

Zerfall mit $Z_n, B_p > 0$: "Quasi stabile Kerne"

Kerne mit n -Überschuss (oberhalb mit $Z_n > 0$)

unterhalb des β^- -Zerfalls

$$Z^A \times N \rightarrow Z^{A+1} N^{A-1} + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$\Delta E = \left\{ \underbrace{[M(Z, A) - Z m_e]}_{\text{Masse Mutterkerns}} - \underbrace{[M(Z+1, A) - (Z+1) m_e]}_{\text{Masse d. Tochterkerns}} + m_e \right\} c^2$$

$$= [M(Z, A) - M(Z+1, A)] c^2$$

β^- -Zerfall: falls $M(Z, A) > M(Z+1, A)$

im Inneren des Kerns:

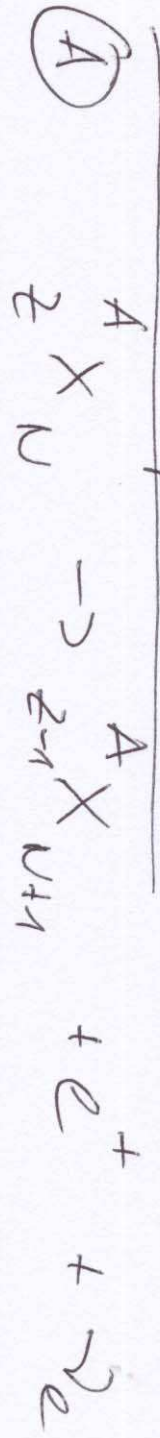
$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$T_{1/2} \approx 15 \text{ min}$$

N.B.: auch das freie Neutron ist ein β^- -Instabiles

Schwache Wechselwirkung für β^- -Zerfall $Q/c^2 = m_n - m_p - m_e = 0,782 \text{ MeV}$

Kerne mit p-Überschuß:



N.B. freie Proton zerfällt nicht über diesen Weg, weil

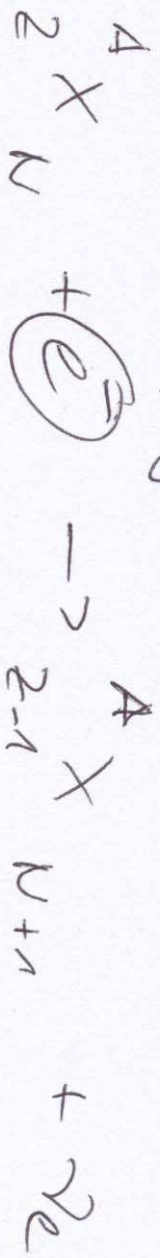
$Q = (m_p - m_n + m_e) c^2 = -1,81 \text{ MeV}$

$\Delta E = \int n(Z, A) - n(Z-1, A) - \underline{2m_e} \int c^2 > 0$

P^+ -Zerfall falls $\Delta E > 0$ bzw.

$n(A, Z) > n(A, Z-1) + \underline{2m_e}$

(B) über Elektronenfang - Electron Capture (EC)



$$\Delta E = \int n(z, A) - n(z-1, A) dz^2$$

$$EC : n(A, z) > n(A, z+1)$$

β^+ - Zerfall u. EC führen auf den selben Tochterkern. Daher β^+ u. Konkurrenz zu EC findet nur dann allein statt, wenn die Massendifferenz zwischen β^+ und EC liegt.

Energiebilanz des β^- - Zerfalls (β^-, β^+, EC)

Zerfälle zwischen Isobaren ($A = const$)

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

mit $\alpha = M_n - \alpha_V + \alpha_S A^{1/3} + \frac{\alpha_A}{4}$

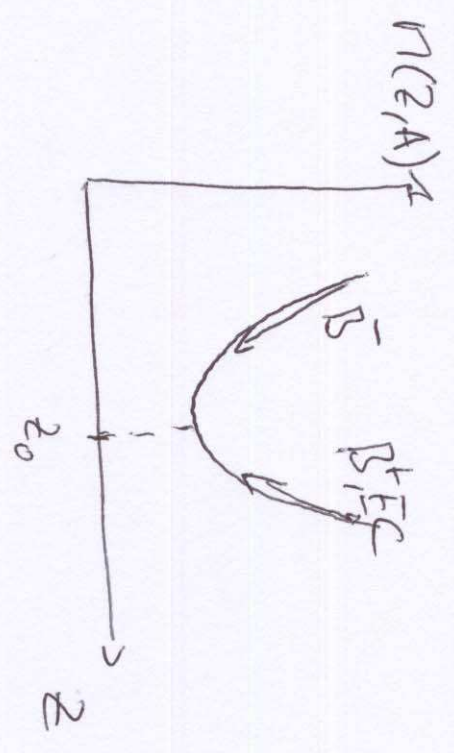
$$\beta = \alpha_a + (M_n - M_p - m_e)$$

$$\gamma = \frac{\alpha_a}{A} + \frac{\alpha_c}{A^{1/2}}$$

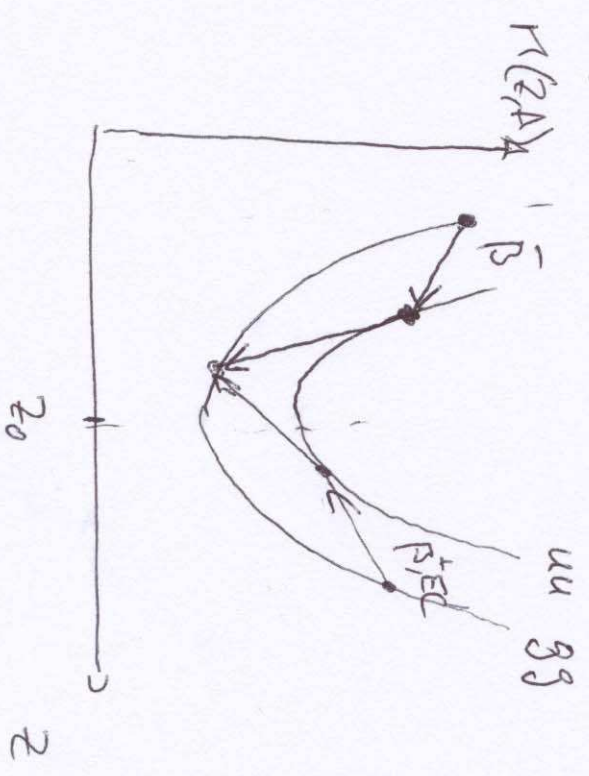
$$\delta = \text{wie oben}$$

$n(z, A)$ ist quadratisch in z

ug/gu Krone: $\delta = 0$



uu-Krone: $+\delta$
 gg-Krone: $-\delta$

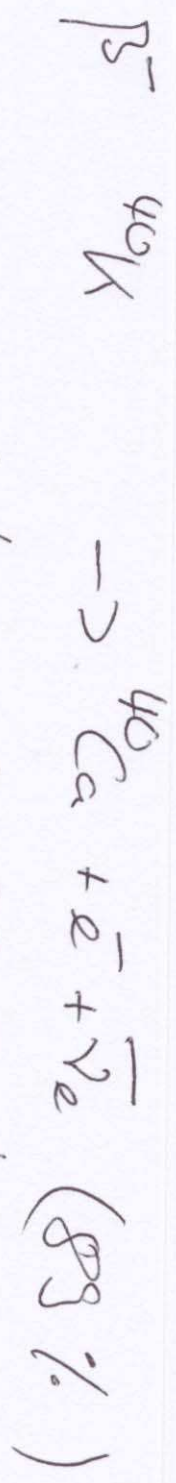
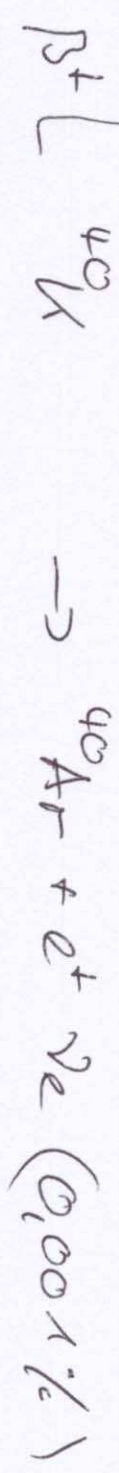
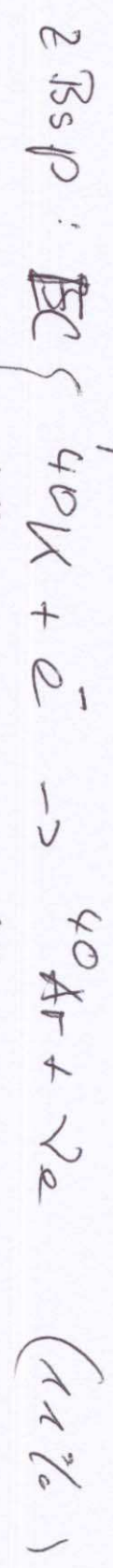


$$\left(\frac{\partial H}{\partial z} \right)_{z_0} = \beta + 2\gamma z_0 = 0$$

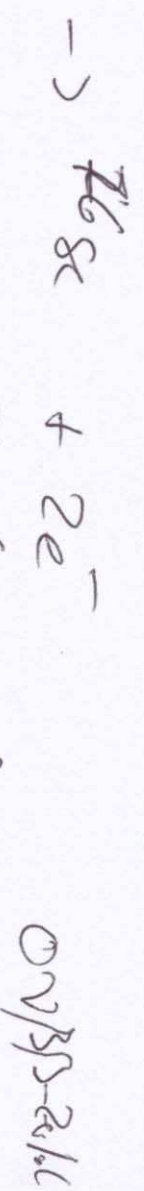
$$z_0 = -\frac{\beta}{2\gamma}$$

Paraxialsnähe $\pm \delta$
 führt zu zwei
 Nasseparabeln:
 eine (ausführlicher)
 für gg-Krone, und eine
 Beschränkte für uu-Krone

Es gibt nu-Kerne, die sowohl als β^- als auch als β^+ -Zerfall unterliegen



• Einig gg-Kerne unterliegen dem $\beta\beta$ -Zerfall

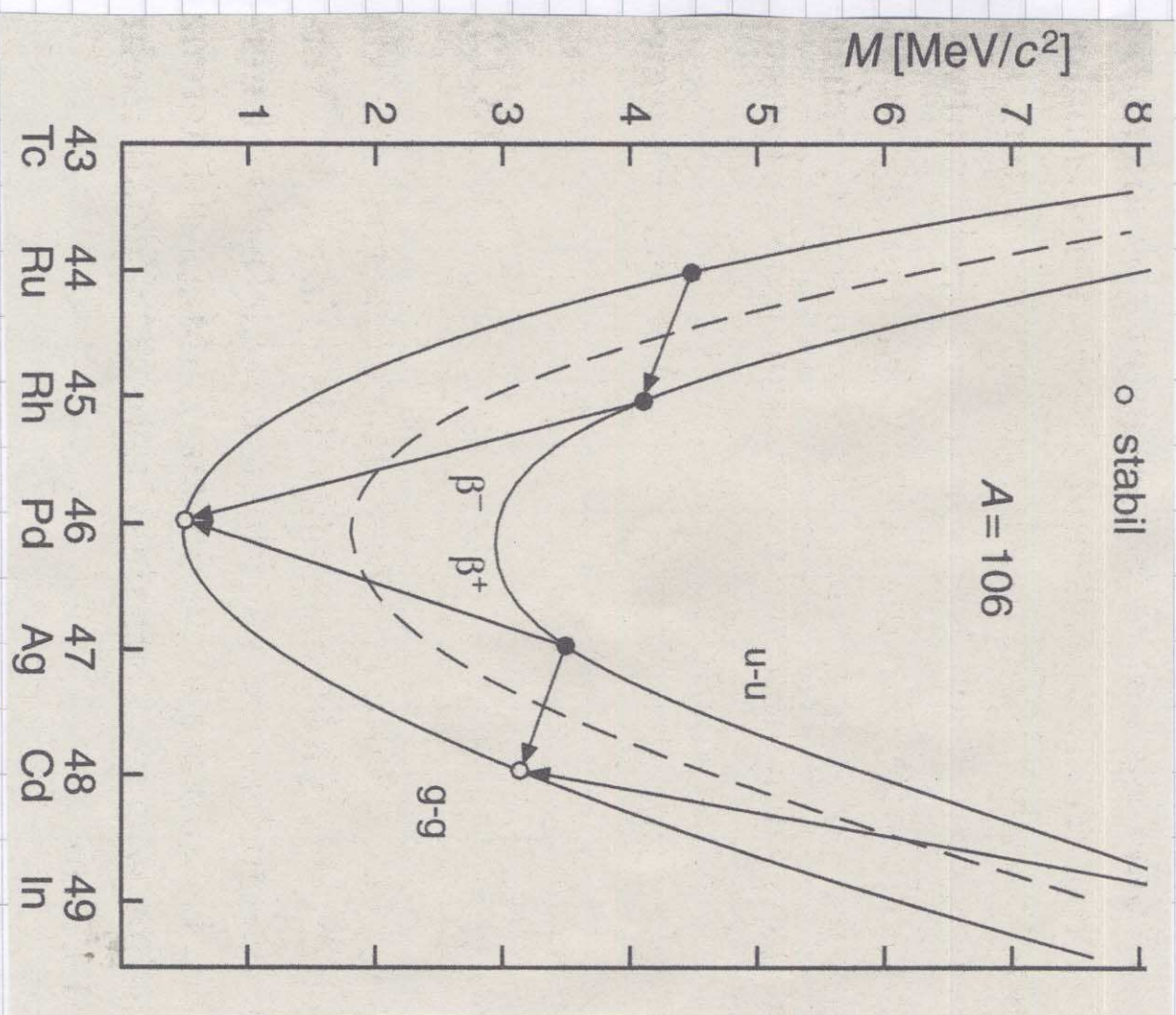
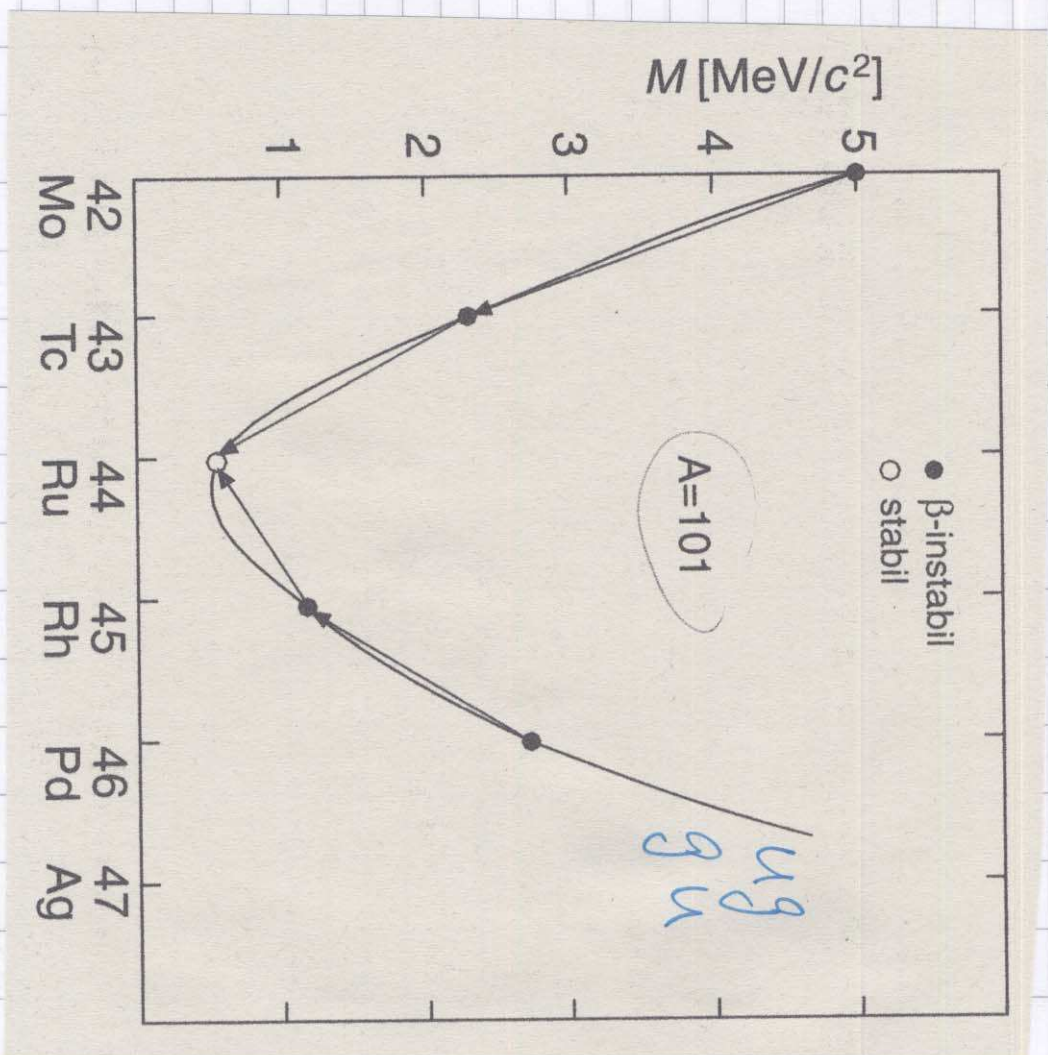


$t_{1/2} (2\nu\beta\beta) \approx 1,7 \cdot 10^{21} \text{y}$ ($\gg T_{\text{univ.}}$)

heißt nicht Nachgrenze!

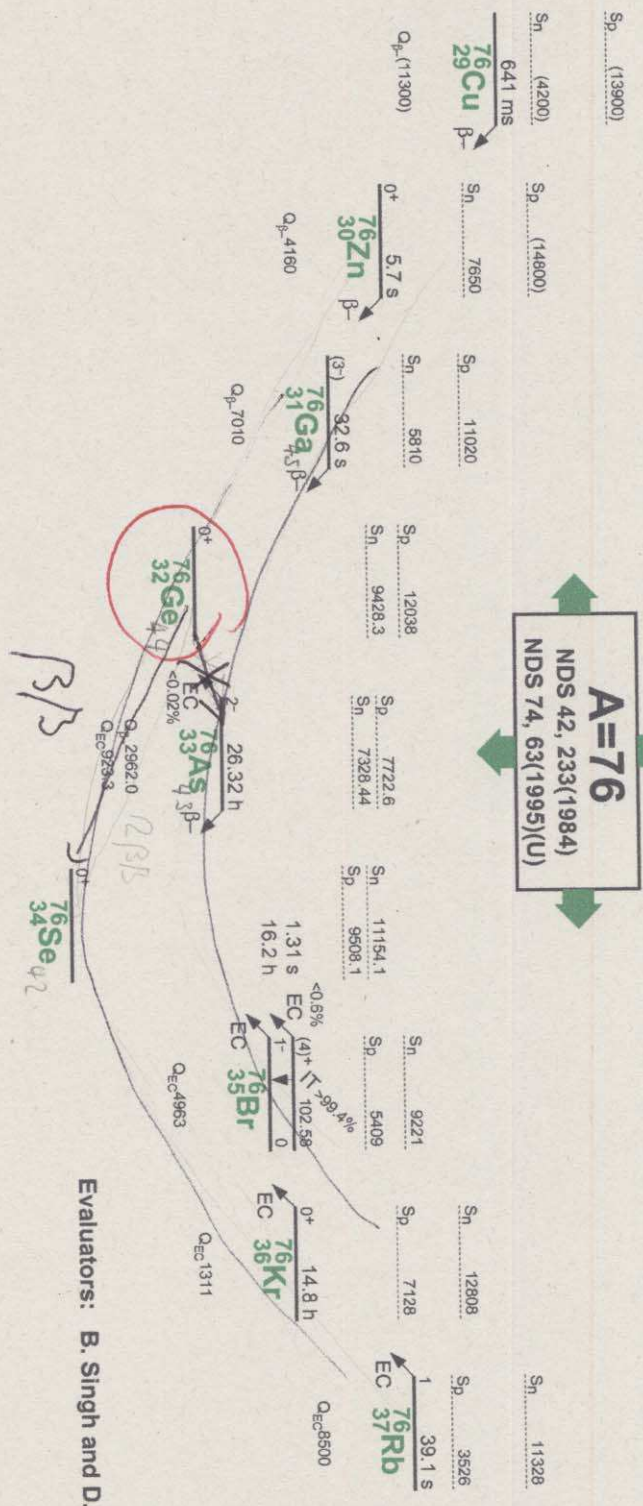
Statistik der stabilen Kerne

Typ	Anzahl	nu:	${}^A_Z\text{X}$
gg	165	2 ${}^4_2\text{He}$	${}^{14}_7\text{N}$
uq	105	6 ${}^1_1\text{H}$	Endgültig gebildet
uu	4	3 ${}^2_3\text{Li}$	gleichzeitige Zahl
		5 ${}^3_2\text{He}$	Von ${}^2_1\text{H}$



(Aus Pavh)

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

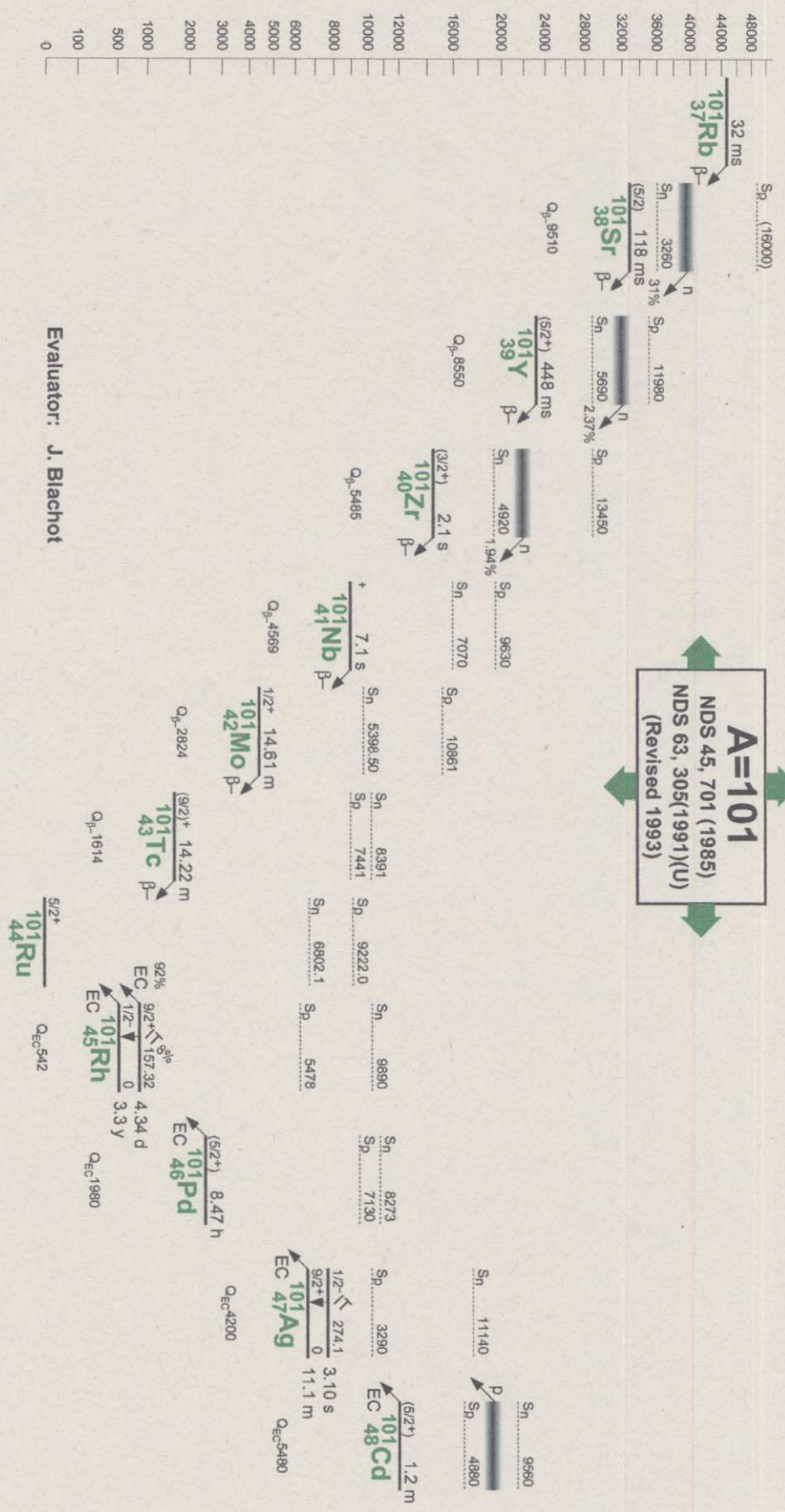


Evaluators: B. Singh and D.A. Viggar

Bergiel uu/gg-kone

46

Reprint gulfug - done

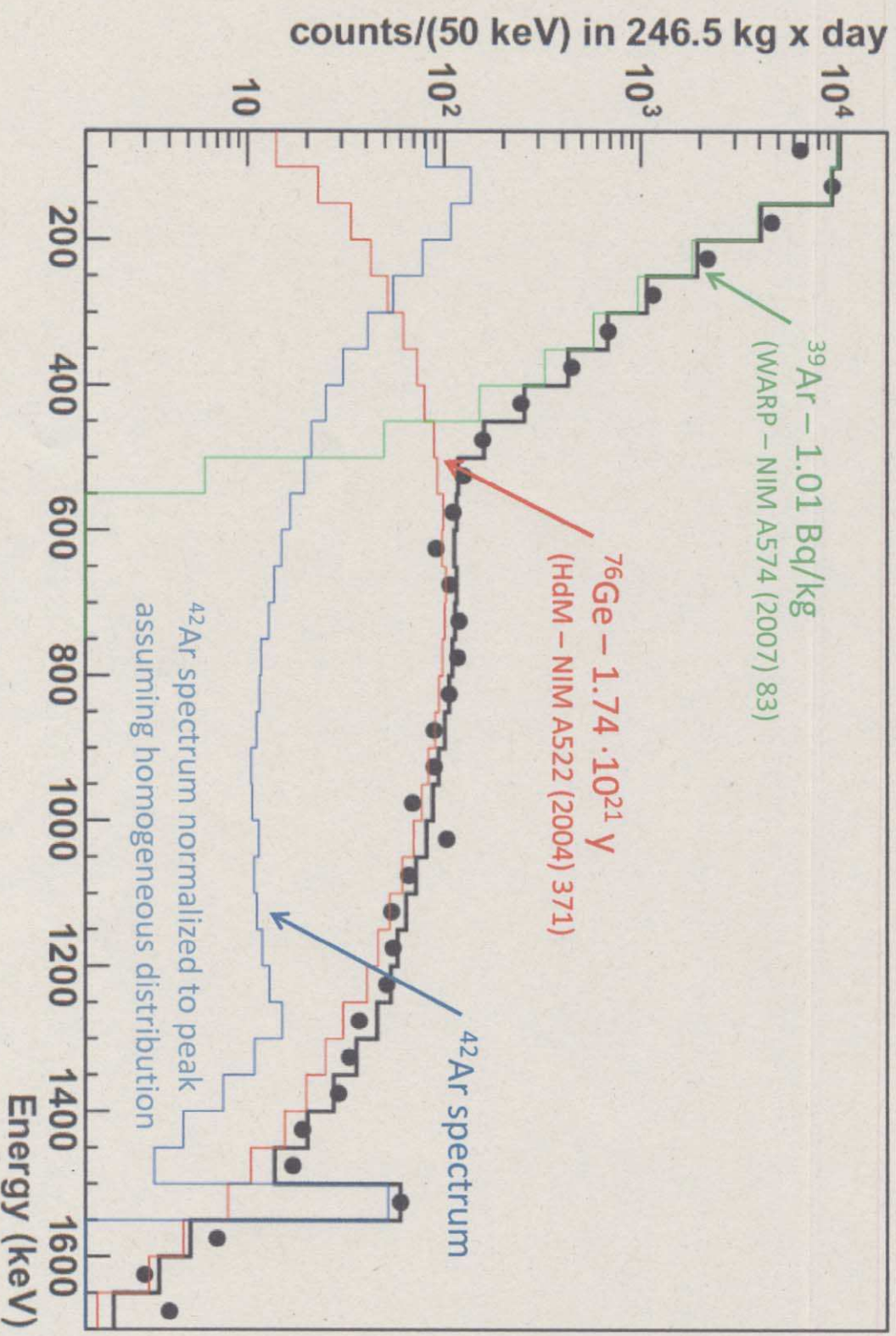


Evaluator: J. Blachot

Our Table of Isotopes
 Firestone/Shirley (Eds.)



Enriched detectors in GERDA: first $2\nu\beta\beta$ spectrum



Alpha-Zerfall:

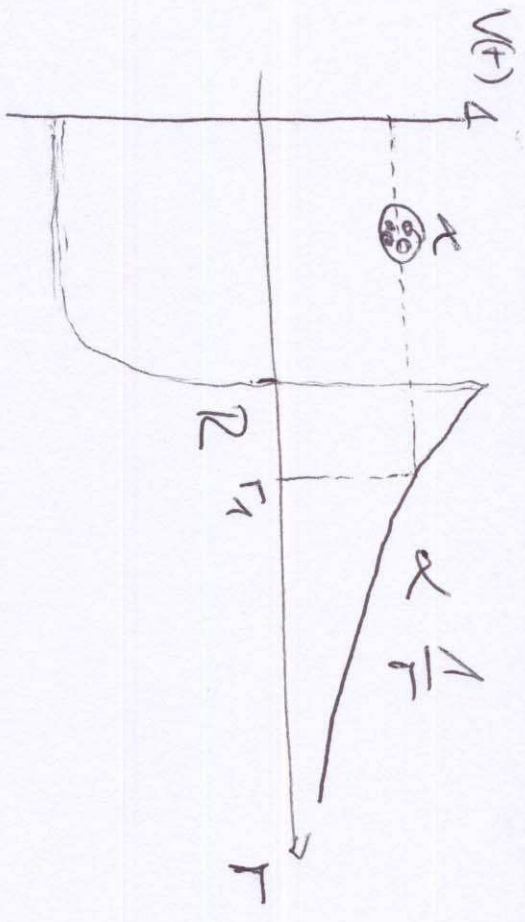
historisch erster entdeckter radioaktiver Zerfallstyp

besteht aus Rassekanal: Vorraussetz. n weitere
Fälle α -Zerfall energetisch möglich ist

$$Q_\alpha = [m(Z, A) - m(Z-2, A-4) - m({}^4\text{He})] c^2$$
$$= 3({}^4\text{He}) + 3(Z-2, A-4) - 3(Z, A)$$

\uparrow
28,3 MeV

$$Q_\alpha > 0 \text{ für alle } A \geq 150$$



QM; Transmission
 durch „dünn“ Potential-
 barriere V der Dicke Δr

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

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

Ausatz für α -Zerfall

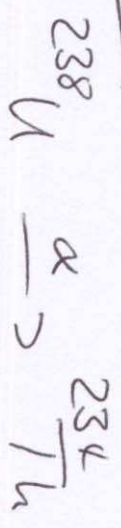
$$T = e^{-2G}$$

(G : = „Gamowfaktor“)

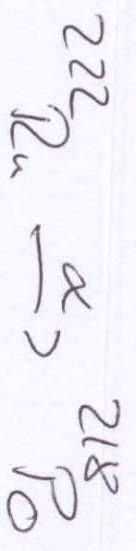
$$\text{mit } G = \int_{R_1}^{R_2} \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} |E - V(r)|} dr$$

Starke Korrelation zwischen Lebensdauer
 und Enzyrie des α -Teilchens bei kleineren mit Vergleichbare
 z.

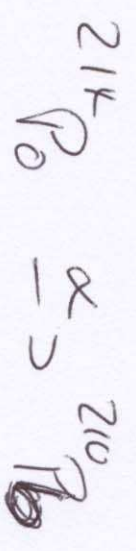
Z. Bsp



$E = 4,27 \text{ MeV}$
 $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$



$E = 5,59 \text{ MeV}$
 $T_{1/2} = 3,8 \text{ a}$



$E = 7,83 \text{ MeV}$
 $T_{1/2} = 164 \mu\text{sec}$

α -Zerfälle

- Kern aus (wahrscheinlich) 2 Protonen & 2 Neutronen (α -Teilchen bildet)

- EN-Wert (Transmissionswahrscheinlichkeit durch Coulombbarriere (QM!))

Kernspaltung

(9)

Energieerisetzung möglich für leichte Kerne über Fusion, für schwere Kerne ($Z \geq 40$) über Kernspaltung.

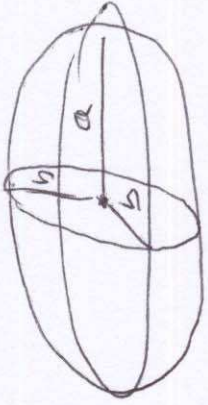
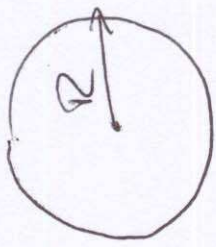
(Fission): kinetische Energie d. Reaktionsprodukte
W20. Inverse Kinetiksystem (\rightarrow EN, Teilreaktion)

W20Zähler - Formel (Plausibilitätsbeurteilung)

Volumen (hant. Dichte), Asymmetrien - und Paarungen
bleibe konstant. Bei Deformation

- 1) Coulombenergie (unntas)
- 2) Oberflächenergie (unnt zu)

Energieänderung bei Deformation eines
Kugel förmigen Kerns n zu einer Ellipsoid
bei gleichem Leichteilervolumen.



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

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

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

$$\text{Oberflacheenergie: } B_S = a_s A^{2/3} (1 + \frac{2}{5} \epsilon^2 + \dots)$$

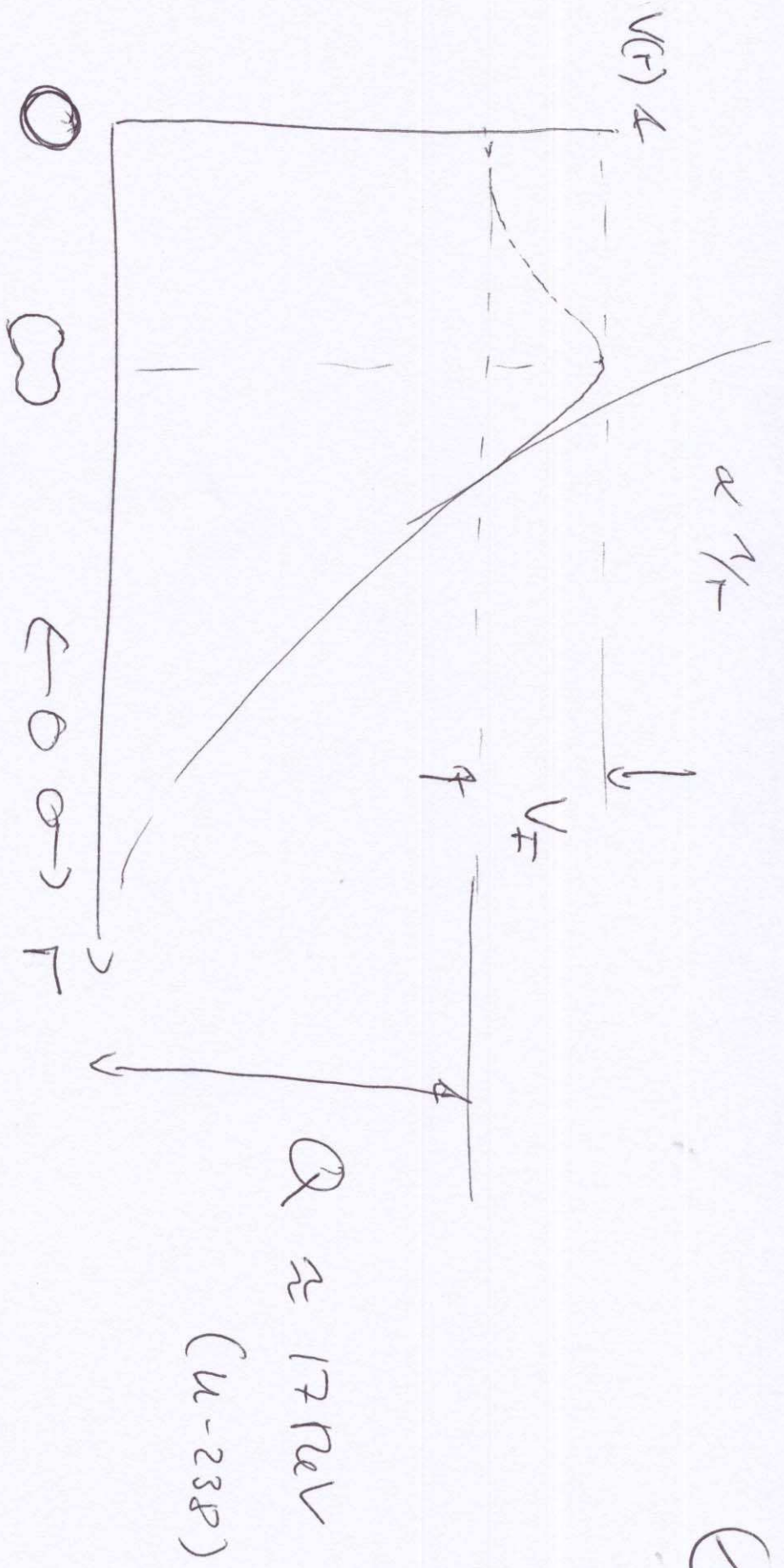
$$\text{Coulombenergie: } B_C = a_c Z^2 A^{-1/3} (1 - \frac{1}{5} \epsilon^2 + \dots)$$

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

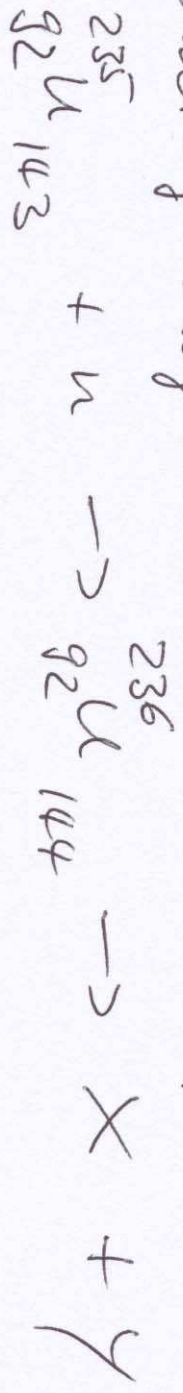
Bei negativem AB gewinnt man bei Variation Energie

Spaltbarriere verschwindet, wenn gilt

$$\frac{Z^2}{A} \geq \frac{2a_s}{a_c} \approx 48, \Rightarrow Z > 114 \text{ und } A > 270$$



Umspaltung möglich durch n-Absorption



Energieabgabe durch Bildung von 99 Neutronen!

Bsp n-Einfang an Uranium

Neutronenzahl wird nahe Bromiszahl zusätzlich

Parallelschaltung frei

B V_F

235 $U + u$: 6,4 Rev 5,5 Rev

Spaltzug ist
charakteristische
Merkmale
möglich

238 $U + u$: 4,9 Rev 5,5 Rev

Zusätzlich
benötigt man
WR-Energie
d. Neutronen

=> "schnelle Neutronen"

Energiebilanz bei Spaltung

für $A \geq 200$ ist $B/A \approx 7,5$ Rev

" Spaltprodukte $B/A \approx 8,5$ Rev

=> freierwandelnde Energie ca 200 Rev / Spaltung

Neutronenemission ca. 2,5 n / Spaltung

n-Verdampfung $\approx 33\%$ Zeitstufen $\sim 10^{-13}$ s

β -Verzögerung $\approx 1\%$ u. schon WW : gel-min

=> Regelung v. Kernreaktoren!