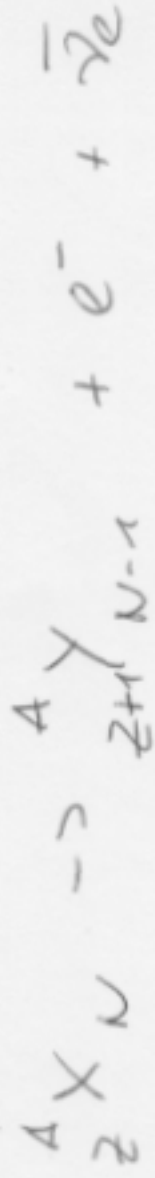


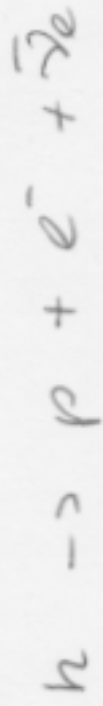
①  
Bereiche mit  $B_n, B_p > 0$ : „Quasi stabile Kerne“

Kerne mit  $n$ -Überschuß (aber  $B_n > 0$ )

unterliegen dem  $\beta^-$ -Zerfall



d. h. im Inneren eines Kerns



auch freie Neutronen ist  $n$ -instabil,  $T_{1/2} \approx 15 \text{ min}$

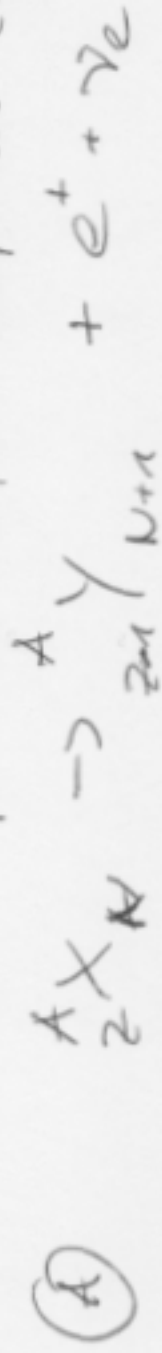
$$Q/\alpha^2 = m_n - m_p - m_{e^-} \approx 0,793 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Delta E = [N(Z, A) - Z m_e] - [N(Z+1, A) - (Z+1)m_e + \cancel{N_B}]$$
$$= N(Z, A) - N(Z+1, A)$$

$\beta^-$ -Zerfall: falls  $N(Z, A) > N(Z+1, A)$

Kerne mit p-Überschuß zerfallen entweder

(2)



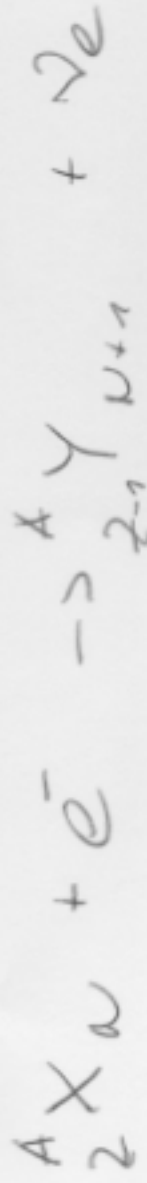
N.B: das freie Proton zerfällt nicht über diesen Weg,

wel  $Q = (m_p - m_n - m_e)c^2 = -1,81 \text{ MeV}$

$$\Delta E = [M(Z, A) - Z m_e] - [M(Z-1, A) - (Z-1)m_e + m_e] \\ = \{M(Z, A) - M(Z-1, A) - \underline{2m_e}\} c^2 > 0$$

$\beta^+$ -Zerfall falls  $\Delta E > 0$  bzw.  $M(A, Z) > M(A, Z-1) + \underline{2m_e}$

(B) Elektronenfang (Electron Capture, EC)



K-Elektronen haben hohe Aufenthaltswahrscheinlichkeit

Im Kern  $\Rightarrow$  bevorzugt Eingekapten

(3)

$$\Delta E = \{ N(Z, A) - N(Z-1, A) \} c^2$$

$$EC : N(A, Z) > N(A, Z-1) + E$$

$E$  : Austragsenergie der Atomhülle des Tochterkerns  
da EC immer noch in Hülle hinter  $E = \beta^2$ .

$$E(Z) \sim \text{keV bis } \sim 100 \text{ keV}$$

EC findet nur dann alleine statt wenn Massedefizit

Zwischen 0 und 2me liegt.

EC,  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  sind Prozesse d. Schwachen WW!

Empirische des  $\beta^-$ -Zufalls ( $N, \beta^+, EC$ )

Nukleonenzahl bleibt konstant (Nuktr und Tochter sind

Isobare)

$$N(Z, A) = \alpha \cdot A - \beta \cdot Z + \gamma \cdot Z^2 + \frac{\delta}{A^{1/2}}$$

$$\text{mit } \alpha = N_n - a_v + a_s A^{-1/3} + \frac{a_9}{4}$$

$$\beta = a_a + (N_n - N_p - m_e)$$

$$\gamma = a_{\text{sym}} + a_{\text{spin}}$$

$u_n$   $\Pi(z, A)$  bei konst.  $A$  als Funktion von  $z$   
 aufzutragen, sind zwei Fälle zu unterscheiden:  
 $u_g$ - und  $u_n$ -Kurve ist  $\delta = 0$

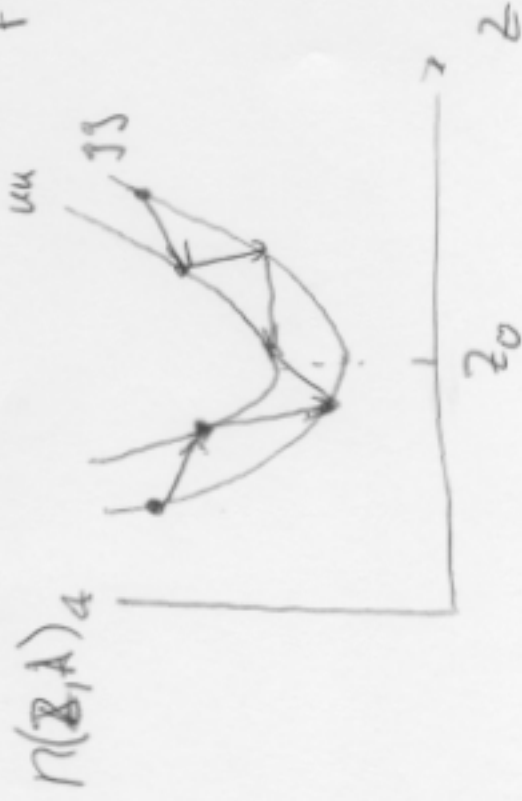


$$\left(\frac{\partial \Pi}{\partial z}\right)_A = P + 2\gamma z_0 = 0$$

$$\Rightarrow z_0 = -\frac{P}{2\gamma}$$

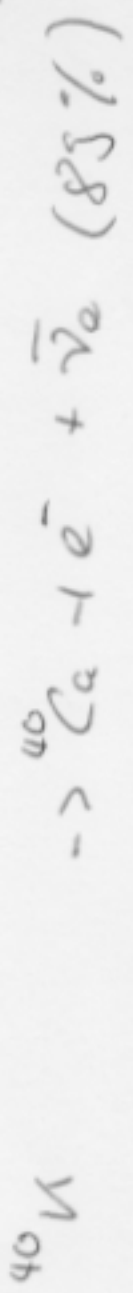
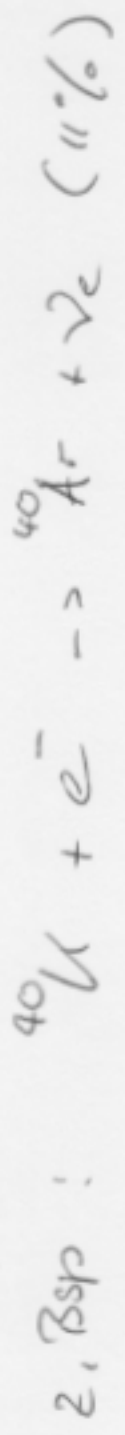
Bei  $u_n$ -Kurve:  $+\delta$   
 $g_g$ -Kurve:  $-\delta$

Paarungsenzyme  $\pm \delta$  führt zu  
 zwei Resonanzpunkten: ~~...~~  
 für  $g_g$ -Kurve ist Energie abgesetzt!

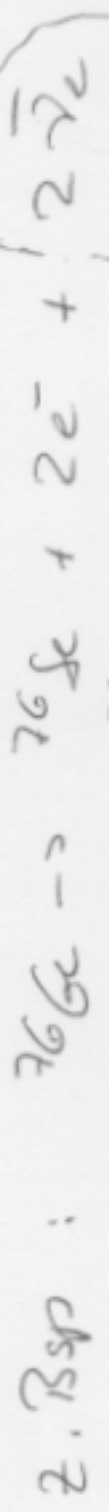


Es gibt  $\alpha$ -Kerne, die sowohl den  $\beta^+$ , als auch  $\beta^-$

Teil  $\beta^+$ -Zerfall



Einige  $\beta\beta$ -Kerne unterliegen dem  $\beta\beta$ -Zerfall



aktuelles Thema:  $0\nu\beta\beta$ -Zerfall  
 $\Delta L = 2$ !

Statisch der stabilen Kerne

Typ	Anzahl
$\beta\beta$	165
$0\nu\beta\beta$	105
$\alpha\alpha$	4

uu:  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^6_3\text{Li}$ ,  ${}^{10}_5\text{B}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$

## Alpha-Zerfall

historisch 41ste entdeckte radioaktive Zerfallstyp

Systematik aus Masseformel: Voraussetzung  $n$  welche

Fälle  $\alpha$ -Zerfall energetisch möglich ist.

Totale Energie des  $\alpha$ -Zerfalls.

$$Q_\alpha = [M(Z, A) - M(Z-2, A-4) - M({}^4\text{He})] c^2$$
$$= B({}^4\text{He}) + B(Z-2, A-4) - B(Z, A)$$

4  
28,3 MeV

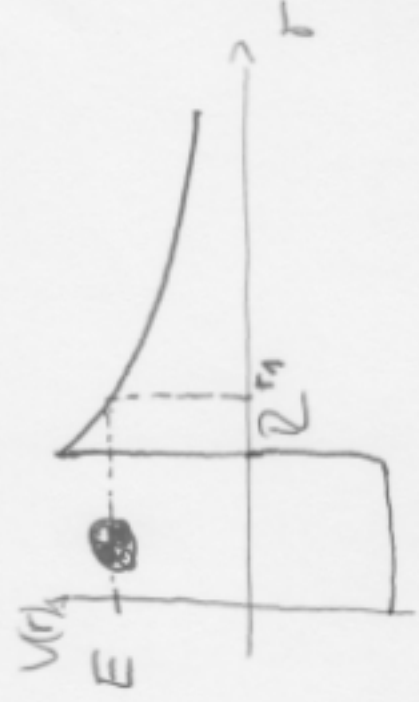
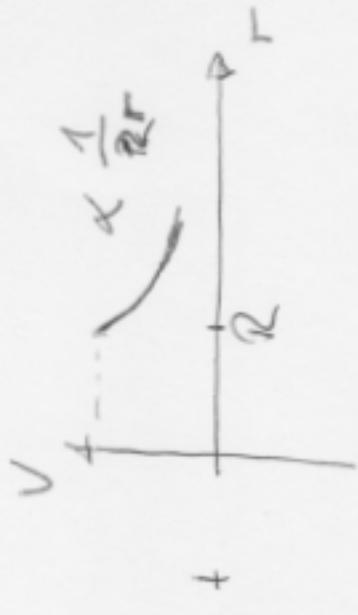
$Q_\alpha > 0$  für alle  $A \geq 150$

N.B. 187 nicht gleichbedeutend, daß alle  $A \geq 150$  were  
tatsächlich  $\alpha$ -instabil sind!!

$\alpha$ -Zerfall

(3)

V  $\alpha$  Kernpotential



QM: Transmission durch  
"dünne" Potentialbarriere  
 $V$ , Dicke  $\Delta r$

$$T \approx e^{-2x \Delta r}$$

$$x = \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} |E - V|}$$

Ausatz für  $\alpha$ -Zerfall

$$T = e^{-2G}$$

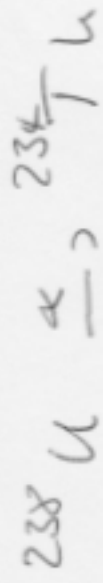
$G :=$  "Gamovfaktor"

$$G = \int_R^{r_1} \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} |E - V(r)|} dr$$

Starke Korrelation zwischen Lebensdauer und

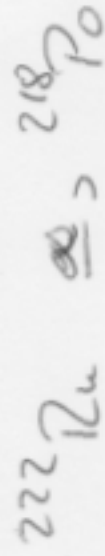
Energie des  $\alpha$ -Teilchens (bei Kerne mit vergleichbarer Z)

z. Bsp



$$E = 4,27 \text{ MeV}$$

$$T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$$



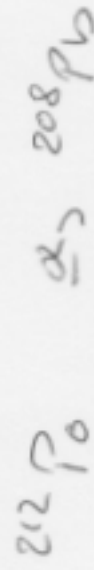
$$E = 5,59 \text{ MeV}$$

$$T_{1/2} = 3,8 \text{ d}$$



$$E = 7,83 \text{ MeV}$$

$$T_{1/2} = 164 \mu\text{sec}$$



$$E = 8,8 \text{ MeV}$$

$$T_{1/2} = 0,13 \mu\text{sec}!!$$

$\alpha$ -Zufälle beschreibbar durch:

- Kernwechselwirkung (Wasserstoff, Kohlenstoff  
oder  $\alpha$ -Teilchen bilden)
- EN WW (Transmissionswahrscheinlichkeit durch  
Coulombbarriere zu Tunneln (Gamow))



Kernspaltung

(9)

Energieerhaltung möglich für Kerne über Fusion,  
für schwere Kerne ( $Z \geq 40$ ) über Kernspaltung  
(Freisetzung; umkehrschle Energie d. Reaktionsprodukte + Strahlung)

Energieänderung bei Deformation eines kugelförmigen Kerns  
zu Ellipsoid bei gleichbleibendem Volumen



$$V = \text{const} = \frac{4\pi}{3} R^3$$
$$= \frac{4\pi}{3} a b^2$$

$$a = R(1 + \epsilon)$$

$$b = R(1 + \epsilon)^{1/2} \approx R(1 - \frac{\epsilon}{2})$$

$$\text{Oberflächenenergie: } B_S = a_s A^{2/3} \left( 1 + \frac{2}{5} \epsilon^2 + \dots \right)$$

$$\text{Coulombenergie: } B_C = a_c Z^2 A^{-1/3} \left( 1 - \frac{1}{5} \epsilon^2 + \dots \right)$$

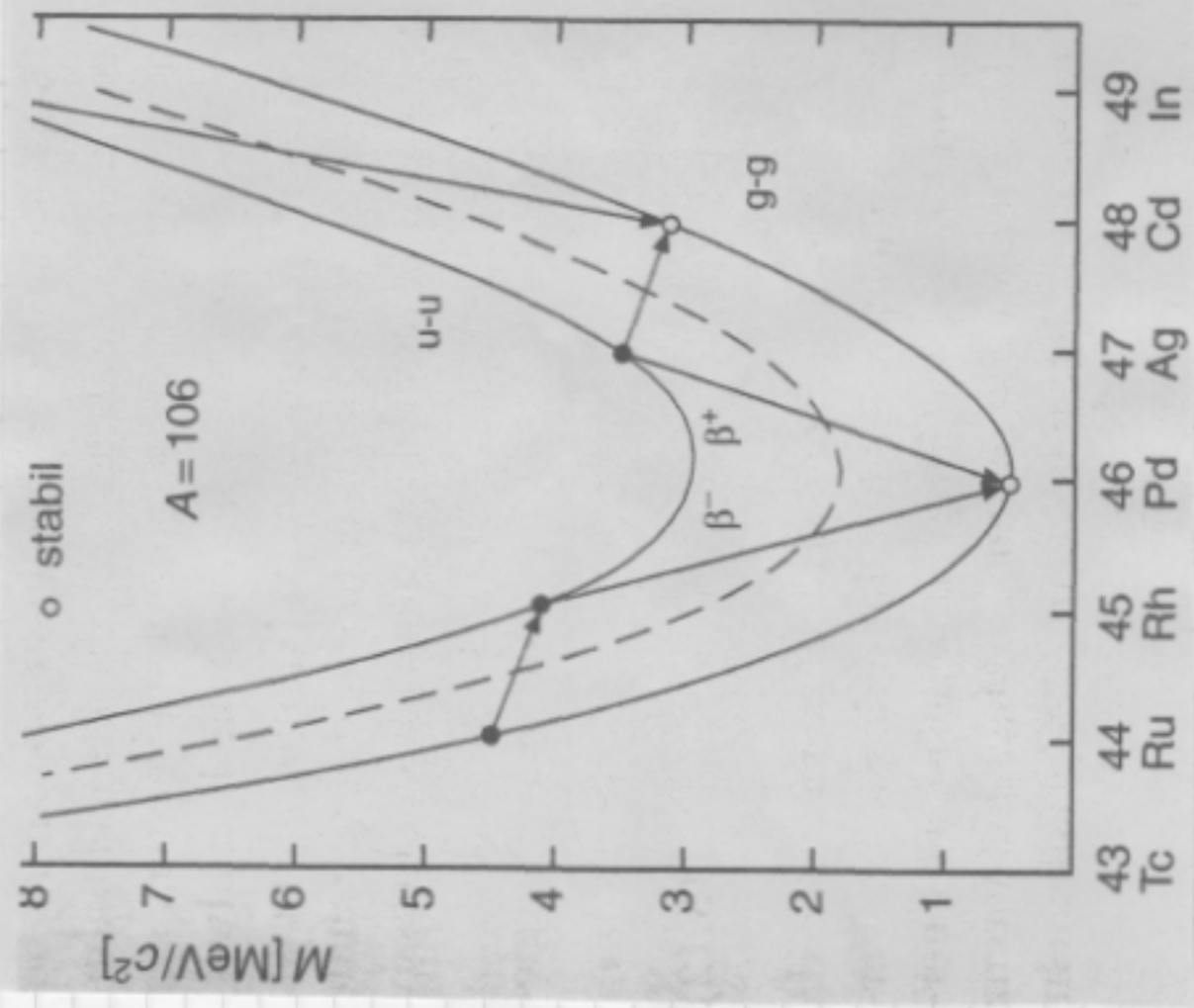
$$\Delta B = B(\epsilon) - B(0) = \frac{\epsilon^2}{5} (2 a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3})$$

(10)

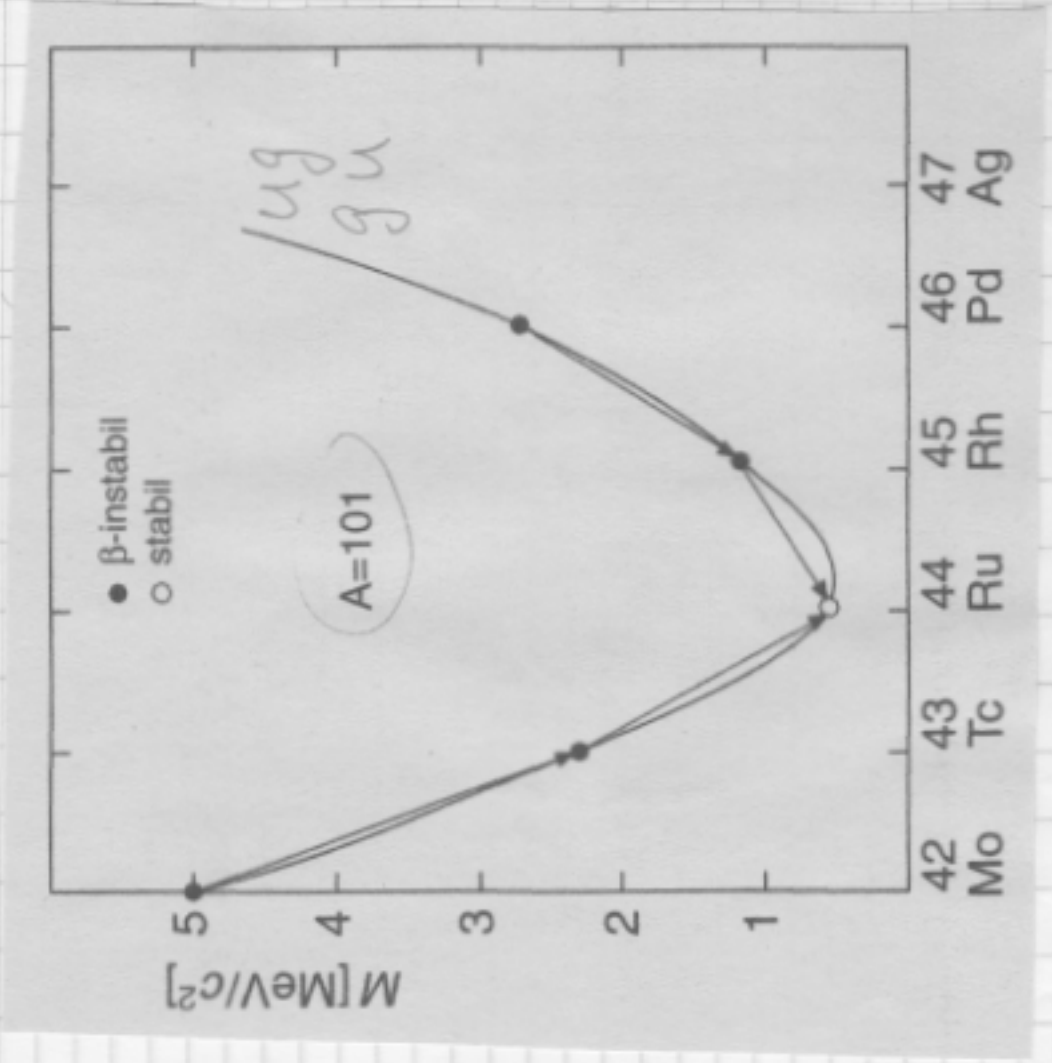
Bei negativen AB gewinnt man bei der Verkaufsmenge.  
Energie. Die Spaltbarriere verschwindet, wenn

$$g_{\text{eff}} : z^2/A > \frac{2as}{ac} \approx 48 \Rightarrow z > 114$$

$$A > 270$$

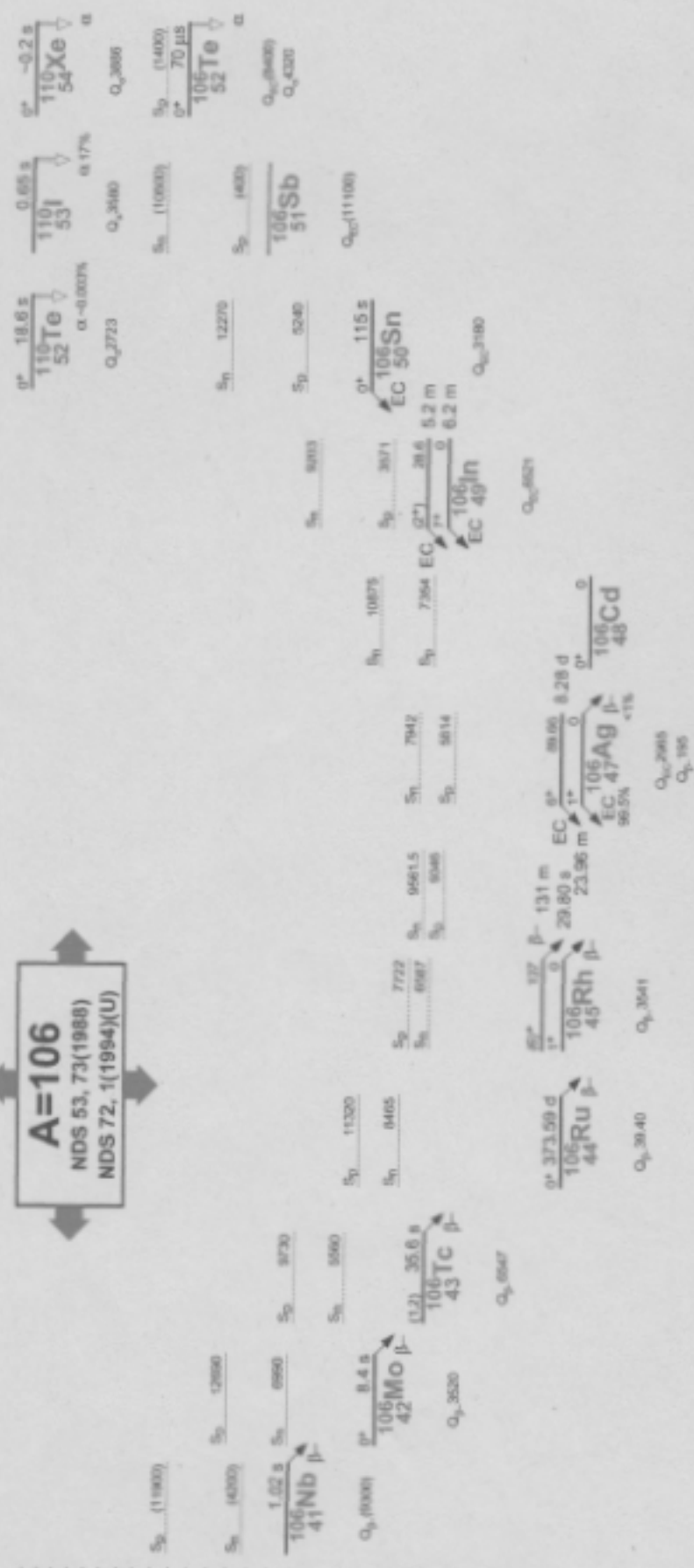


(aus Poth)



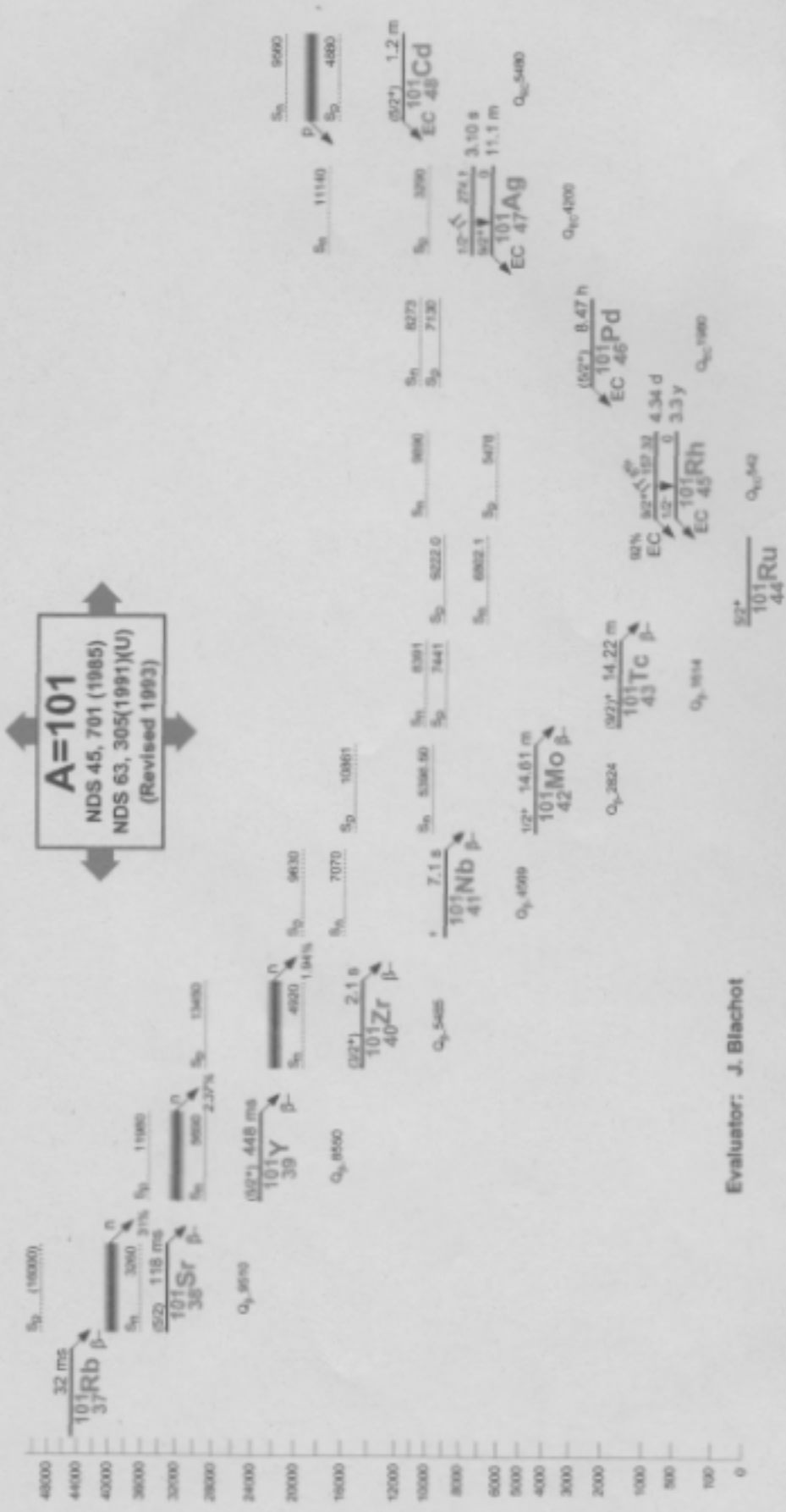
48000  
44000  
40000  
36000  
32000  
28000  
24000  
20000  
16000  
12000  
10000  
8000  
6000  
5000  
4000  
3000  
2000  
1000  
500  
100  
0

**A=106**  
 NDS 53, 73(1988)  
 NDS 72, 1(1994)(U)



Evaluators: D. De Frenne and E. Jacobs

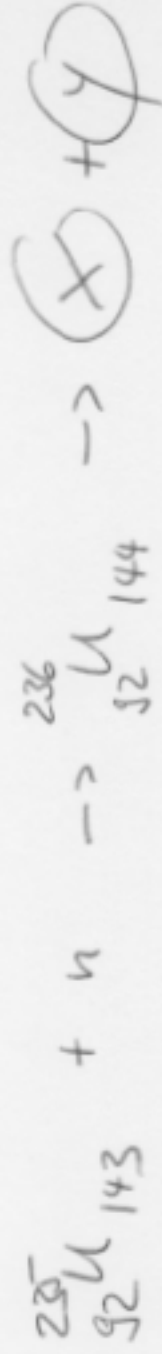
Revised 9/1/85 - KMC



Evaluator: J. Blachot

Ans Table of Isotopes  
Firestone/Shirley (Edts.)

Urausplattung möglich durch n-Absorption:



Energieabsorption durch Bildung von GG-Kern;  
Bei n-Einfang an Kerne mit ungerader Neutronenzahl  
wird wehe Bindungsenergie auch Paaringsenergie frei:

$${}_{92}^{235}\text{U} + n ; \quad \begin{matrix} \text{VF} \\ 6,4 \text{ MeV} \end{matrix}$$

$${}_{92}^{238}\text{U} + n ; \quad \begin{matrix} 4,9 \text{ MeV} \\ 5,5 \text{ MeV} \end{matrix}$$

Spaltung mit  
therm. Neutronen  
möglich  
zusätzliche  
kin. Energie  
notwendig  
"Schnelle Neutronen"

Energiebilanz bei Spaltung

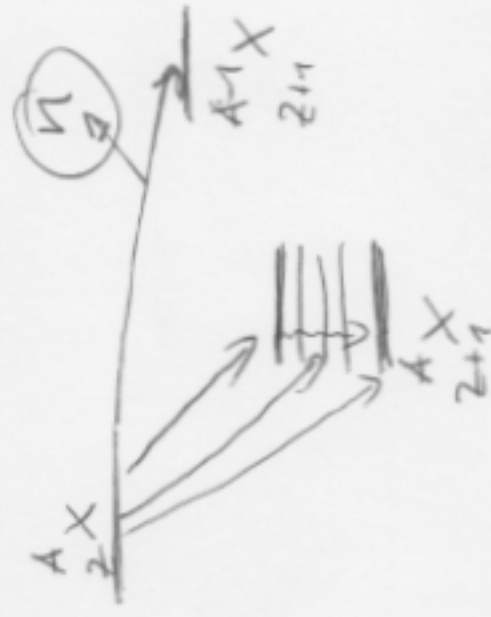
für  $A \geq 200$  ist  $B/A \approx 7,5 \text{ MeV}$

für Spaltprodukte  $B/A \approx 8,5 \text{ MeV}$

$\Rightarrow$  freigesetzte Energie ca.  $200 \text{ MeV}$  / Spaltung  
Neutronenemission ca.  $2,5$  Neutronen / Spaltung

②  
n-Verdampf  $\approx 99\%$   
Zeitskala  $\approx 10^{-13} \text{ s}$

$\beta$ -Verzögerte Neutronen  $\approx 1\%$



Zeitskala  $\approx 8 \mu\text{s}/\text{m}$   
( $\beta$ -Zyklus)

$\Rightarrow$  Regelung v.  
Kernreaktoren!