

Das Atom und seine Bausteine

Elektron

1837 (Thomson) : Kathodstrahl ; Träger negative
Elementarladung

1810 (Millikan) : Bestimmung a. Elementarladung

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$m_e = 511 \text{ eV}/c^2$$

Proton : (Rutherford) : positive Ladungsträger
und räumlich stark konzentriert

Neutron (Rutherford) : Beschuss von Stickstoff mit
 α -Teilchen, \Rightarrow positiv geladene
Teilchen mit großer Reichweite
 ${}^{14}\text{N} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{17}\text{O} + \text{p}$

Ladungszahl Z : Zahl d. Protonen im Atomkern

(2)

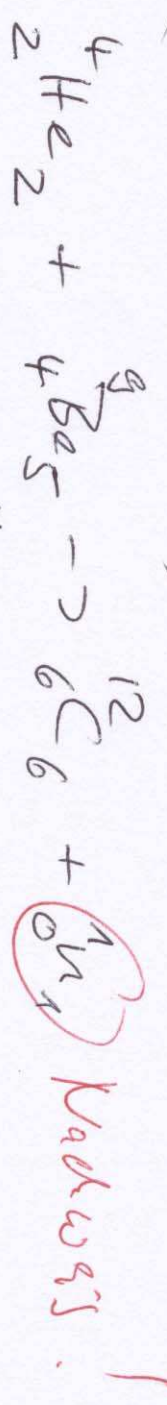
Bestimmung von Z :

Röntgenröhre für die von L -Schale zur K -Schale; Messung d. Frequenz

$$E(K) = \frac{1}{2} \times m_e c^2 (Z-1)^2$$

$$\text{mit } \alpha = \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

Neutron: (Chadwick 1932)



Machdowis über Rückstoß an P :
 $n + P \rightarrow n + P$

Aus Stoßgesetze: $m_n \approx m_p$

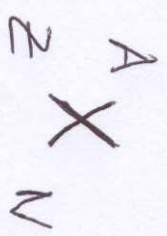
Werte: $m_p = 938.272 \text{ MeV}/c^2$

$m_n = 939.565 \text{ MeV}/c^2$) ??

Massenzahl A

Z Anzahl der Protonen im Kern
N " " Neutronen "

$$A = Z + N$$



Isobare : Kerne mit gleicher Massenzahl A

Isotope : " " " " " " Ladungszahl Z

Isotone : " " " " " " Neutronenzahl N

Massen Defekt

$$M\left({}_Z^A X_N\right) < \left[Z M(H) + N M_n \right] c^2$$

$$M(H) = m_p + m_e$$

v.B. Bindungsenergie des Edelgases (18, 6 eV)
vernachlässigt!

Bindungsenergie B des Kerns, $B = \Delta m c^2$

Differenz d. Summe der Ruhemasse aller Bestandteile
u. des ges. Kerns

$$B(Z, A) = \left[Z M(H) + (A - Z) M_n - M(A, Z) \right] c^2$$

Separationsenergie

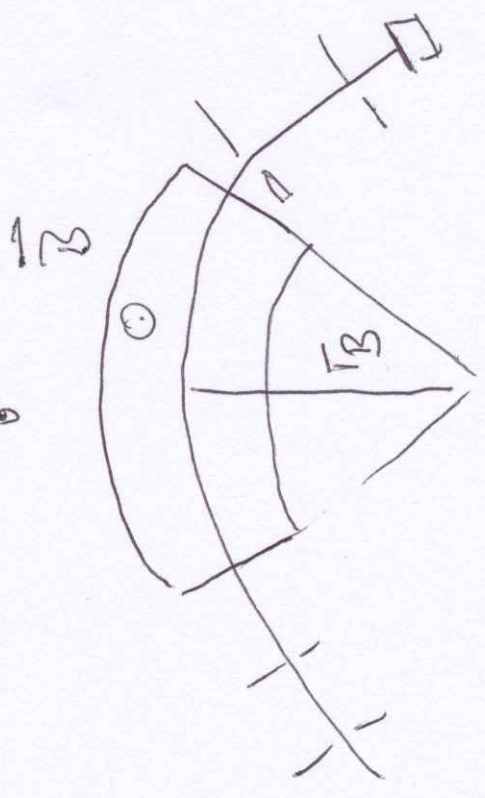
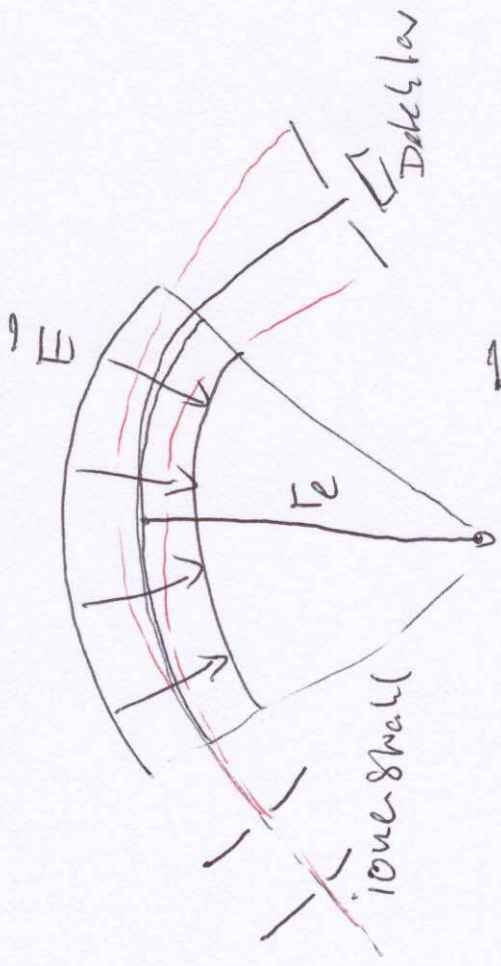
Energie, um 1 Nucleon(p) von Kern zu entfernen

$$S_n = \left[M(Z, A-1) - M(Z, A) + M_n \right] c^2 \\ = B(Z, A) - B(Z, A-1)$$

Wichtig ist die Separation der Ionen für das Proton definiert

$$S_p = B(z, A) - B(z-1, A-1)$$

Massenspektrometrie



$$Q \cdot |\vec{E}| = \frac{mv^2}{r_e}$$

$$r_e = \frac{m v^2}{Q E} \propto E^{-1/2}$$

Energie Selektion

$$Q |\vec{v}| B = \frac{mv^2}{r_b}$$

$$r_b = \frac{m v}{Q B} \propto p$$

Impuls Selektion

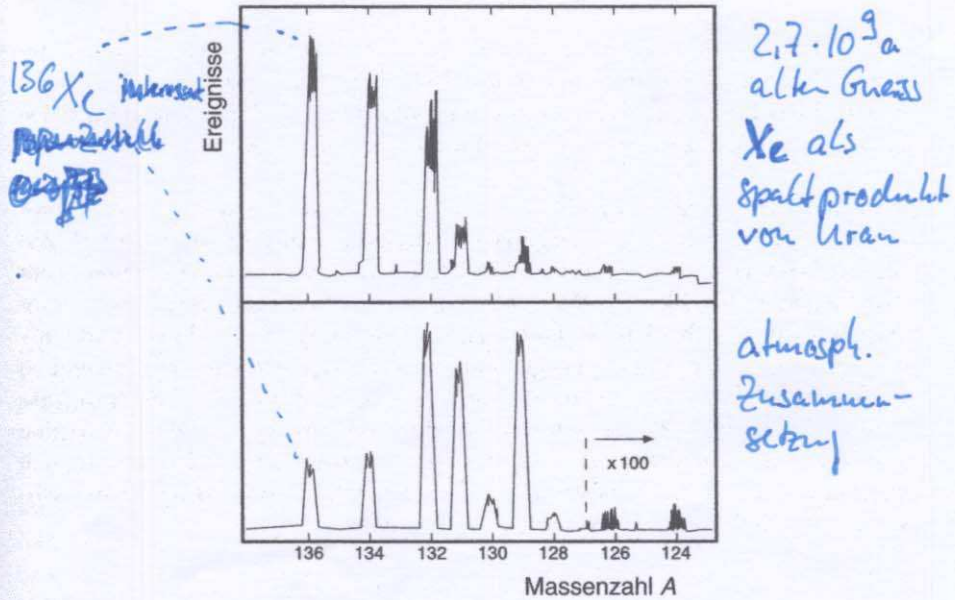


Abb. 2.3. Massenspektrum von Xenon-Isotopen, in ca. $2.7 \cdot 10^9$ Jahre altem Gneiss aus einem Bohrkern von der Halbinsel Kola (oben) im Vergleich zu dem Spektrum der atmosphärischen Zusammensetzung der Xe-Isotope (unten). Die Xe-Isotope des Gneisses sind durch spontane Spaltung von Uran entstanden. (Dieses Bild hat uns Klaus Schäfer, Max-Planck-Institut für Kernphysik, freundlicherweise zur Verfügung gestellt.)

Z.Zeit: Ar aus Erdgasquellen: ~~...~~

$$[^{39}\text{Ar}]_{\text{Erdgas}} \approx \frac{1}{100} [^{39}\text{Ar}]_{\text{nat}}$$

aus
Pohl, Ritt,
Scholz, Zetsche
S. 116.

(4)

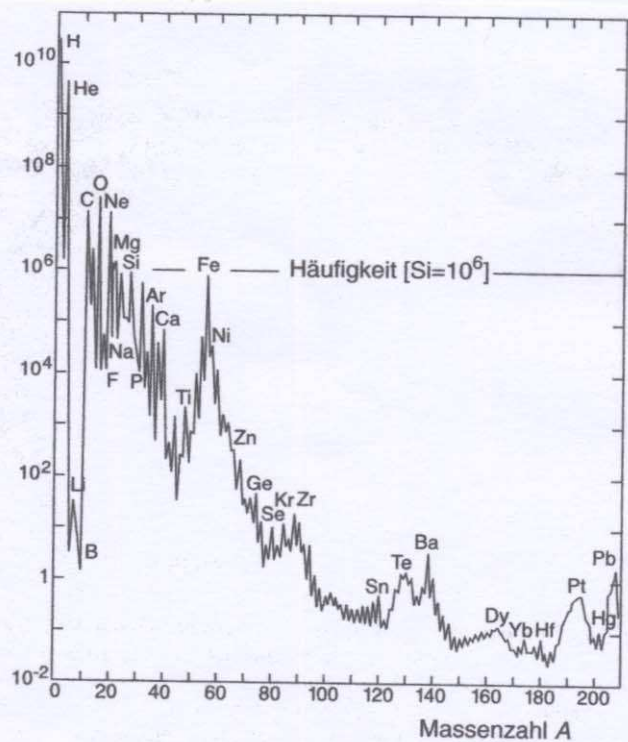


Abb. 2.2. Häufigkeit der Elemente im Sonnensystem als Funktion der Massenzahl A. Die Häufigkeit des Siliziums wurde auf 10^6 normiert.

modernes Massenspektrometer: E und B

6

Höchstgenauigkeit mittels Atomlose Falle \Rightarrow Penningfalle

$\Rightarrow \underline{\underline{eV}}$

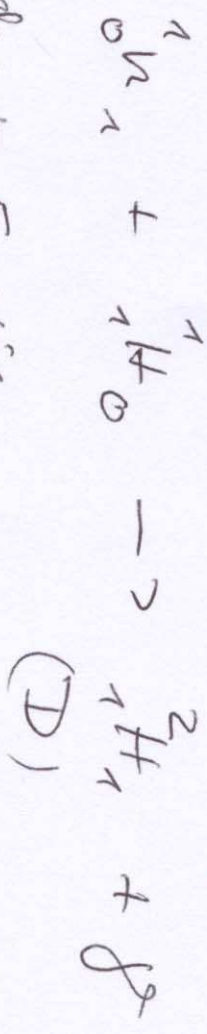
Massenelastisch geringfügig: Massenstandard ^{12}C

$$1u = \frac{1}{12} M_{^{12}\text{C}} = 931,494 \text{ MeV}/c^2 = 166054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Massenbestimmungen durch Kernreaktionen

Brindley'sche Methode des Detektors:

Thermische Neutronen ($E_{\text{kin}} \approx 25 \text{ meV}$) n -Einfang in H



Messung der γ -Energie

$B = E_\gamma + E_{\text{Rückstoß}}$

$E_\gamma = (M_n + M_H - M_{2H}) c^2 -$

B

$\frac{E_\gamma^2}{2M_{2H}c^2}$

Rückstoßenergie

$$B = P_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$$
$$E_R = \frac{P_B^2}{2M_D} = \frac{E_\gamma^2}{2M_D c^2}$$

$$B(Z=1, A=2) \stackrel{?}{=} E_f = 2,225 \text{ ne}^5$$

(7)

N.B. Rückstoßbeispiel vernachlässigbar $\approx 10^{-3}$

Methode erschwerend relevant für keine Technik keine!

Weitzäcker Masseformel (1935)

$$M(Z, A) = Z(m_p + m_e) + N m_n - \frac{B(Z, A)}{c^2}$$

gibt keine Auskunft darüber was die Kernzusammensetzung!

Empirischer Ansatz in exp. Befund $B(Z, A)$ zu beschreiben

• B/A nahezu konstant für große Werte von A

\Rightarrow Reichweite d. Kernkraft konstant (in Nukleonabstand)

\hookrightarrow ansatzweise $\propto A(A-1)$ sein $\approx A^2$

\Rightarrow "Sättigung", führt zu konstanter Dichte von $A \propto R^3$

$$B_V(Z, A) = a_v \cdot A \quad (\Rightarrow) \frac{R \propto A^{1/3}}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen} & \quad \text{Summe } 0,17 \text{ Nukleonen / fm}^3 \\ & = 3 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

• Oberflächenenergie:

Für Kugeln an der Oberfläche ist die Bragg-Energie relevant.

$$B_S \propto R^2 \cdot A^{2/3}$$

$$B_S = -a_s \cdot A^{2/3}$$

• Coulombenergie: Elektrische Abstößung der Protonen

man kann nicht zu weiten Reduzierung d. Bragg-Energie

$$B_C = -\frac{3}{5} \frac{(eZ)^2}{R} \approx -a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}}$$

• Asymmetrieenergie: im Coulomb-Abstoß durch

die Kernkraft teilweise zu kompensieren
kürzer Schwere Kerne Reaktion an

$$B_A = -a_a \frac{(N-Z)^2}{4A}$$

• Paarungssystem: Brueckensanalyse wird Sprunghöhe (9)

Es wiederholt, wenn für eine gerade Zahl von $p(u)$ mit zwei Werten $p(u)$ aufgeführt wird

$$B_p = \pm \delta \frac{1}{\sqrt{A}} \quad \delta = \begin{cases} -11,2 \text{ meV/c}^2 & \text{für } g\text{-Leere} \\ 0 & \text{für } u\text{g-Leere} \\ +11,2 \text{ meV/c}^2 & \text{für } u\text{-Leere} \end{cases}$$

$$\Rightarrow H(A, Z) = N H_N + Z H_p + Z m_e -$$

$$\left(\underline{a_V} A - \underline{a_S} A^{2/3} - \underline{a_C} \frac{Z^2}{A^{1/2}} - \underline{a_Q} \frac{(N-Z)^2}{4A} + \frac{\delta}{A^{1/2}} \right) \cdot \frac{1}{c^2}$$

Wobei: $a_V = 15,67 \text{ meV/c}^2$

$a_S = 17,23 \text{ "}$

$a_C = 0,714 \text{ "}$

$a_Q = 93,15 \text{ "}$

$\delta =$ siehe oben

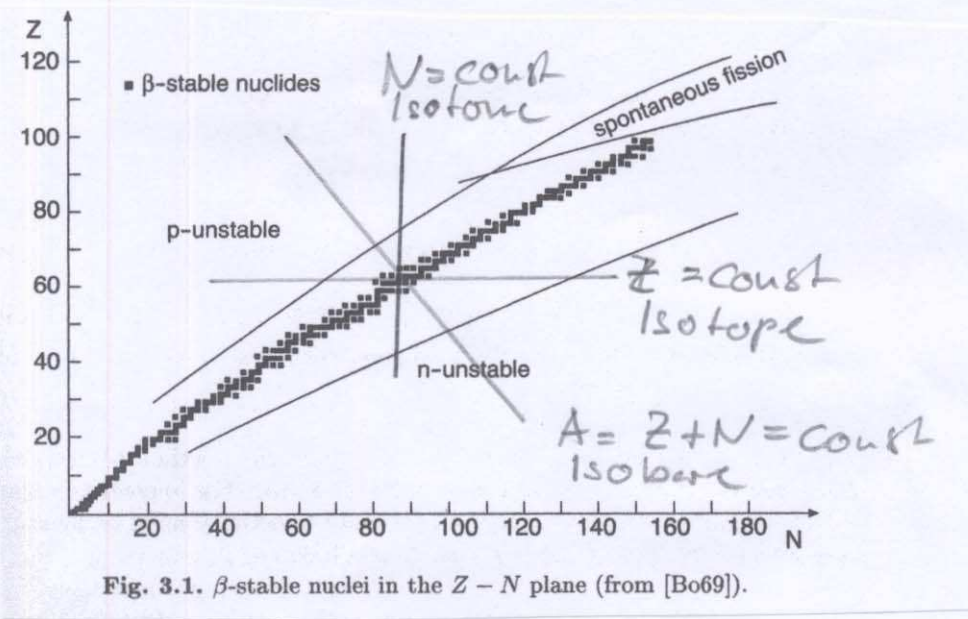


Fig. 3.1. β -stable nuclei in the $Z - N$ plane (from [Bo69]).

- Für leichte Kerne ist $N \approx Z$ wg. Asymmetriekern
- Für schwere Kerne wird Coulomb. Abstoßung groß und $N > Z$
- $B_N < 0$ für großen Neutronenüberschuss \Rightarrow n-Emission (n-unstable)
- $B_p < 0$ für Protonen ebenso

Fig. 27
 Ausschnitt aus der Kartirher Nuklidkarte. Stabile Kerne sind schwarz gezeichnet mit Angabe der Isotopenhäufigkeit und des Einfangquerschnitts für thermische Neutronen. Unterhalb der stabilen Kerne befinden sich die β^- -Strahler, oberhalb die β^+ -Strahler. Angegeben sind Halbwertszeit und wichtigste Zerfallsenergie (Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung des Kernforschungszentrums Karlsruhe, s. [See 741].)

