

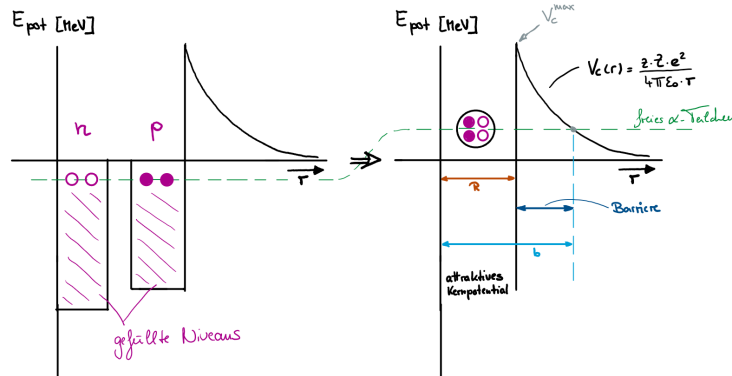
## • $\alpha$ -Zerfall

### ↔ Zweikörperperfall

- Zur Verfügung stehende Energie:  $\Delta M = M(\text{Mutterkern}) - M(\text{Tochterkern}) - M(^4\text{He})$
- Tochterkern nach  $\alpha$ -Zerfall meist wieder radioaktiv  
⇒ Zerfallsreihen

### ⇒ $\alpha$ -Zerfall

Gamow:



Transmission:  $T = e^{-G}$ , mit  $G = \frac{2}{\hbar} \int_R^b \sqrt{2m_\alpha [V_c(r) - E_\alpha^{kin}]} dr$

$$\Leftrightarrow G = \frac{4\pi\alpha Zc}{v} - 8 \cdot \sqrt{\left(\frac{m_\alpha c^2 R Z \alpha}{\hbar c}\right)} = \frac{4\pi\alpha Zc \sqrt{m_\alpha}}{\sqrt{2} \sqrt{E_{kin}^\alpha}} - 8 \cdot \sqrt{\left(\frac{m_\alpha c^2 R Z \alpha}{\hbar c}\right)}$$

Reproduziert die Variation der Übergangsrate über 24 Größenordnungen grob (aber: auch signifikante Abweichungen)

149

## Zusammenfassung:

## Spaltung

(VL2, KW 46)

## • Spaltung

### ↔ Energiegewinn durch reduzierte Coulombabstoßung

Aktivierungsenergie muss überwunden werden

$$Mc^2 + E_A = M_1c^2 + M_2c^2 + E_f^{kin}$$

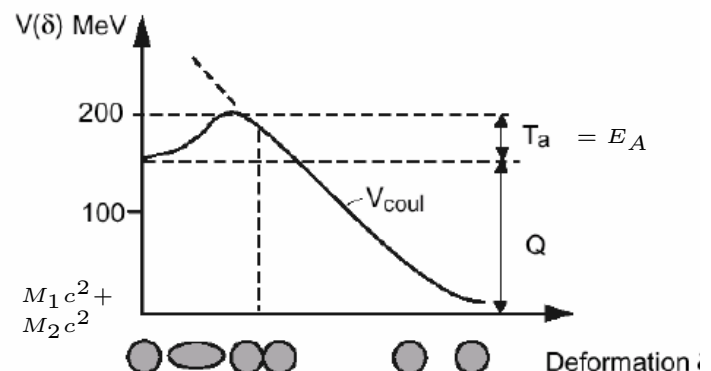
### ↔ Tröpfchenmodell

(Spaltneutronen, innere Anregungen nicht berücksichtigt)

Aktivierungsenergie:

$E_A > 0$ : gezeigter Potentialverlauf

$E_A < 0$ : spontane Spaltung



**Bemerkung: Tröpfchenmodell benutzt (Kugel → Ellipsoid → ...)**

- keine Schalenstruktur
- starke Deformation nicht richtig berücksichtigt (↔ Einschnüren des Kernes)  
↔ Potentialbarriere oft komplizierter
- Spaltung oft nicht symmetrisch

150

## Spaltung von Uran $^{235}_{92}\text{U}$ durch langsame (thermische) Neutronen und durch 14 MeV Neutronen

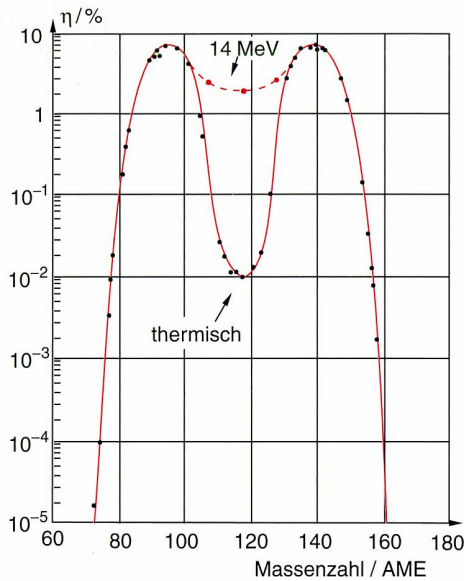


Abb. 6.18. Spaltwahrscheinlichkeit  $\eta$  in % als Funktion der Massenzahl der Spaltprodukte bei der Spaltung von Uran  $^{235}_{92}\text{U}$  durch langsame (thermische) Neutronen und durch 14 MeV-Neutronen

langsame Neutronen ( $E_B = 6,4\text{MeV} > E_c = 5,3\text{MeV}$ ):

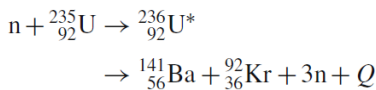


Tabelle 6.2. Kritische Energie  $E_c$  (Höhe der Spaltbarriere), Bindungsenergie  $E_b$  des Neutrons im Compoundkern und Spaltschwellenenergie  $\Delta E_F = E_c - E_b$  für die kinetische Energie der Spaltneutronen

Targetkern X	Compoundkern X+n	$E_c$ (MeV)	$E_b$ (MeV)	$E_c - E_b$ (MeV)
$^{233}_{92}\text{U}$	$^{234}_{92}\text{U}$	5,8	7,0	-1,2
$^{235}_{92}\text{U}$	$^{236}_{92}\text{U}$	5,3	6,4	-1,1
$^{234}_{92}\text{U}$	$^{235}_{92}\text{U}$	5,8	5,3	+0,5
$^{238}_{92}\text{U}$	$^{239}_{92}\text{U}$	6,1	5,0	+1,1
$^{231}_{91}\text{Pa}$	$^{232}_{91}\text{Pa}$	6,2	5,5	+0,7
$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{233}_{90}\text{Th}$	6,8	5,5	+1,3

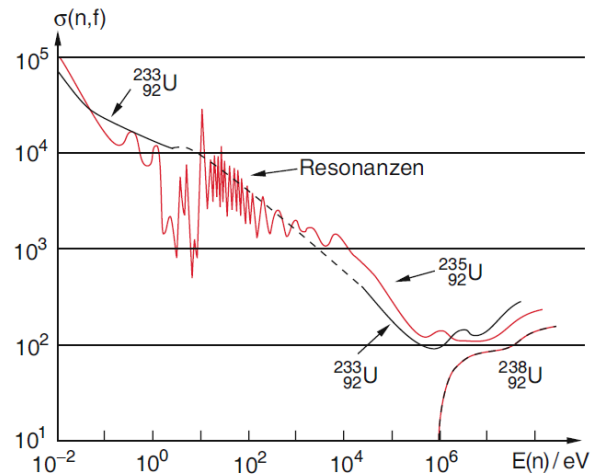


Abb. 6.17. Spaltungsquerschnitt  $\sigma(n, f)$  als Funktion der kinetischen Energie der Neutronen für  $^{238}_{92}\text{U}$ ,  $^{235}_{92}\text{U}$  und  $^{233}_{92}\text{U}$

151

## Spaltung - Massenverteilung der Spaltprodukte

### Spaltung von Uran $^{235}_{92}\text{U}$ durch langsame (thermische) Neutronen und durch 14 MeV Neutronen

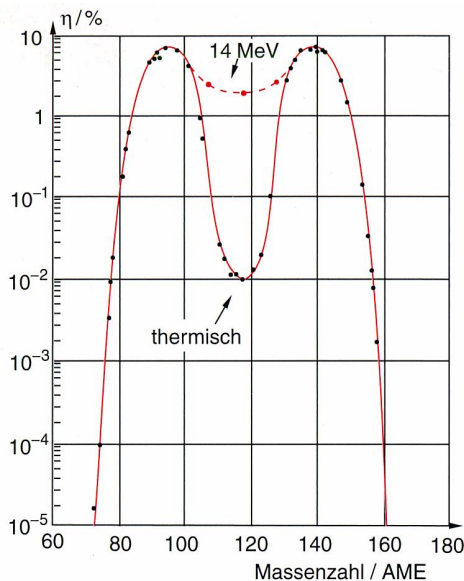
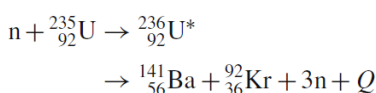


Abb. 6.18. Spaltwahrscheinlichkeit  $\eta$  in % als Funktion der Massenzahl der Spaltprodukte bei der Spaltung von Uran  $^{235}_{92}\text{U}$  durch langsame (thermische) Neutronen und durch 14 MeV-Neutronen

langsame Neutronen ( $E_B = 6,4\text{MeV} > E_c = 5,3\text{MeV}$ ):



### Massenverteilung der Spaltprodukte nach $\alpha$ -Beschuss

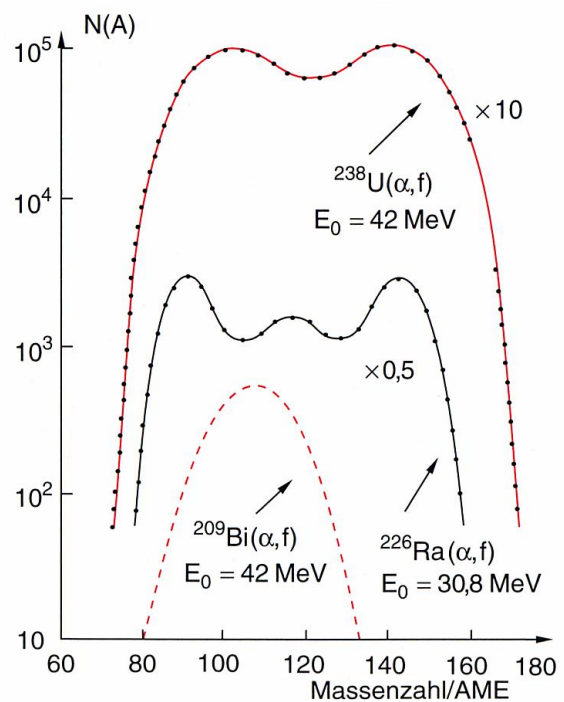
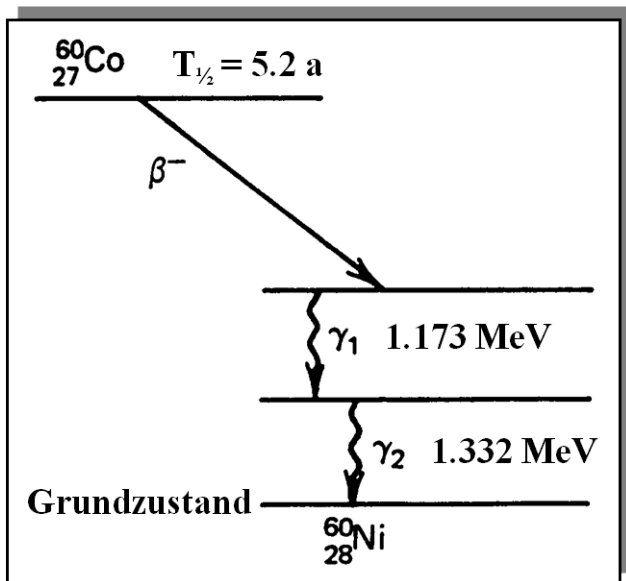


Abb. 6.19. Massenverteilung der Spaltprodukte bei einigen durch  $\alpha$ -Beschuss mit der kinetischen Energie  $E_0(\alpha)$  induzierten Kernspaltungen. Nach R. Vandenbosch, J.R. Huizenga: *Nuclear Fission*, Academic Press, New York 1973

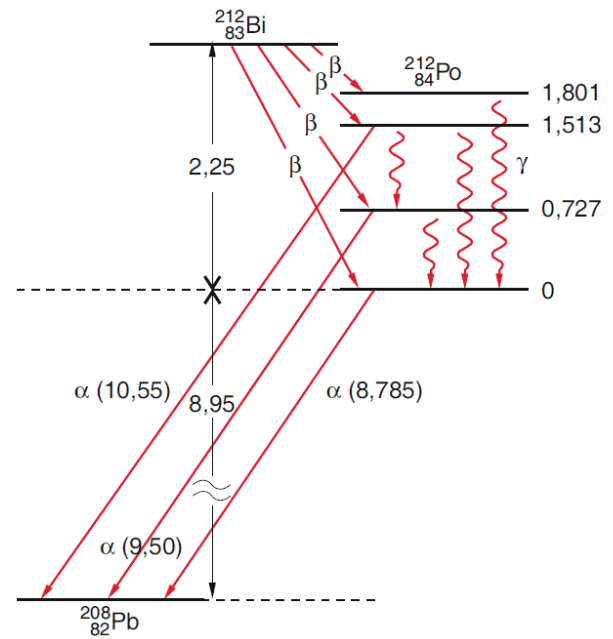
152

## $\gamma$ -Zerfall

Population angeregter Kernzustände z.B. durch  $\alpha$ -,  $\beta$ - Zerfälle:

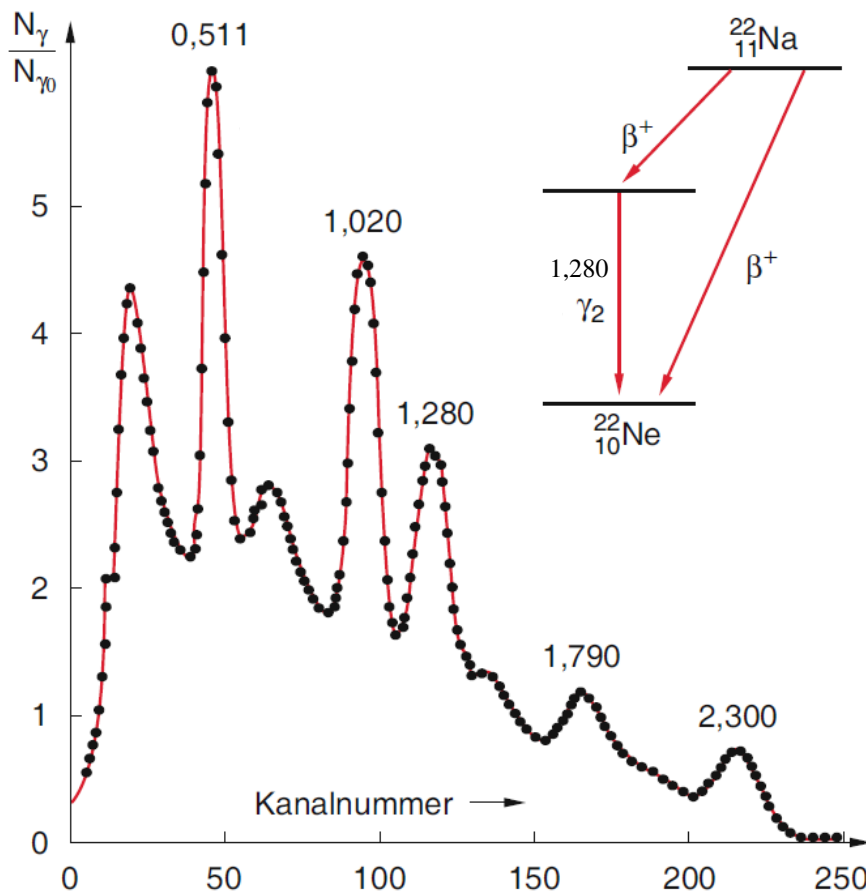


vereinfachte Darstellung

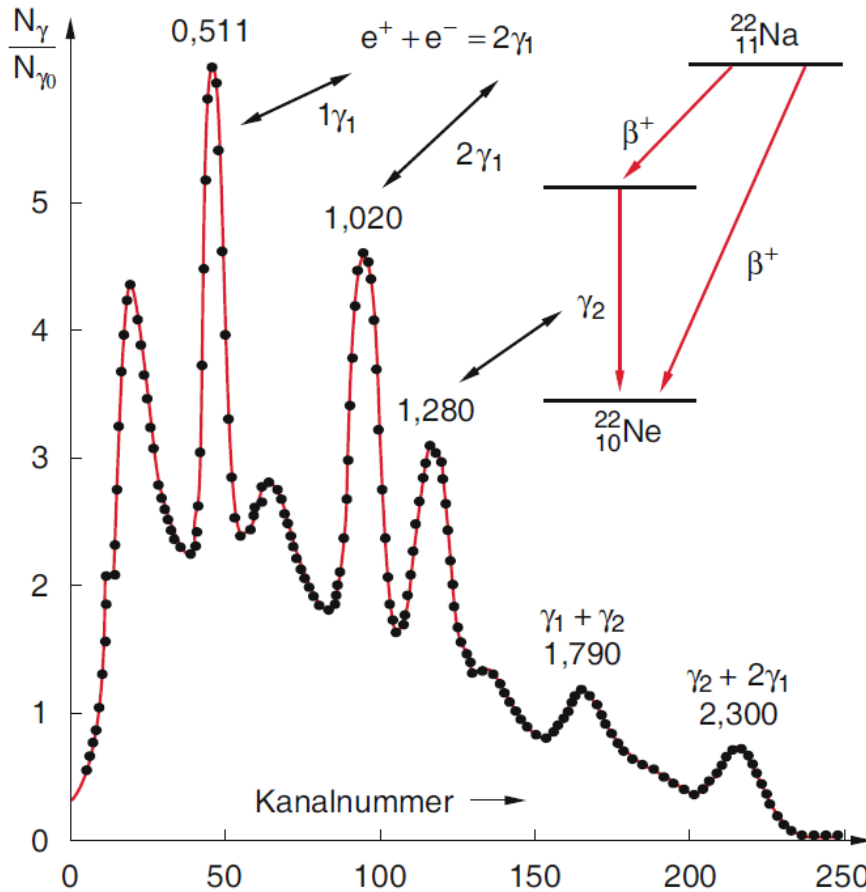


153

## $\gamma$ -Zerfall



154



154

## γ-Zerfall - Multipolübergänge -

**Multipolübergänge: Entwicklung des Strahlungsfeldes nach Kugelflächenfunktionen ( ⇔ charakteristische Winkelverteilungen )**

Multipolarität			Parität	
L	$2^L$		P	
0	1	Monopol	0 => 0 ausgeschlossen, transversale Natur des Photons	
1	2	Dipol	-1	E1
			+1	M1
2	4	Quadrupol	+1	E2
			-1	M2

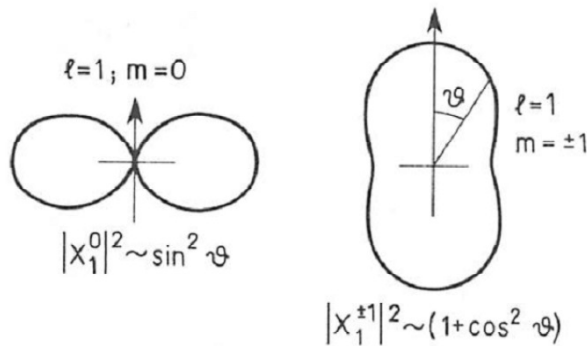
**Parität:**  $(-1)^L$  für elektrische Übergänge : EL

$(-1)^{L+1}$  für magnetische Übergänge : ML

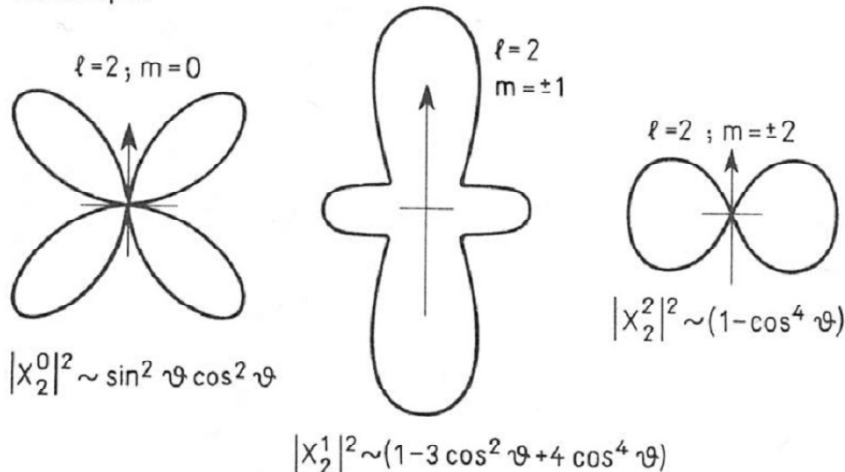
155

# Winkelverteilungen Multipolstrahlung

Dipol



Quadrupol



156

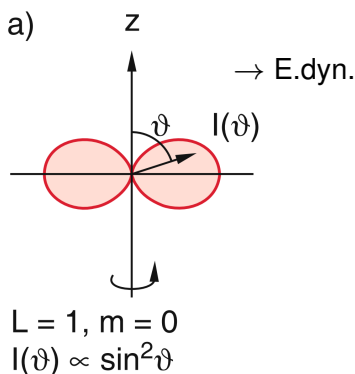
## $\gamma$ -Zerfälle

z.B.  $\alpha, \beta$ -Zerfälle  $\rightarrow$  hinterlassen angeregten Kern

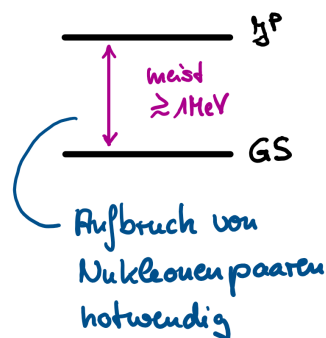
betrachten von Einteilchen-Anregungen:  
elektromagnetische Übergänge:

Willkürliche Anordnung der Kerne mit Spin  
 $\Rightarrow$  isotrope Winkelverteilung

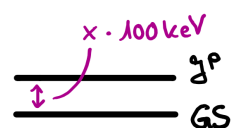
Ausgerichtete Kernspins:  
 $\Rightarrow$  Winkelverteilung der Strahlung meßbar



gg-Kerne ( $A \geq 40$ ):



ug-, uu-Kerne:



- $E$ :  $\rightarrow$  Abstände der Kernniveaus
- Winkelverteilung (Polarisation)  
 $\rightarrow$  Rückschlüsse auf  $J^P$  der beteiligten Niveaus

(Drehimpulse = Erhaltungsgröße - gequantelt)

$\Leftrightarrow$  Wichtige Methode zur Bestimmung der Quantenzahlen  $J^P$  des Kerns

$\leftrightarrow$  Multipolübergänge  
Entwicklung nach Kugelflächenfunktionen  $Y_{LM}(\Theta, \Phi)$

157

Beispiele → **Tafel**

158

## Einteilchen-Photon-Übergangswahrscheinlichkeit

**Einteilchen-Photon-Übergangs-  
wahrscheinlichkeit**

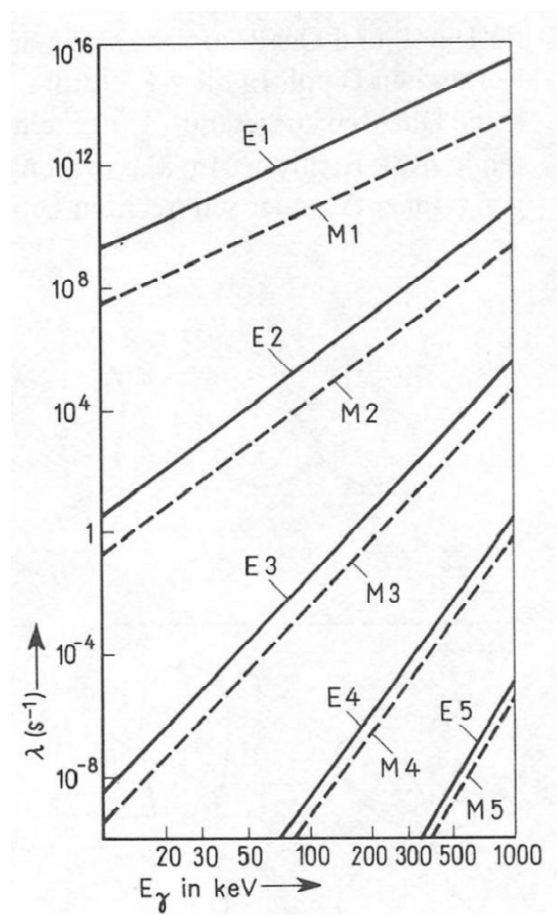
**Für verschiedene Multipolstrahlungen**

**Lebensdauer eines Zustandes: stark von  
der Multipolarität des möglichen  
Überganges abhängig**

**(Auftreten von Isomeren möglich)**

**Zusätzlich:**

**Abregung durch innere Konversion  
möglich (tritt auf, wenn: Multipolarität  
hoch, E klein, Kern schwer)**



159

**Lebensdauer stark von der Multipolarität abhängig:**

→  $\lambda$  nimmt mit höherer Multipolarität ab

(typische Lebensdauern:  $10^{-9} - 10^{-15} \text{ s}$ )

**Zustände, die nur durch Übergänge mit hoher Multipolarität und kleiner Energie zerfallen können**

↔ **Isomere**

$$\begin{array}{lll} {}^{110}\text{Ag} & J^P = 6^+ & E = 117,7 \text{ keV} \\ & \Downarrow \text{M4} & \\ & J^P = 2- & t_{1/2}({}^{110}\text{Ag}^m) = 235 \text{ d} \end{array}$$

**Innere Konversion:**

- Übertragung der Anregungsenergie auf ein Elektron der Atomhülle tritt vor allen Dingen auf wenn:

- hohe Multipolarität,  $E_\gamma$  klein, und Kerne schwer

- oder auch  $0^+ \rightarrow 0^+$  ( $\gamma$ -Übergang verboten)

160

## Kapitel 4 - Kern-Radien, weitere Kernmodelle

---

- $e^-$  – Streuung zur Kernradienbestimmung (Kernladungsverteilungen)

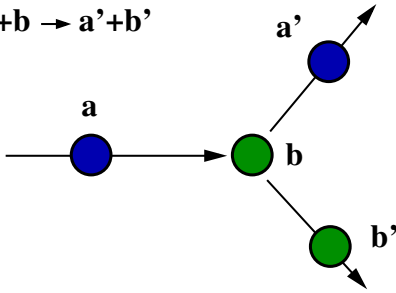
**Weitere Kernmodelle**

- Schalenmodell
- Fermi-Gas-Modell

# Streuung

## Elastische Streuung

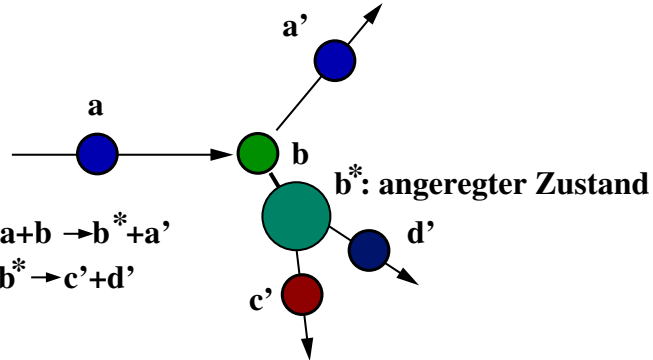
$$a+b \rightarrow a'+b'$$



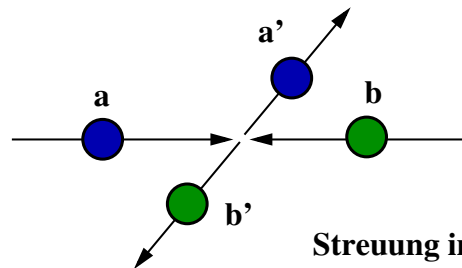
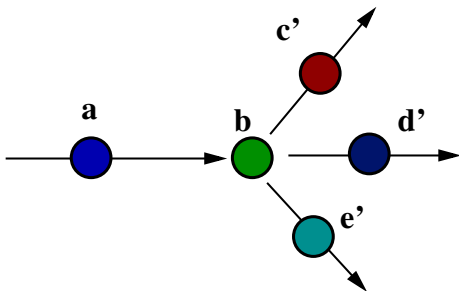
## Inelastische Streuung

$$a+b \rightarrow b^*+a'$$

$$b^* \rightarrow c'+d'$$



## Inelastische Streuung



Streuung im CMS (Collider)

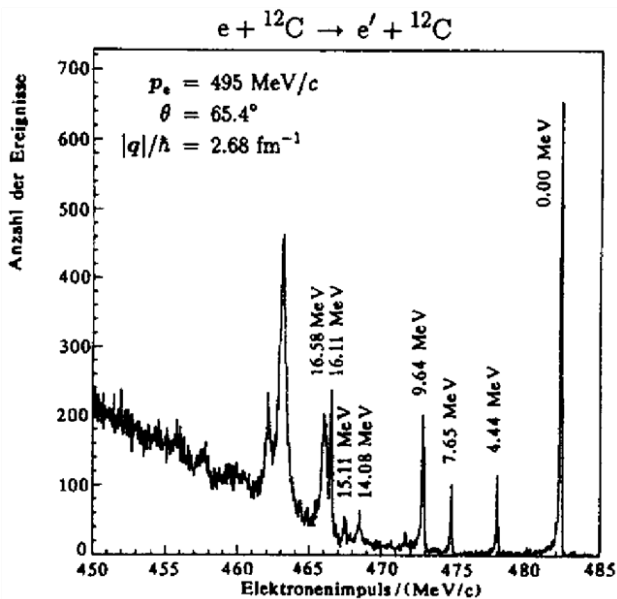
## Im Folgenden: Elastische Streuung an Kernen

vorweggenommen: kurze Nebenbemerkung zur inelastischen Streuung

162

## Nebenbemerkung: Inelastische Streuung - Anregungen

### • an Kernen

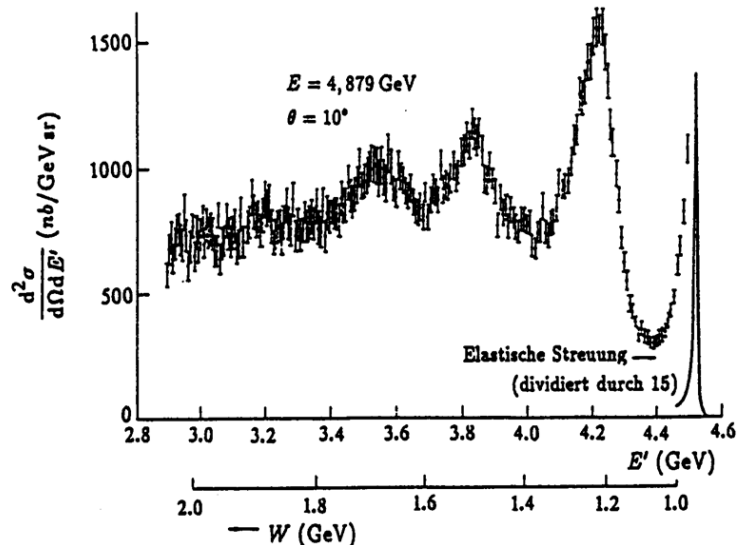


### Anregungsniveaus des Korns

$$\leftrightarrow \Delta E$$

Kern = zusammengesetztes System

### • am Nukleon



### Anregungsniveaus des Nukleons

$$\leftrightarrow \Delta E \leftrightarrow \text{Resonanzen}$$

Nukleon = zusammengesetztes System

⇔ Unterschiedliche Energieskalen

162