

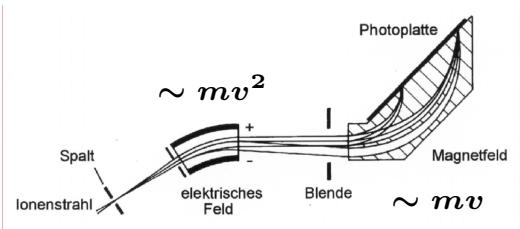
## • Bindungsenergie

= Energie, die notwendig ist um den Kern in seine Bestandteile zu zerlegen

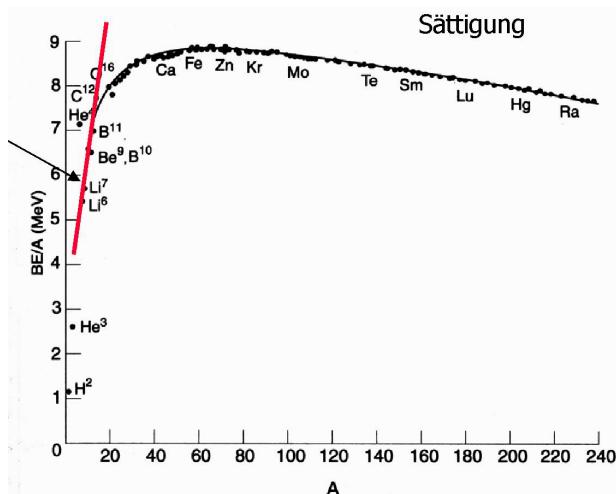
$\Leftrightarrow$  Definition über die Atommassen (genauere Messung!)

$$B(Z, A) = \{Z \cdot M(^1H) + (A - Z) \cdot M_n - M(A, Z)\} \cdot c^2$$

$M(A, Z)$ : Masse des Atoms  $\rightarrow$  messen!



## • Experimentell bestimmte Bindungsenergien



Weizsäcker-Massenformel:

$$\begin{aligned} M(A, Z) = & NM_n + ZM_p + Zm_e \\ & -a_v A + a_s A^{2/3} + a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} \\ & + a_a \frac{(N-Z)^2}{4A} + a_p \frac{\delta}{A^{1/2}} \end{aligned}$$

$\rightarrow$  Tafel .... weiter mit Coulomb-Term

80

## Neutron Separationsenergie

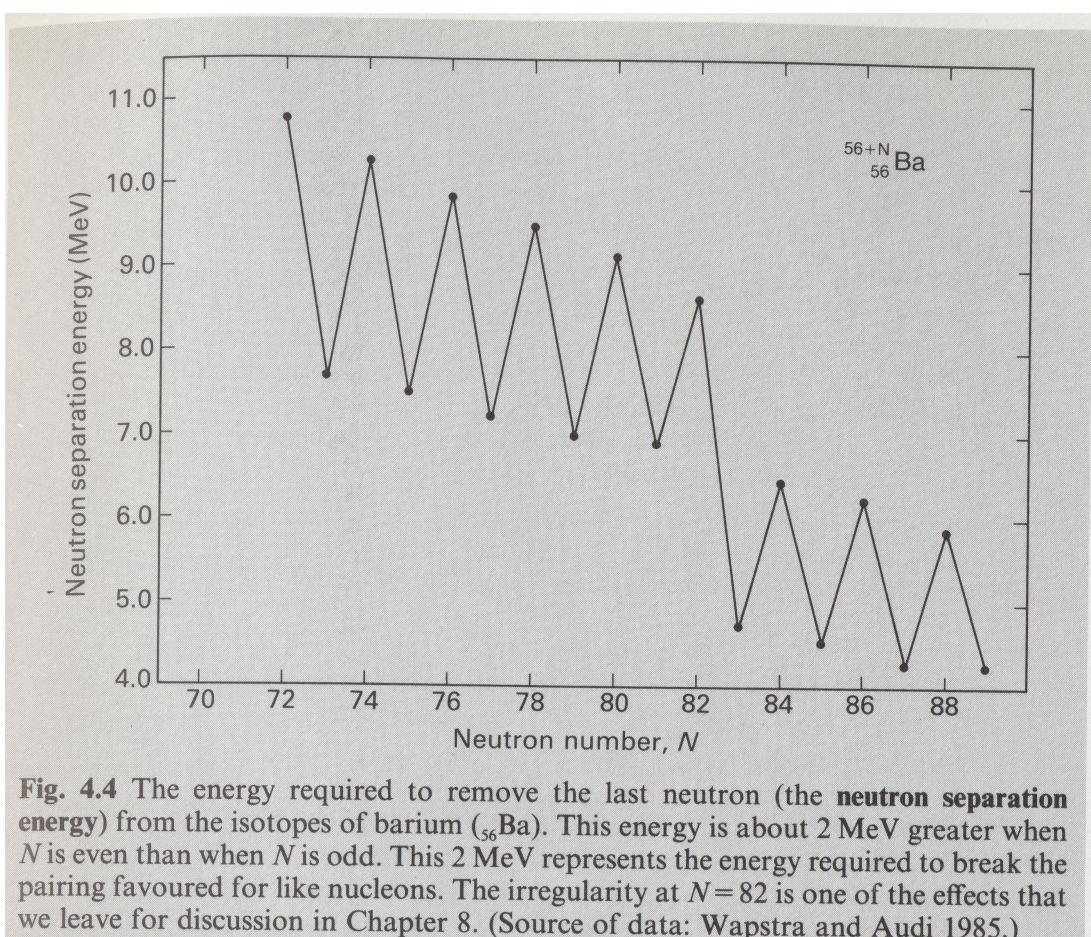


Fig. 4.4 The energy required to remove the last neutron (the neutron separation energy) from the isotopes of barium ( ${}_{56}^{56}\text{Ba}$ ). This energy is about 2 MeV greater when  $N$  is even than when  $N$  is odd. This 2 MeV represents the energy required to break the pairing favoured for like nucleons. The irregularity at  $N=82$  is one of the effects that we leave for discussion in Chapter 8. (Source of data: Wapstra and Audi 1985.)

81

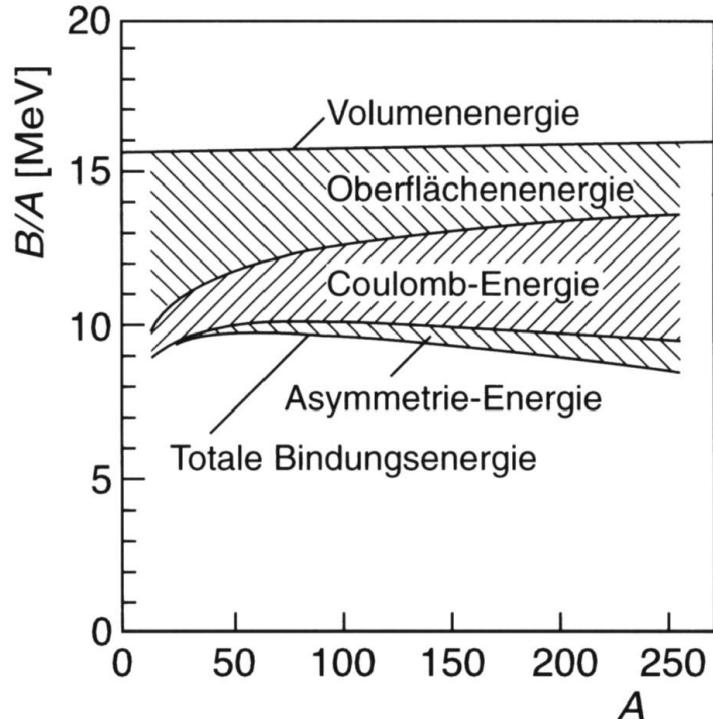
# Beiträge zur Bindungsenergie

$$M(A, Z) = NM_n + ZM_p + Zm_e$$

$$-a_v A + a_s A^{2/3} + a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} + a_a \frac{(N-Z)^2}{4A} + a_p \frac{\delta}{A^{1/2}}$$

$a_v = 15.67 \text{ MeV}/c^2$   
 $a_s = 17.23 \text{ MeV}/c^2$   
 $a_c = 0.714 \text{ MeV}/c^2$   
 $a_a = 93.15 \text{ MeV}/c^2$   
 $a_p = 11.2 \text{ MeV}/c^2$   
 $\delta = +1/-1 \text{ oder } 0.0$   
uu/gg- , ug/gu-Kerne

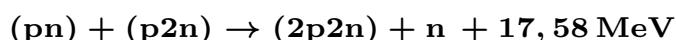
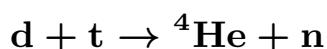
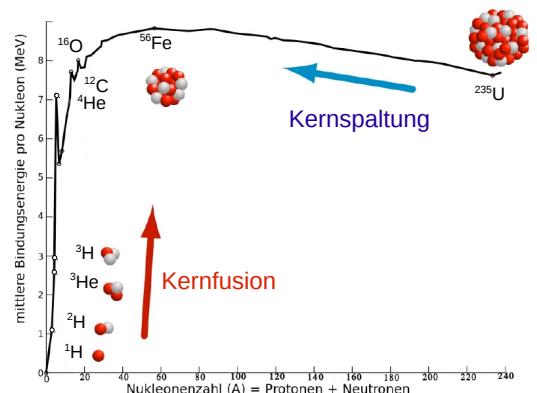
Tröpfchenmodell :  
Nur 5 Parameter !



82

## Bindungsenergien - Schlussfolgerungen

- Kerne um Fe am stärksten gebunden  
= höchste Energie erforderlich, um den Kern in seine Bestandteile (Nukleonen) zu zerlegen
- Energie wird frei beim Übergang in ein stärker gebundenes System
- ⇒ **Kernfusion**  
**Verschmelzen von leichten Kernen zu schwereren Kernen**



- ⇒ **Kernspaltung**  
**Energie wird frei bei der Spaltung von schweren Kernen**
- $${}_{92}\text{U} \rightarrow {}_{36}\text{Kr} + {}_{56}\text{Ba} + 200 \text{ MeV}$$
- kinetische Energie
- ⇒ **Radioaktivität**  
**Umwandlung von Kernen in stabile Nuklide**

Spaltung, Zerfälle, (Fusion)  
... etwas später in der Vorlesung

83

Beiträge zur Bindungsenergie (Weizsäcker Massenformel)  $B(A,Z)$ :

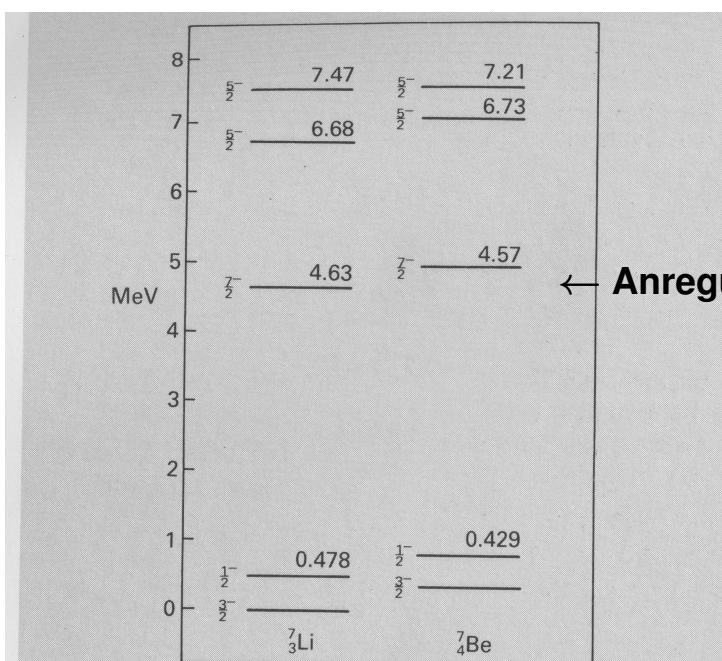
- A abhängig
- Asymmetrieterm  $\sim \frac{(N-Z)^2}{A}$
- $\Leftrightarrow p$  und  $n$  gleich behandelt
- Ausnahme: Coulombterm  $\sim Z^2$ : elektromagnetische WW
- $\Rightarrow$  Kernkraft: ladungsunabhängig
- pp -WW = nn -WW bzgl. der starken Kraft

$\Leftrightarrow$  Spiegelkerne (= Paare von Kernen mit  $A_1 = A_2$  und  $N_1 = Z_2, Z_1 = N_2$ )

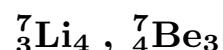
84

## Ladungsunabhängigkeit der Kernkraft $\Leftrightarrow$ Isospin

---



Bsp. (1):



3p 4n , 4p 3n

Anregungsniveaus im Kern

$\Leftrightarrow$  sensitiv auf die Kernkraft

$\Rightarrow$  Energieniveaus fast identisch

- identische Anzahl von n-p-Paaren  
Asymmetrie-Term  $\frac{(N-Z)^2}{A} = \frac{(1)^2}{A}$  ist identisch
- ${}^7_3\text{Li}_4$  : 3pp, 6nn Paare  
 ${}^7_4\text{Be}_3$  : 3nn, 6pp Paare  
 $\Rightarrow nn \hat{=} pp$ -Kraft  
(Ladungssymmetrie -starke WW.)

Fig. 9.10 The ground and first few excited states of the mirror nuclei  ${}^7\text{Be}$  and  ${}^7\text{Li}$ . Their energy levels differ only by the effects of the Coulomb term in the mass formula and of the neutron-proton mass difference. The mass scale gives the nuclear mass based on zero for the nucleus  ${}^7\text{Li}$ . The numbers on each level give the spin-parity  $j^P$  and the excitation above the ground state in mega-electron-volts. A pattern of analogous states is clear.

- Spiegelkerne:  $\Rightarrow nn \doteq pp$ -Kraft (Ladungssymmetrie)
- Paarungsterm: gg-Kerne besonders stabil  
- auch keine Unterscheidung zwischen p und n
- Brechung der Symmetrie durch Coulomb-Wechselwirkung  
(= elektromagnetische WW, nicht starke WW!)
- keine Information über p-n-Kraft  
(im Vergleich zu pp, nn)

Bsp. (2):  $^{14}\text{C}_8$ ,  $^{14}\text{N}_7$ ,  $^{14}\text{O}_6$

(Spiegelkerne:  $^{14}\text{C}_8 \leftrightarrow ^{14}\text{O}_6$ )

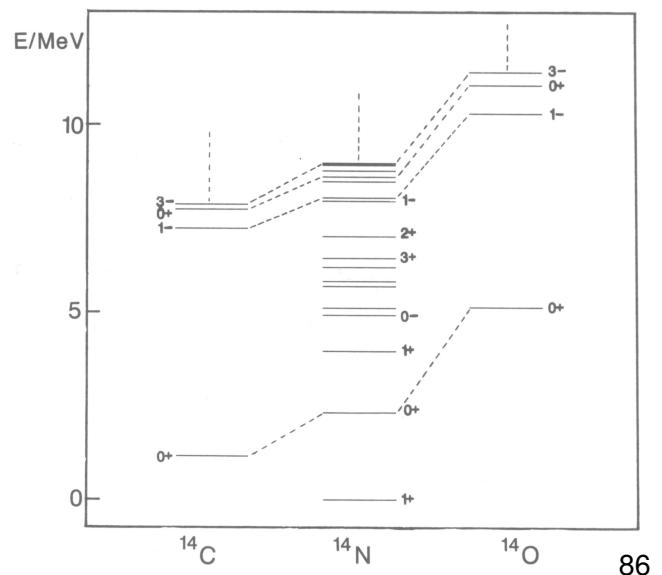
### Beobachtung:

#### Triplet von Zuständen

- ähnlich in Quantenzahlen  $J^P$ , Energie
- beob. Verschiebung  $\leftrightarrow$  Coulomb

#### Singlett Zustände:

- nur in  $^{14}\text{N}_7$
- = zusätzliche Energieniveaus im Spektrum



86

- Singlett-, Triplet-Zustände  
Wie kann man sie verstehen?

.... Tafel ....