

# Experimentalphysik VI

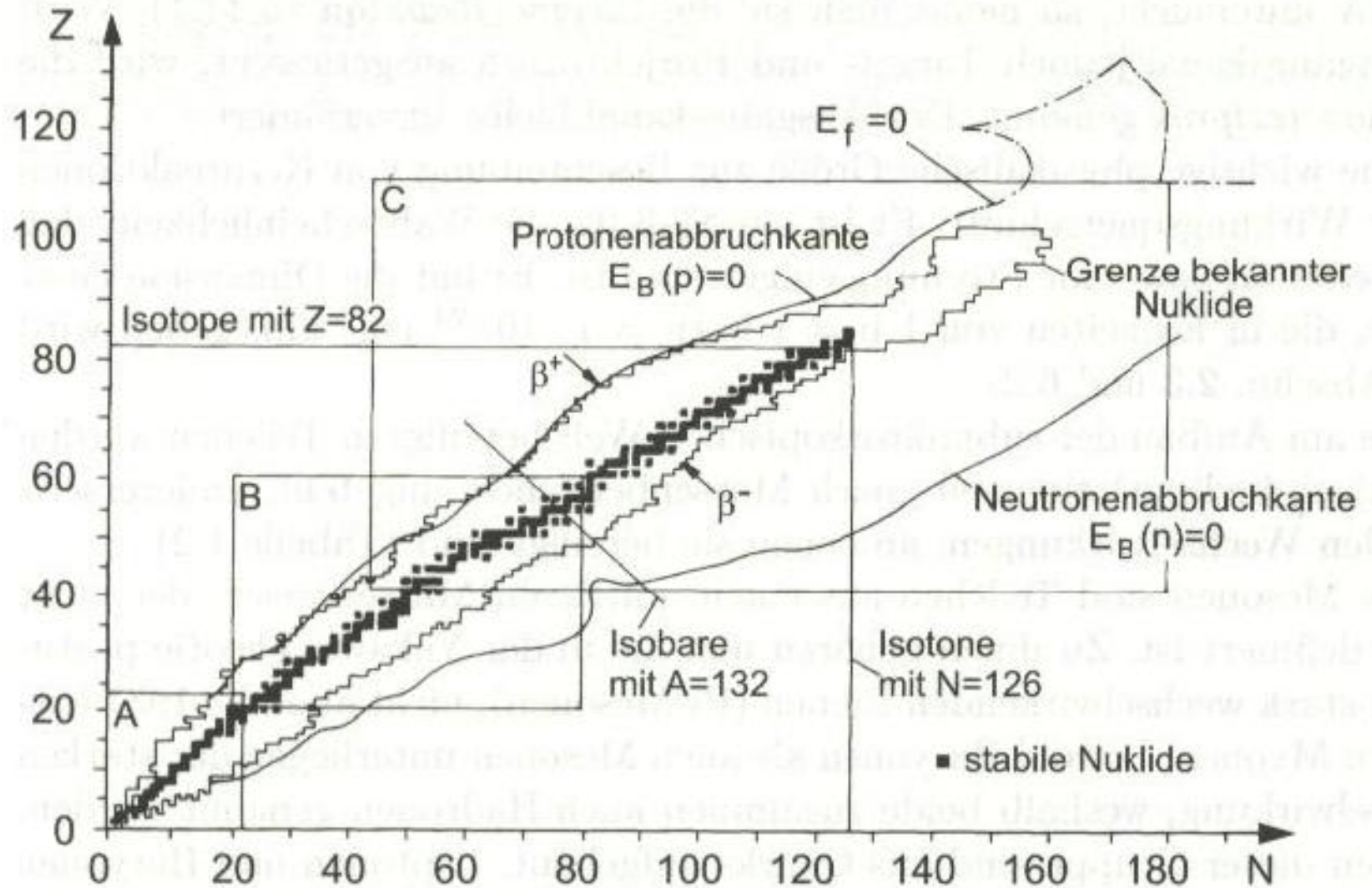
## Kern- und Teilchenphysik

Prof. Markus Schumacher

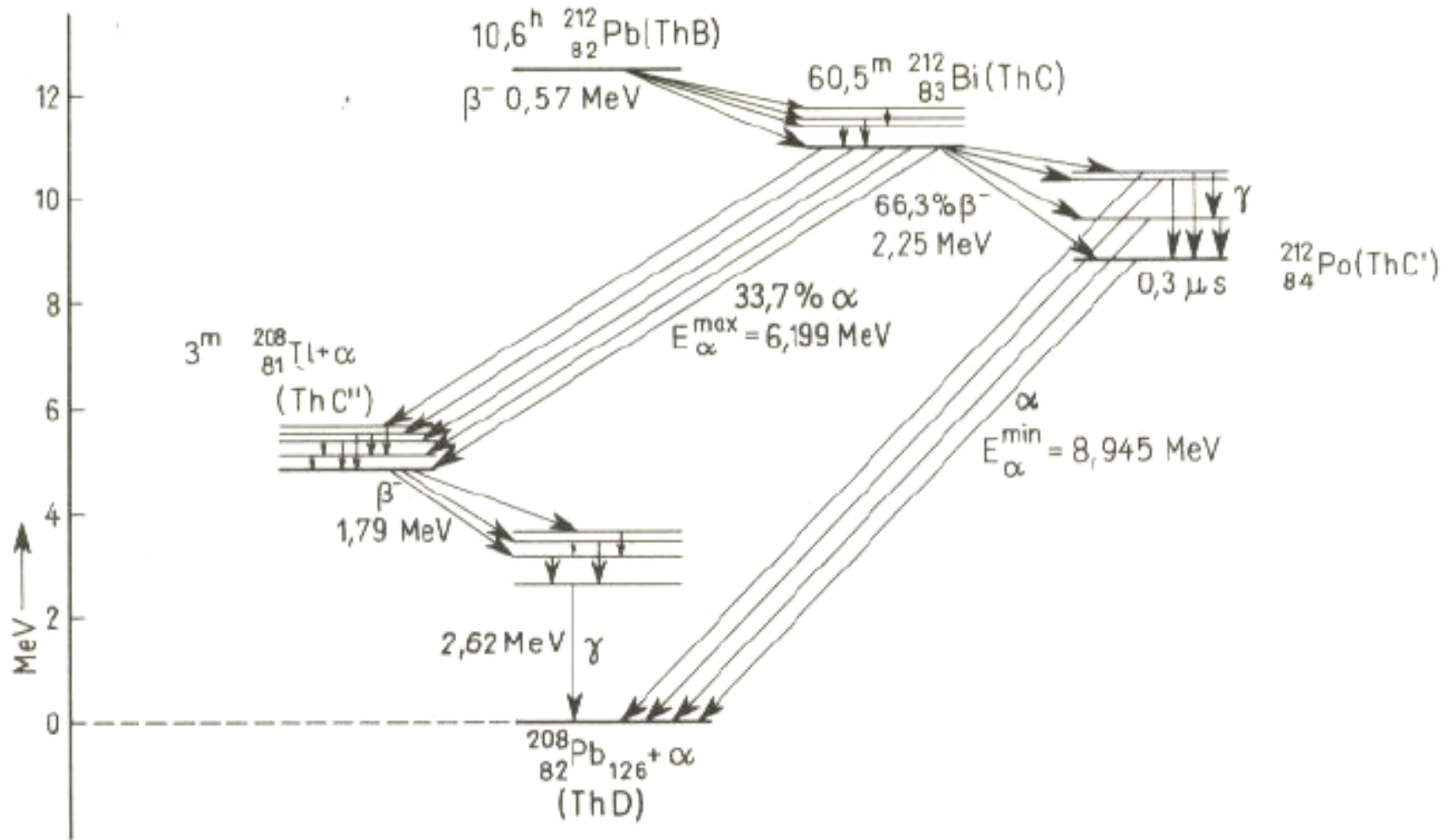
ALU Freiburg, Sommersemester 2010

### Kapitel 3: Zerfälle von Kernen

# Übersicht über bekannte und stabile Nuklide



# Beispiel einer Zerfallskette



Th. Mayer-Kuckuck, *Kernphysik*, Teubner Verlag

# Zweierzerfallskette und externe Aktivierung

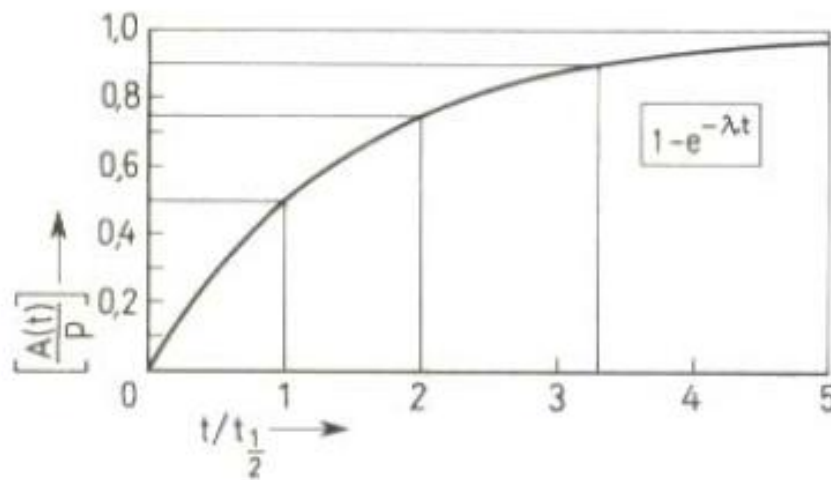
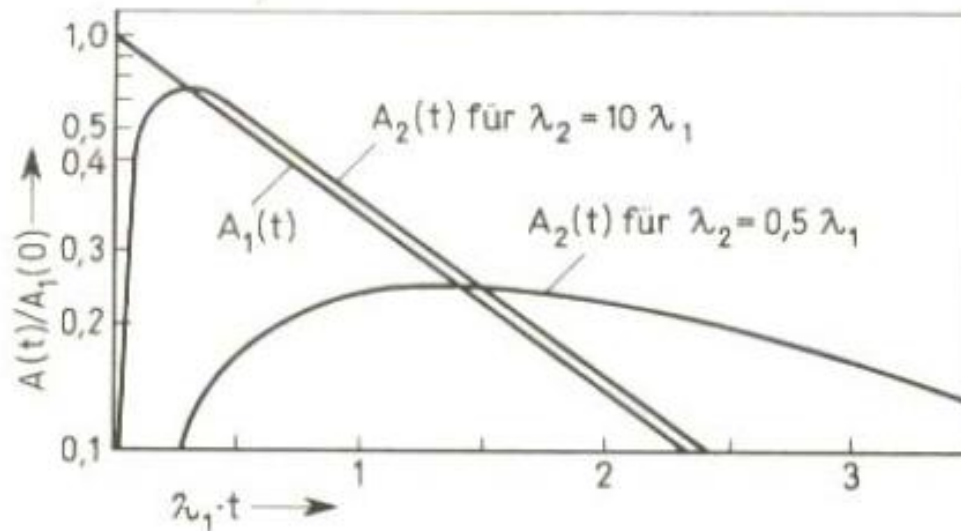


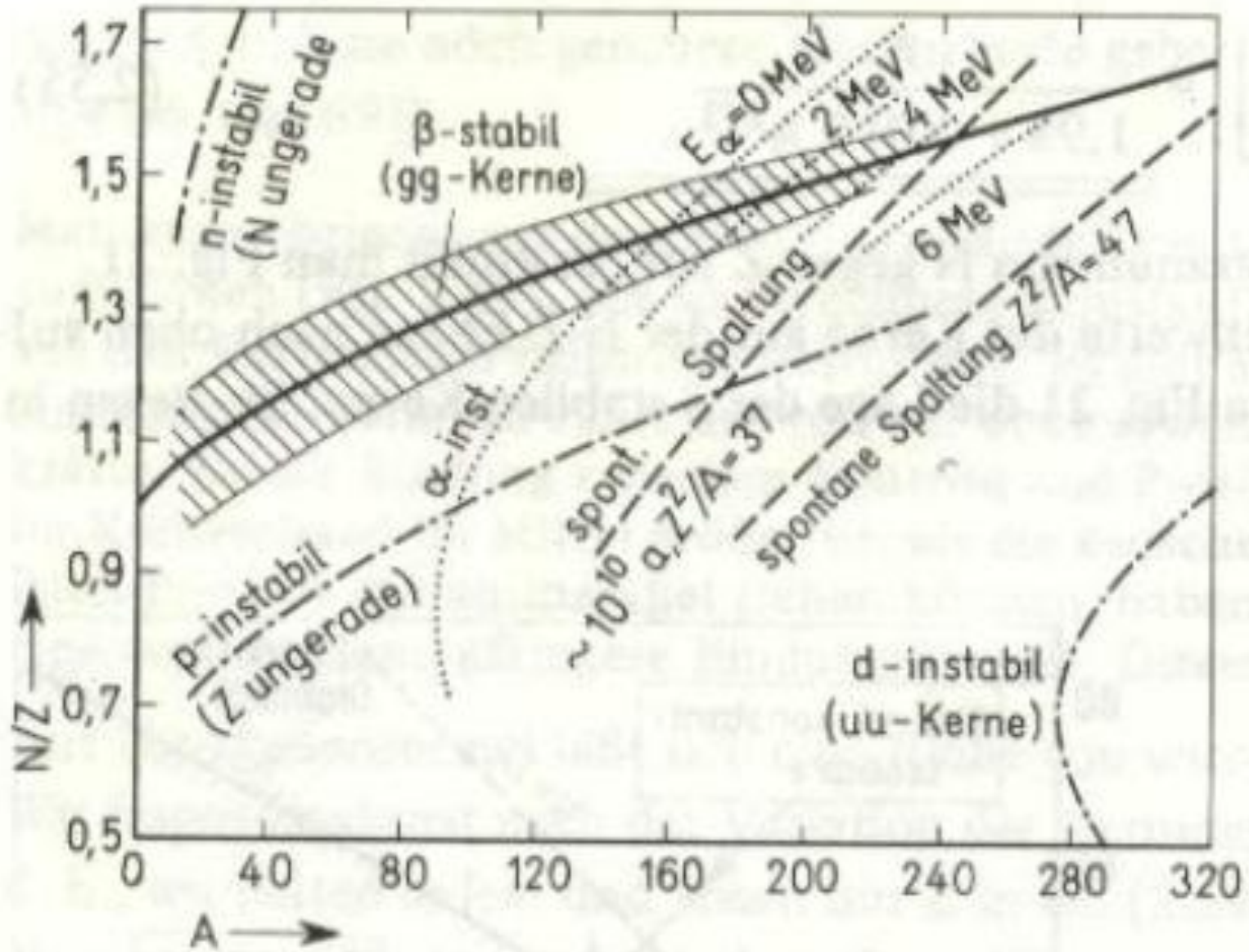
Fig. 29

Zeitliche Änderung von Aktivitäten

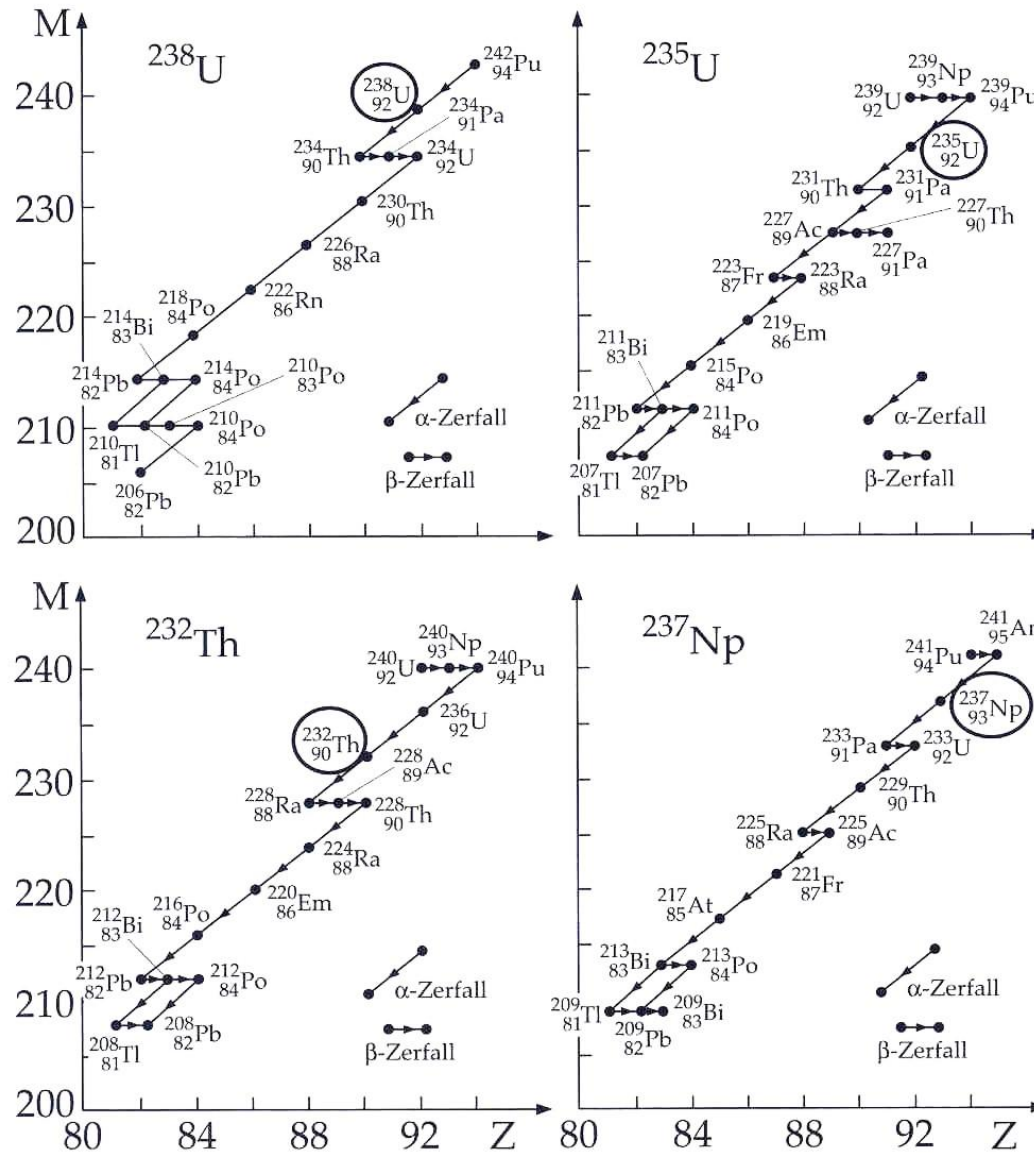
a) Verhältnis von Mutter zu Tochter-Aktivität für  $\lambda_2 = 10 \lambda_1$  und für  $\lambda_2 = 0,5 \lambda_1$ , nach [Fer 50]

b) Anstieg der Aktivität einer Substanz, die mit gleichmäßiger Rate produziert wird

# Stabilitätslinien



# Natürliche Zerfallsreihen



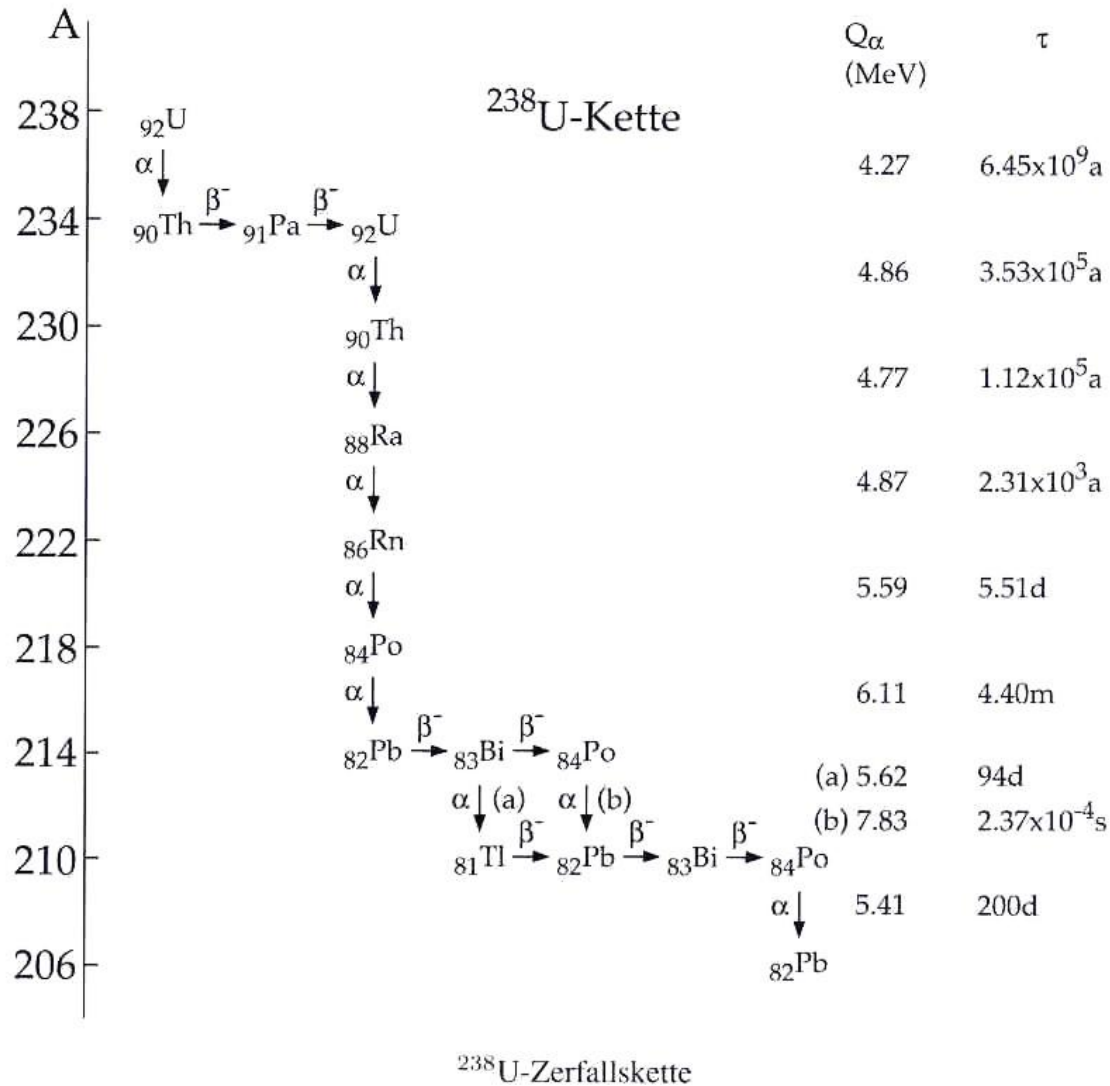
Zerfallsschemen der vier  $\alpha$ -Serien

# Natürliche Zerfallsreihen

**Tabelle 7.1.** Natürliche Zerfallsreihen. Die Zerfallsreihe, die beim Neptunium beginnt, kommt in der Natur wegen der vergleichsweise kurzen Halbwertszeit nicht mehr vor. Diese Elemente sind jedoch zur Zeit der Entstehung der Erde ebenfalls vorhanden gewesen **[aus Ref. 6]**

Nomenklatur	Mutternuklid	Halbwertszeit	Endprodukt	Zerfälle
$4n$	$^{232}\text{Th}$	$1.405 \cdot 10^{10} \text{ a}$	$^{208}\text{Pb}$	$6\alpha, 4\beta^-$
$4n+1$	$^{237}\text{Np}$	$2.14 \cdot 10^6 \text{ a}$	$^{209}\text{Bi}$	$7\alpha, 4\beta^-$
$4n+2$	$^{238}\text{U}$	$4.468 \cdot 10^9 \text{ a}$	$^{206}\text{Pb}$	$\begin{cases} 8\alpha, 6\beta^- \\ 10\alpha, 8\beta^- \end{cases}$
$4n+3$	$^{235}\text{U}$	$7.038 \cdot 10^8 \text{ a}$	$^{207}\text{Pb}$	$7\alpha, 4\beta^-$

# Natürliche Zerfallsreihen





# Geiger-Nuttal-Regel

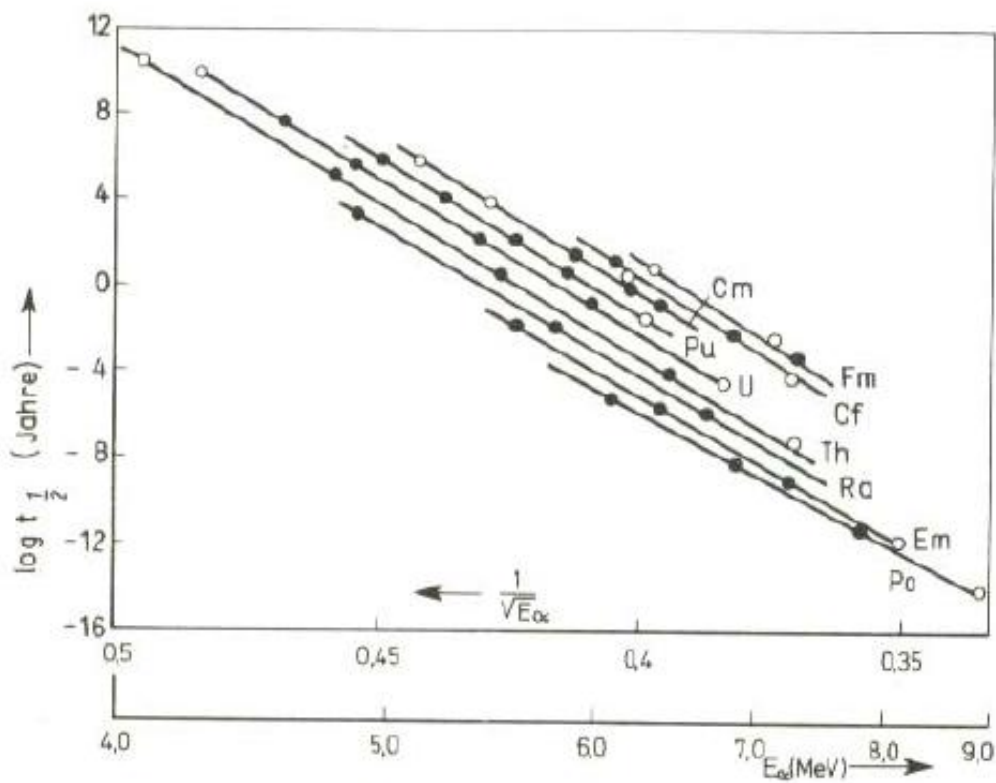
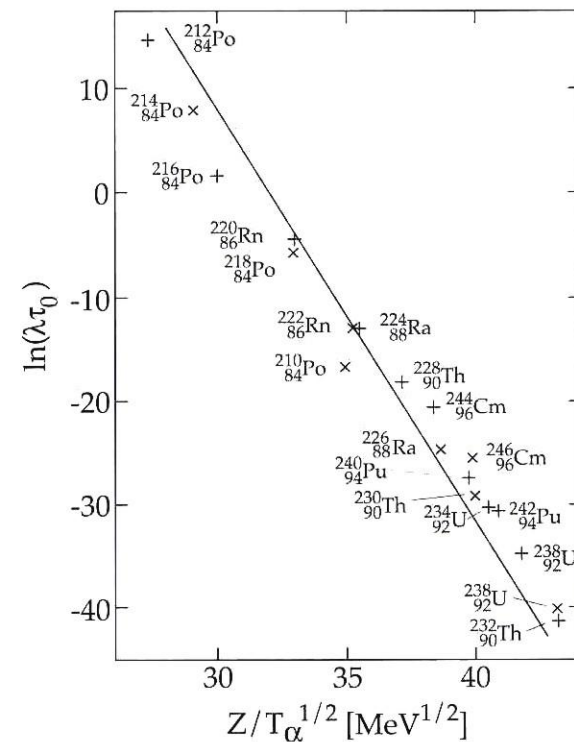
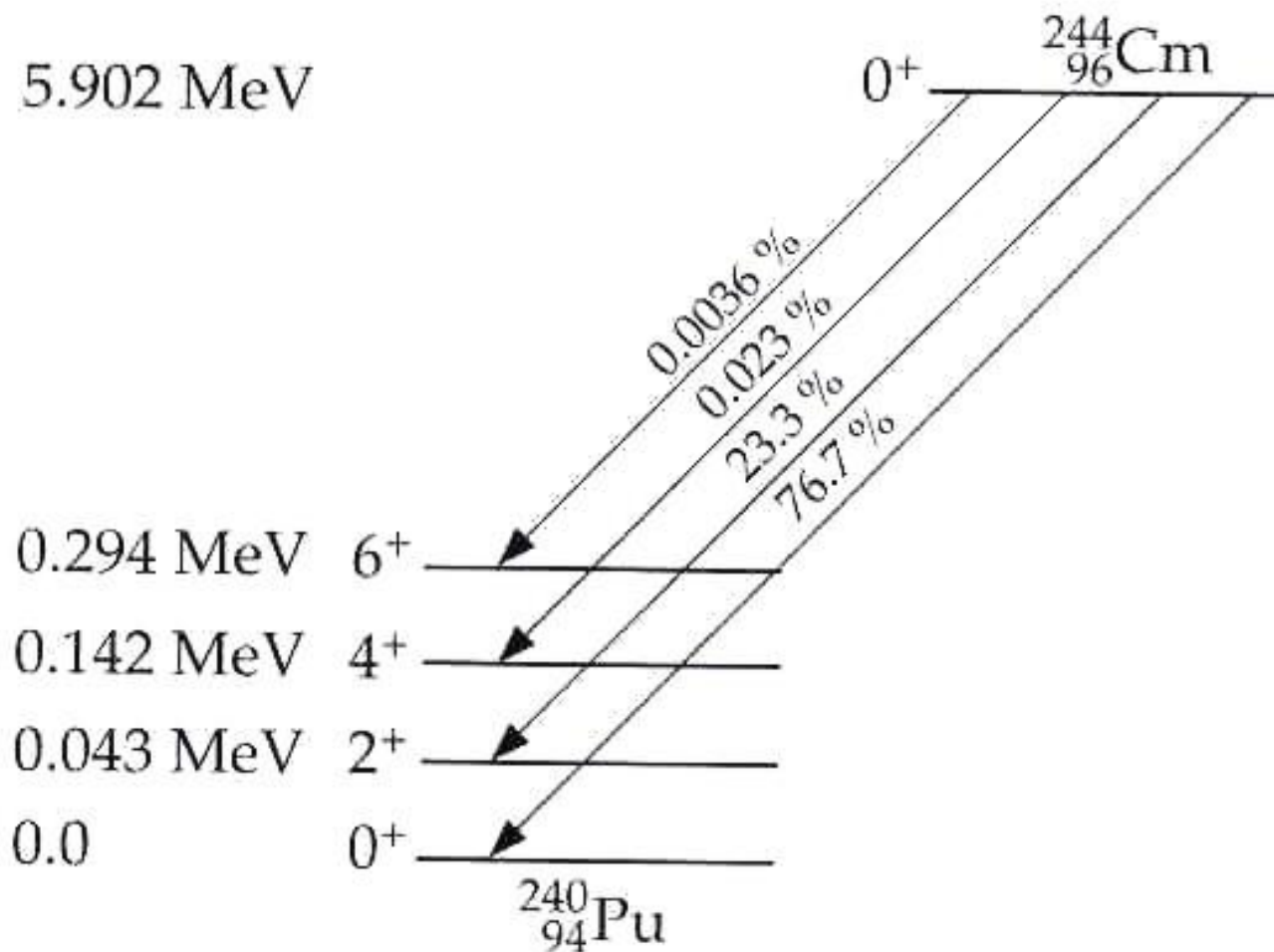


Fig. 34  $\log t_{1/2}$  gegen  $1/\sqrt{E_\alpha}$ , nach [Gal 57]



Verlauf der Lebensdauer vs.  $Z/\sqrt{T_\alpha}$  (hier ist  $\tau_0 \sim 2.7 \times 10^{-8}$  a). Die Kurve mit Steigung  $-3.97 \text{ MeV}^{1/2}$  ist ein Fit mit Glg. (189); x = Uranserie; + = Thoriumserie

# Verzweigungsverhältnisse bei mehreren Übergängen

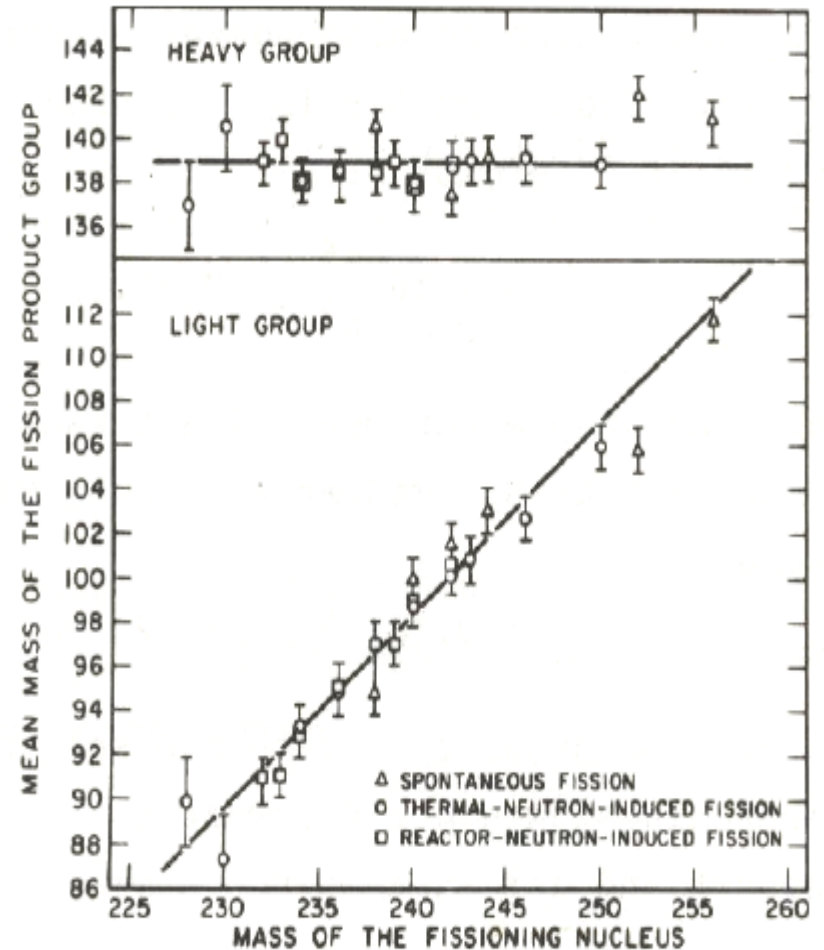
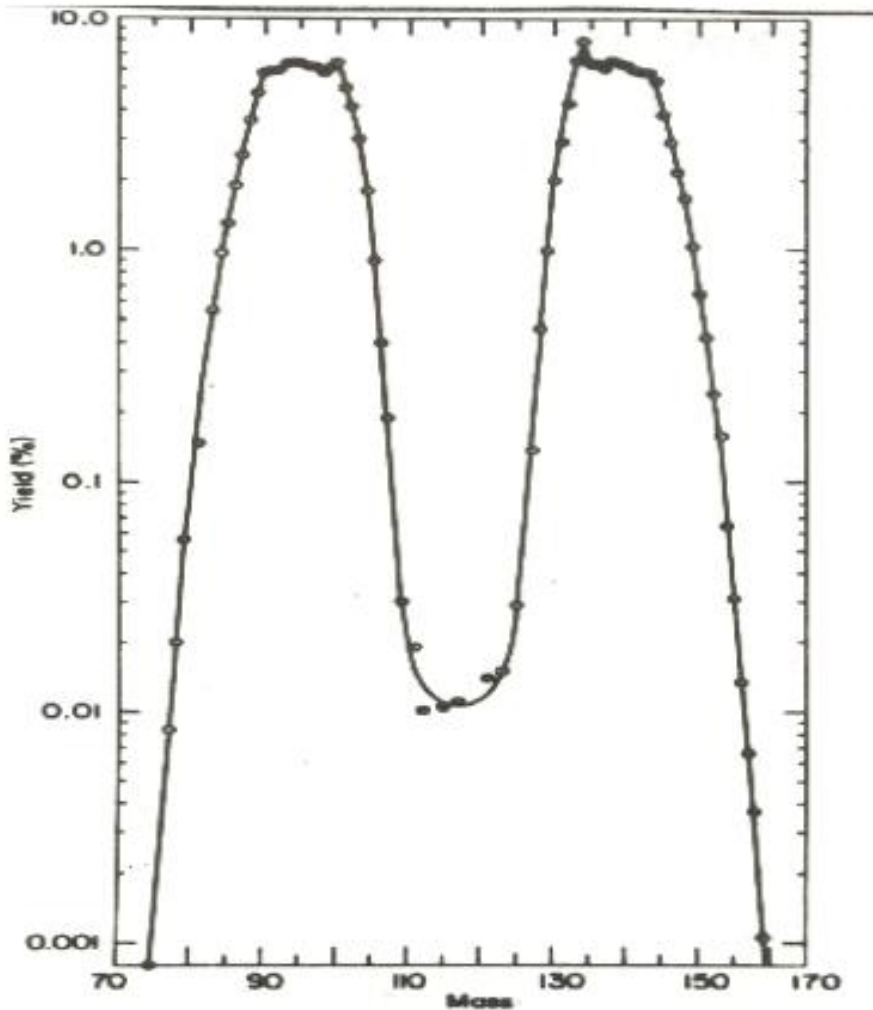


Zerfallsschema von  $^{244}\text{Cm}$  nach  $^{240}\text{Pu}$

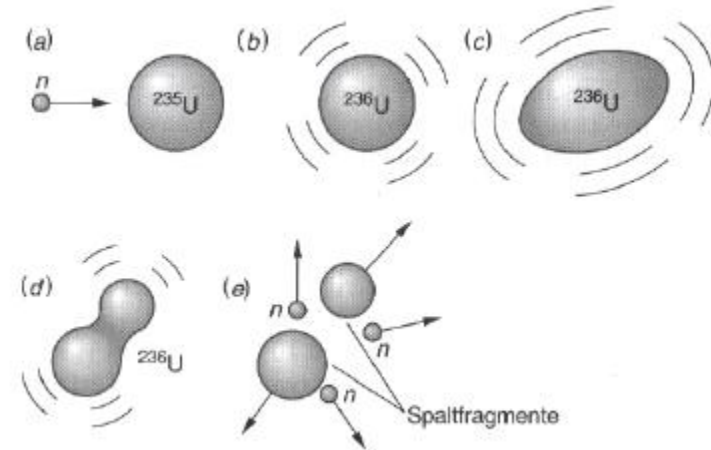
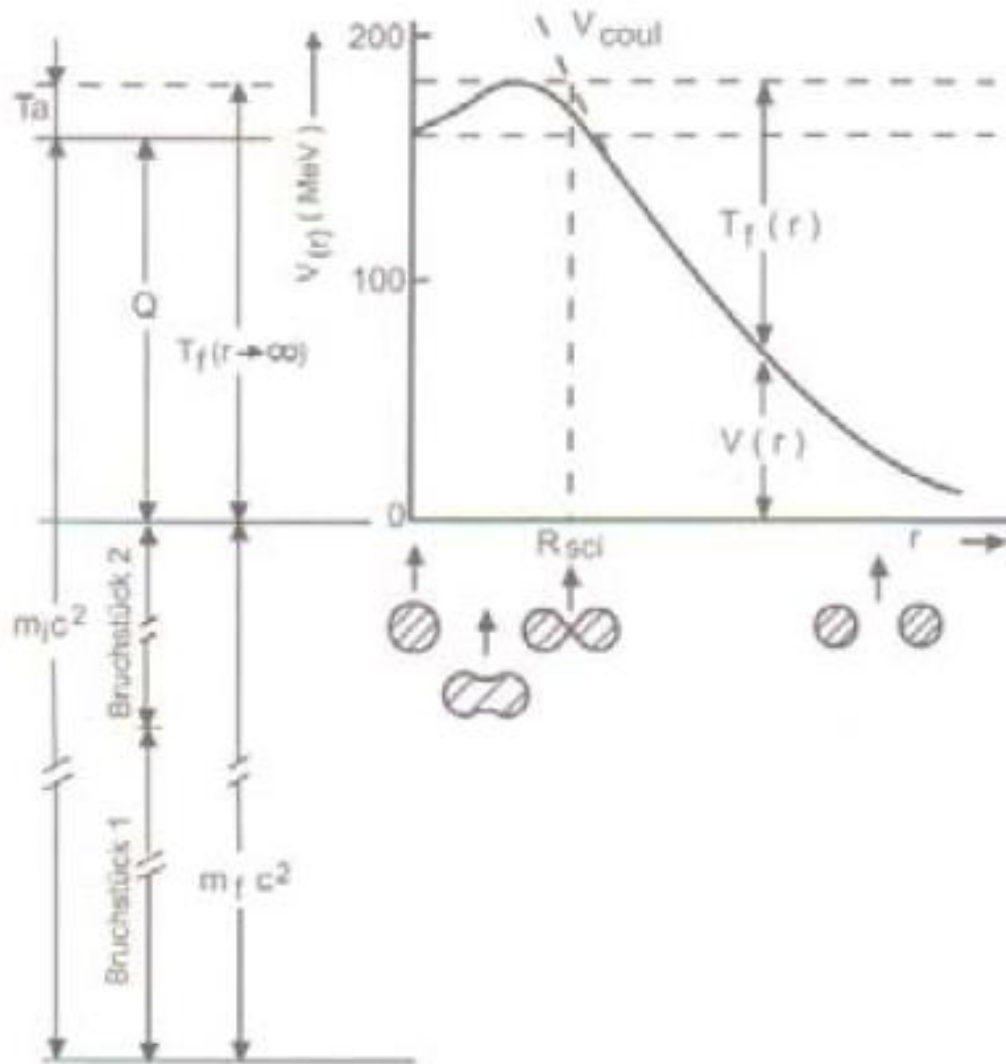
# Massenverteilung bei Spaltung

Massenverteilung der Spaltprodukte für induzierte Spaltung von  $^{235}\text{U}$  mit thermischen Neutronen

Mittlere Massen der schweren und leichten Spaltprodukte als Funktion der Massenzahl der spaltenden Kerne

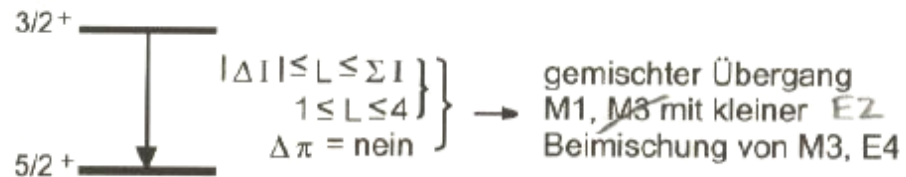
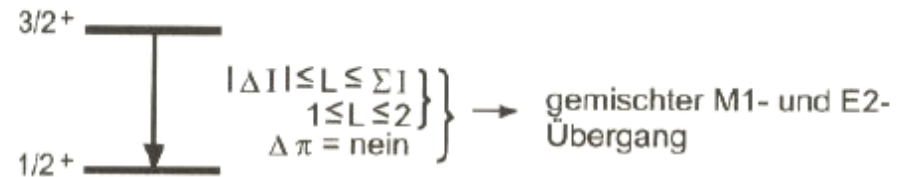
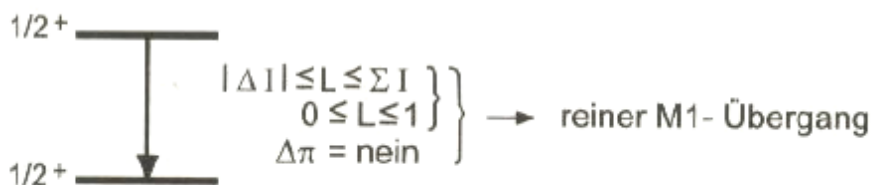
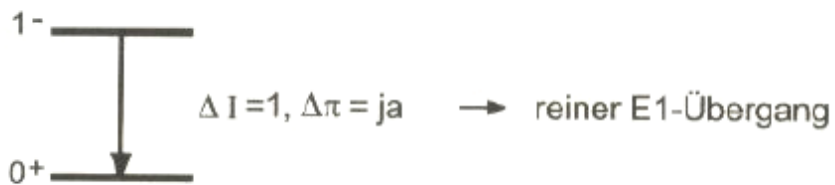
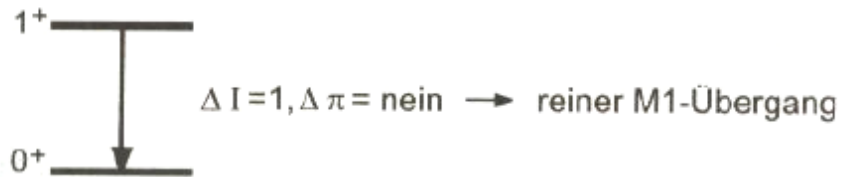


# Potentialbarriere bei Spaltung

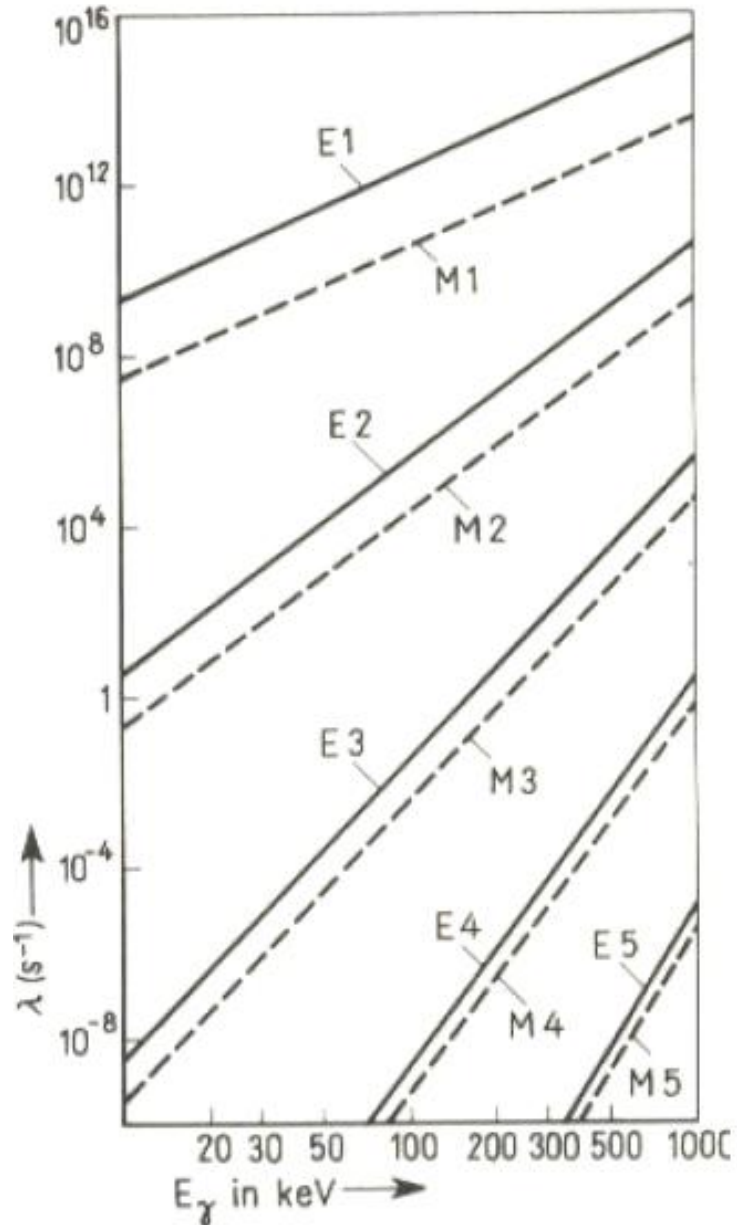


# Beispiele für Multipolübergänge

Spinänderung $ \Delta I $		0 kein $0 \rightarrow 0$	1	2	3	4	5
Paritäts- änderung	ja	E1 (M2)	E1 (M2)	M2 E3	E3 (M4)	M4 E5	E5 (M6)
	nein	M1 E2	M1 E2	E2 (M3)	M3 E4	E4 (M5)	M5 E6



# Übergangswahrscheinlichkeiten und Lebensdauern

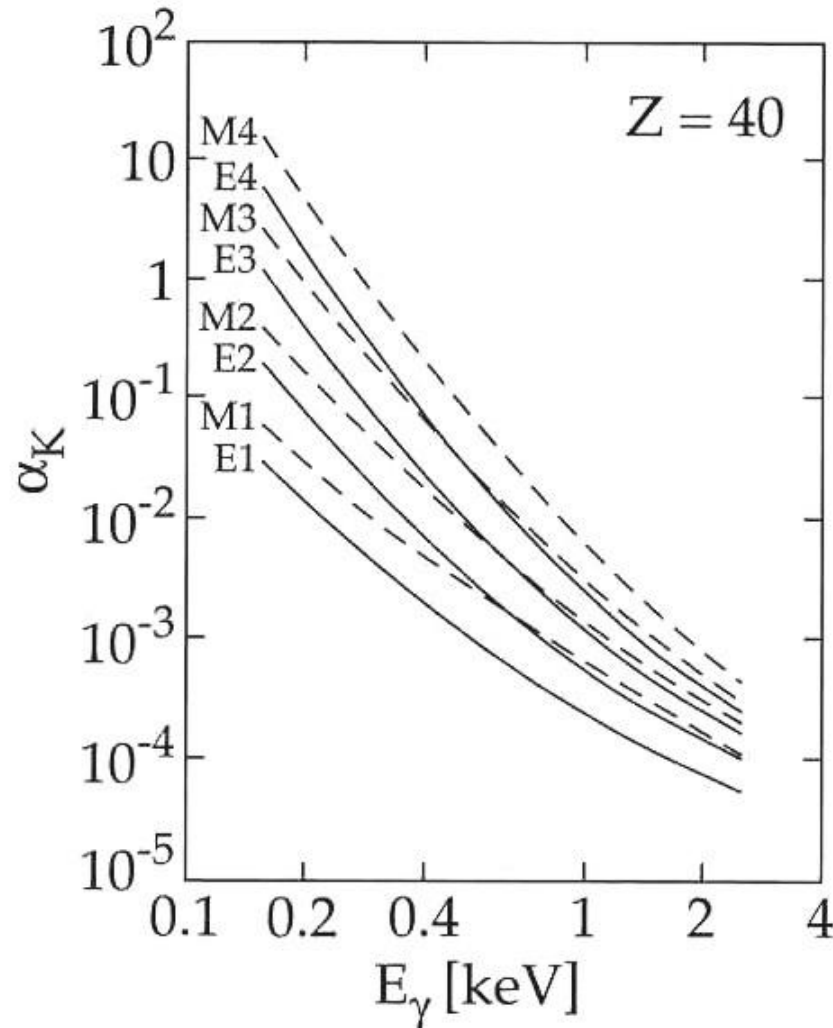


Wahrscheinlichkeit  
sinkt mit Multipolordnung  
steigt mit Energie der Photonen

Halbwertszeiten in Sekunden

$E_\gamma$ (MeV)	E1	E2	E3	E4	E5
0.1	$10^{-13}$	$10^{-6}$	$10^2$	$10^9$	groß
1	$10^{-15}$	$10^{-10}$	$10^{-5}$	1	$10^5$
10	$10^{-18}$	$10^{-15}$	$10^{-12}$	$10^{-9}$	$10^{-6}$

# Verhältnis innere Konversion zu Gammastrahlung



Konversionsintensität für verschiedene Multipole (aus der  $K$ -Schale) für  $Z = 40$ . Aufgetragen ist das Verhältnis der Intensitäten für Konversion zu der für  $\gamma$ -Strahlung

# Mößbauer-Effekt: Experimentelle Messungen

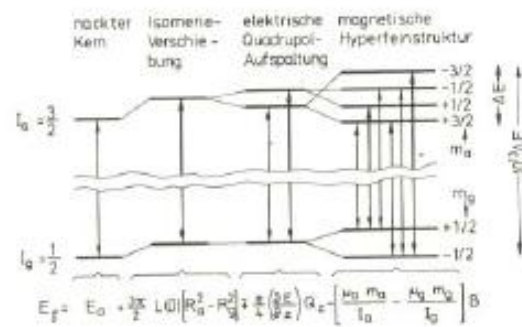
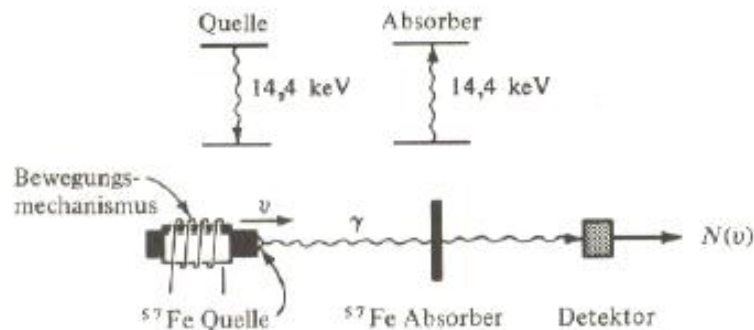


Fig. 43  
a) Hyperfeinstrukturaufspaltung in  $^{57}\text{Fe}$  (schematisch)  
b) Zu den eingezeichneten Übergängen gehörendes Mößbauer-Spektrum; nach [Kis 60]

## Elemente eines Mößbauer-Spektrometers

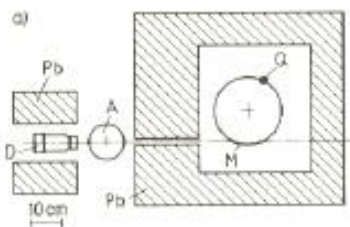
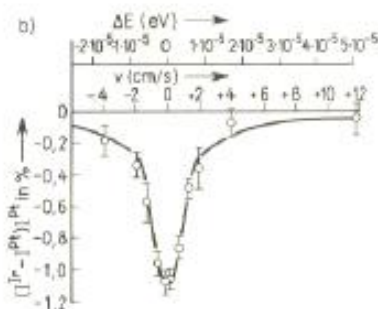
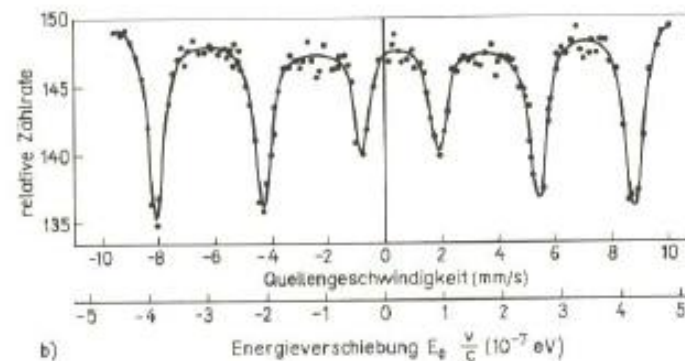


Fig. 42 Anordnung und Ergebnis der ersten Messung einer Mößbauer-Linie [Mös 59]  
a) Versuchsgeometrie. A Absorber-Kryostat; Q rotierender Kryostat mit Quelle; D Szintillationsdetektor. M ist der bei der Messung ausgeknitzte Teil des Rotationskreises der Quelle



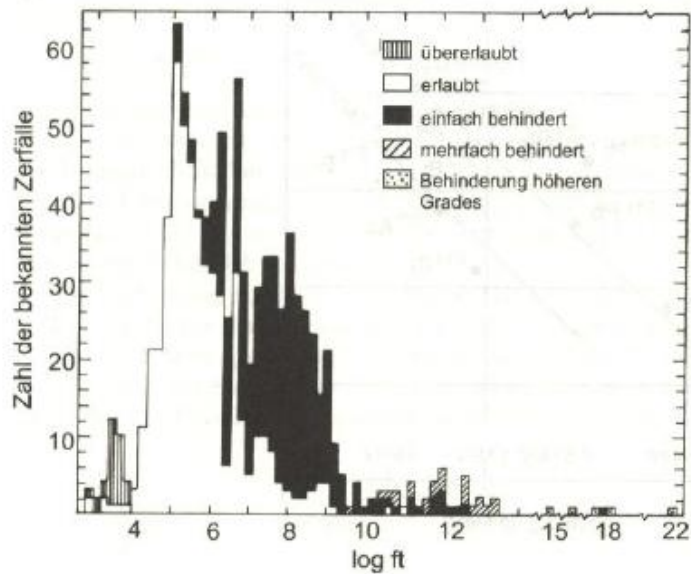
b) Relatives Intensitätsverhältnis  $(I^{\text{Ir-1}^{\text{Pt}}}/I^{\text{Pt}})$  der hinter Iridium- bzw. Platinabsorbern gemessenen  $\gamma$ -Strahlung als Funktion der Geschwindigkeit der Quelle relativ zu den Absorbern.  $\Delta E = (v/c) \cdot E_0$  ist die Energieverschiebung der 129 keV-Quanten relativ zu den ruhenden Absorbern. Als Strahlungsquelle diente eine 65 m Curie starke Osmiumquelle, deren Zerfallsspektrum die 129 keV-Linie in  $\text{Ir}^{129}$  enthält



b) Energieverschiebung  $E_0 \frac{v}{c}$  ( $10^{-7}$  eV)



# ft-Werte und Klassifizierung von Übergängen



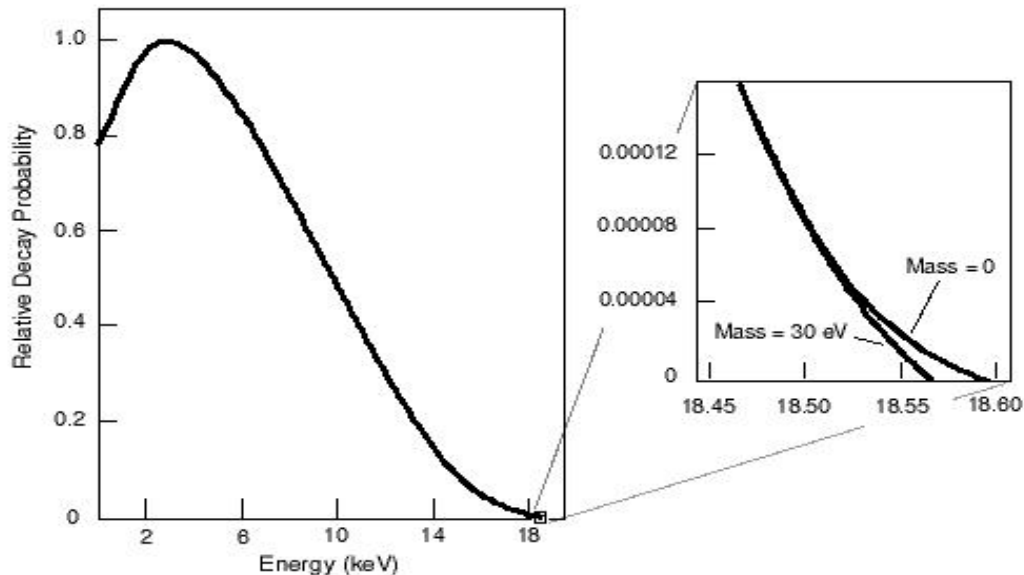
Verteilung der  $ft$ -Werte für  $\beta$ -Zerfälle

Art des Übergangs	Auswahlregeln		log ft	Beispiel	
	Spin	Parität <sup>1)</sup>		Isotop	Halbwertszeit
Übererlaubt	$\Delta I = 0, \pm 1$	(+)	$3,5 \pm 0,2$	<sup>1</sup> n	11,7 m
Erlaubt	$0, \pm 1$	(+)	$5,7 \pm 1,1$	<sup>35</sup> S	87 d
Einfach verboten	$0, \pm 1$	(-)	$7,5 \pm 1,5$	<sup>198</sup> Au	2,7 d
„Unique“ einfach verboten	$\pm 2$	(-)	$8,5 \pm 0,7$	<sup>91</sup> Y	61 d
Zweifach verboten	$\pm 2$	(+)	$12,1 \pm 1,0$	<sup>137</sup> Cs	30 a
Dreifach verboten	$\pm 3$	(-)	$18,2 \pm 0,6$	<sup>87</sup> Rb	$6 \times 10^{10}$ a
Vierfach verboten	$\pm 4$	(+)	22,7	<sup>115</sup> In	$6 \times 10^{14}$ a

<sup>1)</sup> (+) bedeutet „keine Paritätsänderung“, (-) bedeutet „Paritätsänderung“

Klassifizierung nach  $ft$ -Werten

# Tritium-Energiespektrum und Neutrinomasse



The Beta Decay Spectrum for Molecular Tritium

