

Wiederholung

- Grundlagen der Kernanregung
Ein-Teilchen-Anregung \longrightarrow kompliziert
kollektive Anregung \longrightarrow einfach
- Die Parität: $\Psi(r) = P\Psi(-r)$
 $P = \pm 1$
 $P = (-)^L$ L = orbitaler Drehimpuls

- Das abgestrahlte elektromagnetische Strahlungsfeld (γ -Quant) besitzt Drehimpuls (Multipol!!)

$$J_\gamma = |j_f - j_i|, \dots, |j_f + j_i| \quad \text{sind möglich}$$

- Parität ist eine multiplikative Erhaltungsgröße

$$\succ P_i = P_f \cdot P_\gamma$$

Das legt Auswahlregeln für das Strahlungsfeld fest

Übergangswahrscheinlichkeiten $W(E\lambda)$, $W(M\lambda)$ (d.h. Zerfallszeit) und Weisskopf-Einheiten

die $W(E\lambda)$, $W(M\lambda)$ hängen **NATÜRLICH** vom Kernmodell ab

ABER

für ein Proton/Neutron, welches im Kernvolumen frei schwingt
kann W in geschlossener Form angegeben werden

$$W(E\lambda) = a_{E\lambda} \cdot E_\gamma^{2\lambda+1} \cdot R^{2\lambda} = a_{E\lambda} \cdot E_\gamma^{2\lambda+1} \cdot (1.2)^{2\lambda} A^{2\lambda/3}$$

$$\ll 1$$

Kernradius

$$W(M\lambda) = a_{M\lambda} \cdot E_\gamma^{2\lambda+1} \cdot R^{2\lambda-2} = a_{M\lambda} \cdot E_\gamma^{2\lambda+1} \cdot (1.2)^{2\lambda-2} A^{(2\lambda-2)/3}$$

$$a_{M\lambda} = 10^{-1} a_{E\lambda}$$

Ein-Teilchen-Übergang!!

Weisskopf-Ein-Teilchen-Abschätzungen für $E\lambda$ und $M\lambda$ Übergänge

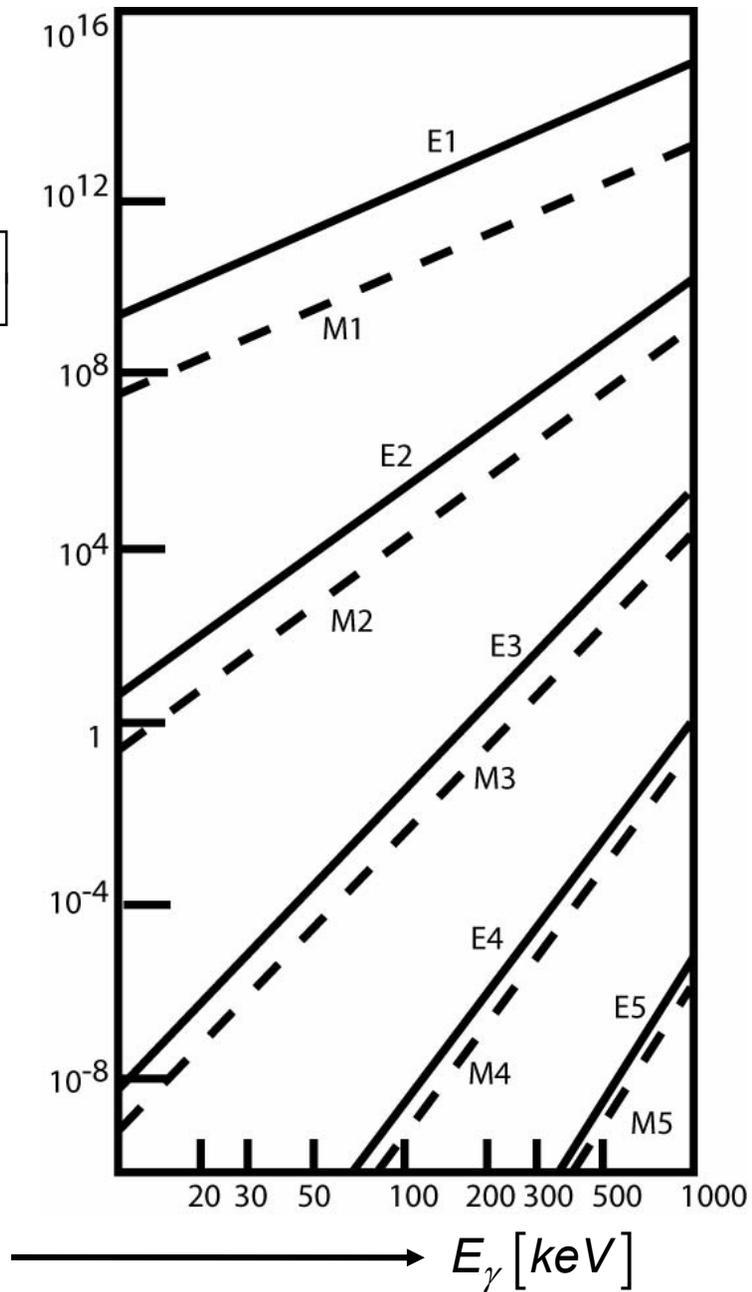
Ordnung λ	$E\lambda$		$M\lambda$	
	$W(s^{-1})$		$W(s^{-1})$	
1	$1.02 \cdot 10^{14}$	$A^{2/3} \cdot E_{\gamma}^3$	$3.15 \cdot 10^{13}$	E_{γ}^3
2	$7.28 \cdot 10^7$	$A^{4/3} \cdot E_{\gamma}^5$	$2.24 \cdot 10^7$	$A^{2/3} \cdot E_{\gamma}^5$
3	$3.39 \cdot 10^1$	$A^2 \cdot E_{\gamma}^7$	$1.04 \cdot 10^1$	$A^{4/3} \cdot E_{\gamma}^7$
4	$1.07 \cdot 10^{-5}$	$A^{8/3} \cdot E_{\gamma}^9$	$3.27 \cdot 10^{-6}$	$A^2 \cdot E_{\gamma}^9$
5	$2.40 \cdot 10^{-12}$	$A^{10/3} \cdot E_{\gamma}^{11}$	$7.36 \cdot 10^{-13}$	$A^{8/3} \cdot E_{\gamma}^{11}$

Beispiel: ^{90}Zr ($3^+ \rightarrow 1^+$) $E_{\gamma}=0.3$ MeV, $\tau = 10^{-10}$ sec (E2 Strahlung !! (M3))

$$W(E2) = 7.28 \cdot 10^7 \cdot 90^{4/3} \cdot 0.3^5 = (1.4 \cdot 10^{-8})^{-1} \rightarrow 140 \text{ W.u. (aha! kollektiv!)}$$

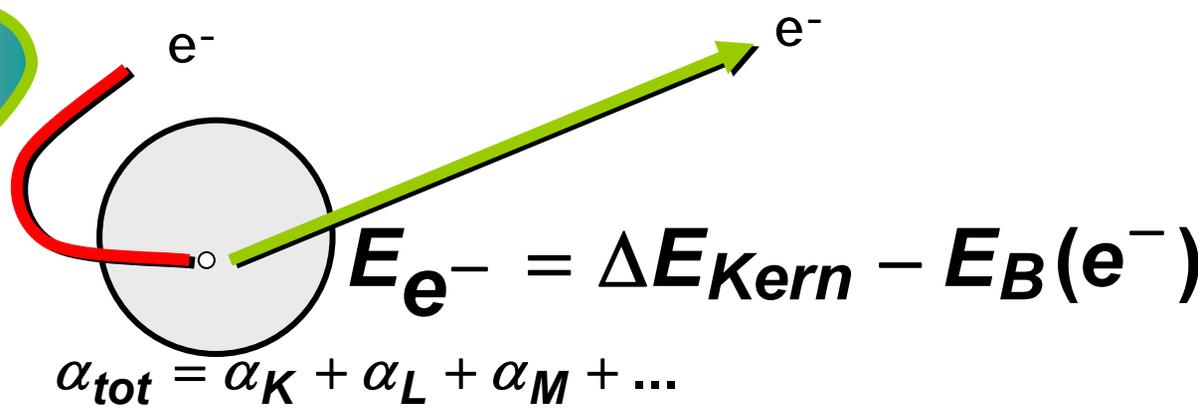
$$W(M3) = 1.04 \cdot 10^1 \cdot 90^{4/3} \cdot 0.3^7 = (1.09 \cdot 10^{-1})^{-1} \rightarrow 10^{-10} \text{ W.u. (no way!)}$$

$$\lambda \left[\text{sec}^{-1} \right]$$
$$= \frac{1}{\tau} \left[\text{sec}^{-1} \right]$$



innere Konversion

naive Vorstellung:



Konversionskoeffizient

$$\alpha_{tot} := \frac{N_e}{N_\gamma}$$

am größten für K-Schalen e^-

aus DIRAC-Theorie:

$$\alpha_K^{elektr} \sim \alpha^4 \frac{L}{L+1} Z^3 \left(\frac{2m_e c^2}{E_x} \right)^{L+5/2}$$

$$\alpha_K^{magn.} \sim \alpha^4 Z^3 \left(\frac{2m_e c^2}{E_x} \right)^{L+5/2}$$

Eigenschaften:

- 1.) $\sim Z^3$!!
- 2.) $\sim \left(\frac{1}{E_x} \right)^{L+5/2}$
- 3.) α_K / α_L sensitiv auf L, $\left(\begin{matrix} magn. \\ elektr. \end{matrix} \right)$

0 \longrightarrow 0 erlaubt

In schweren Kernen sind viele Übergänge hoch konvertiert (insbes. für $\lambda \gg 1$)

β -Zerfall

geschichtlicher Hintergrund zum β -Zerfall

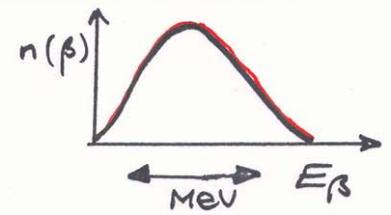
1914

: Chadwick, J. (Nobelpreis 1935 - Neutron)

- β -Zerfall ändert Kernladungszahl um 1 : $Z A \rightarrow Z+1 A$
- β -Teilchen sind Elektronen
- β -Spektrum ist kontinuierlich
Mit $M(A, Z) \rightarrow M(A, Z+1) + E_\beta$

bis 1930

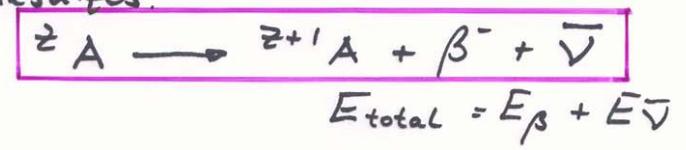
> Energiesatz ist verletzt!



1930

: Pauli, W. (Nobelpreis 1945 - Pauli-Prinzip)

postuliert das ungeladene nicht beobachtbare Neutrino zur Rettung des Energiesatzes.



1934

: E. Fermi (Nobelpreis 1938, künstl. radioaktive Elemente)

Formulierung des β -Zerfalls in Anlehnung an die Strom-Strom W.W. in der Elektrodynamik.

geschichtlicher Hintergrund zum β -Zerfall

1928

P. Dirac (Nobelpreis : Dirac - Theorie)

Dirac - Gleichung

negative Energie $\hat{=}$ Anti - Teilchen
Häresie !!

1934

F. Joliot , I. Curie

Entdeckung des β^+ - Zerfalls



1957

C. S. Wu

Paritätsverletzung beim β - Zerfall (${}^{60}\text{Co}$)
zunächst Untergang der Fermi - Theorie,
dann Rettung der Fermi - Theorie

1959

F. Reines , C. L. Cowan

Entdeckung des Neutrinos



1962

L. Ledermann , J. Steinberger (Nobelpreis 1988)

Entdeckung des Myon - Neutrinos , Brookhaven

1963

Formulierung der Universalität :

Die schwache WW ist innerhalb jeder
Familie (Generation) dieselbe !!

geschichtlicher Hintergrund zum β -Zerfall

1967-68

Glashow, Weinberg, Salam (Nobelpreis 79)

Vereinheitlichung der schwachen und elektromagnetischen W.W.

→ Standardmodell

\exists 3 Bosonen : W^+ , W^- , Z^0
 ↑ ↑ ↑
 81 GeV, 81 GeV, 91 GeV

\exists neutrale Ströme, die es in der Fermi-Theorie nicht gab.

neutraler Strom : $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$
geladener Strom : $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$

1973

Entdeckung des neutralen Stroms
(Gargamelle Kollaboration, CERN)

1983

C. Rubbia (Nobelpreis 1984)
Entdeckung des W-Boson am
Sp̄p̄S-Collider (UA1-Kollaboration)

1983+84

Entdeckung des Z^0 -Bosons (UA2)
Anschließend Konstruktion von
LEP mit e^+ (50 GeV) + e^- (50 GeV)

bis 1994

Nach $\sim 5 \cdot 10^6$ Z^0 , Etablierung
des Standard-Modells der

elektro-schwachen Wechselwirkung

β-Zerfall

elementarer Prozeß: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

im Kernverband können sich die Energie-Verhältnisse so verschieben, daß auch

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$$

möglich wird

Allgemeines Schema:

$$\begin{aligned} \text{Hadron} &\longrightarrow \text{Hadron}' + \text{Lepton} + \bar{\text{Lepton}} \\ \text{oder} \\ \text{Lepton} + \text{Hadron} &\longrightarrow \text{Lepton}' + \text{Hadron}' \end{aligned}$$

Leptonenzahl = $\begin{cases} +1 & \text{für } \underline{L} \\ -1 & \text{für } \underline{\bar{L}} \end{cases}$ bleibt erhalten

heute wissen wir

Die Leptonen ordnen sich in Familien ein

$$\begin{pmatrix} e^- \\ \nu_e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \mu^- \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \tau^- \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$

Die Leptonenzahl ist für jede Familie **separat** erhalten

Beispiel: $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$
 $(1)^\mu = (1)^e - (1)^e + (1)^\mu = (1)^\mu$

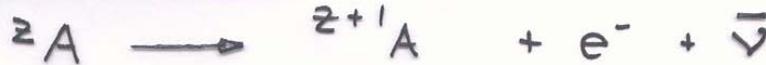
$\mu \rightarrow e + \alpha$ nicht beobachtet

Theorie des β^- -zerfalls \rightarrow WS'

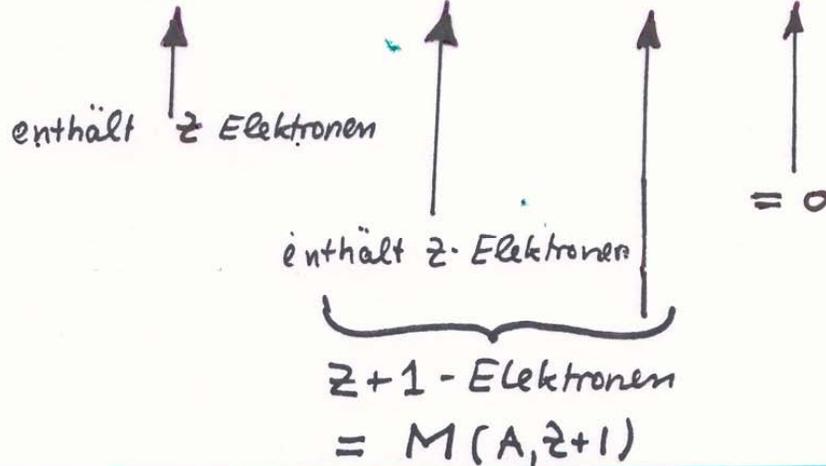
hier: nur Energetik + Phänomenologie



β^- -zerfall



Energetik: $M(A, z) = M(A, z+1)^{\oplus} + M(e^-) + M(\bar{\nu}) + E$



$E = M(A, z) - M(A, z+1)$

für $E > 0$ β^- -zerfall

2.) β^+ - Zerfall

$${}^Z_A \longrightarrow {}^{Z-1}_A + e^+ + \nu$$

Energiebilanz $M(A, Z) = M(A, Z-1) + M(e^-) + M(e^+) + M(\nu) + E$

\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow
 Z Elektronen Z Elektronen 1 Elektron 0
 $(Z-1)$ Elektronen + 2 Elektronen + E

$$E = M(A, Z) - M(A, Z-1) - 2m_0c^2$$

$E > 0$ β^+ - Zerfall

- Die Asymmetrie zwischen β^+ & β^- - Zerfall bei der Aufstellung der Energiebilanz ist eine Folge der speziellen Wahl des Energie-Referenzwertes, i.e. "amu" !!

3. "Electron Capture" (EC) - Prozeß

Einfang eines Elektrons aus der Atom-Hülle (K-, L-, M-, ... Schale)

elementarer Prozeß



d.h. analog zum β^+ -Zerfall ($p \rightarrow n + e^+ + \nu$)

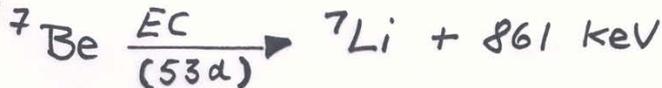


Energetik: $M(A, Z) = M(A, Z-1) + E$

$$E = M(A, Z) - M(A, Z-1)$$

- ! d.h. wenn β^+ -Zerfall energetisch nicht mehr möglich ist, ist EC ein alternativer Prozeß. Hierbei wird die Gesamtenergie auf das Neutrino übertragen

Beispiel:



$$(861 \text{ keV} < 2m_0c^2 = 2 \cdot 511 \text{ keV})$$

aber:

ein vollständig ionisiertes ${}^7\text{Be}$ ist stabil !