pb 214 $\approx 26.8m$ β^-											
Tl 209 2.2m β^-		Tl 210 $\approx 1.30m$ β^- , β^- ₂																	