

4.1.3 Elektronen

Atome bestehen aus einem Kern und der Elektronenhülle. Das Elektron trägt die negative Elementarladung e . Der Kern des Wasserstoffatoms ist das Proton (p).

Bei der Ionenbindung (z.B. NaCl) gibt das Natrium ein Elektron an das Chlor Atom ab, es wird zum Na^+ -Ion, das Cl zum Cl^- -Ion. Bindung aufgrund der elektrischen Anziehung. In der Elektrolyse wird diese Bindung aufgebrochen. Aus der Atomtheorie folgt das Grundgesetz der Elektrolyse: Zum Abscheiden einer bestimmten Stoffmenge ist immer die gleiche Elektrizitätsmenge nötig (Faraday). Für einfach geladene Ionen gilt

$$Q_F = N_A e \quad (150)$$

mit $Q_F = 9.64853 \cdot 10^7 \text{ C/kmol}$.

Direkter Beweis für Elektronen: Kathodenstrahl in Gasentladungen. Die Masse der Teilchen im Ionenstrahl und Kathodenstrahl kann gemessen werden. Definition: Atomare Masseneinheit $u = 1.66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Dann gilt: $m_p = 1.00728u$, $m_e = 5.486 \cdot 10^{-4}u$, also $9.1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Damit ergibt sich $M_r(H) = 1.00782$. Mit $N = N_A \nu$ wird N_A zu

$$N_A = \frac{1 \text{ kg}}{u \text{ kmol}} = 6.022 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1} \quad (151)$$

berechnet. Ebenso liegen jetzt die Elementarladung

$$e = \frac{Q_F}{N_A} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (152)$$

und die Boltzmannkonstante

$$k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = 8.617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K} \quad (153)$$

fest.

4.1.4 Energiebilanzen

Bei der Verbrennung wird Wärmeenergie frei. Die vollständige Reaktionsgleichung (121) lautet dann z.B.



mit $\Delta Q = 2.99 \cdot 10^5$ kJ/kmol. Die scheinbare Verletzung des Energiesatzes wurde durch A. Einstein erklärt. Die Wärmeenergie ΔQ entspricht einem Massendefekt ΔM . Jedes Teilchen der Masse m hat eine Ruheenergie E_0 ,

$$W_0 = mc_0^2 . \quad (155)$$

Das H_2O Molekül ist leichter als 2 H-Atome und ein O-Atom,

$$\Delta M = 2M_H + M_O - M_{H_2O} . \quad (156)$$

Mit

$$\Delta W = \Delta M c_0^2 = \frac{\Delta Q}{N_A} \quad (157)$$

folgt $\Delta W = 3.1$ eV, wobei die atomare Energieeinheit

$$1\text{eV} = 1.6022 \cdot 10^{-19}\text{Ws} \quad (158)$$

benutzt wurde.

4.1.5 Atome und Kerne

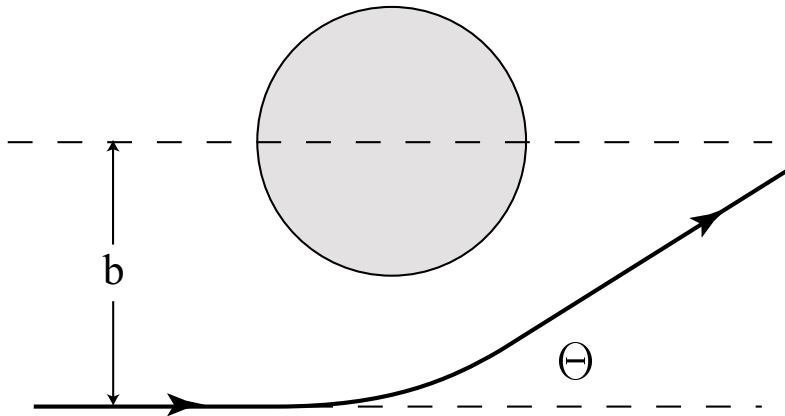


Abbildung 28: Prinzip des Streuexperiments von Rutherford.

Die Elektronenhülle eines Atoms besteht aus Z Elektronen. Die Z negativen Elementarladungen werden durch die positive Ladung Ze des Kerns kompensiert. Z ist der Ordnungsparameter des Periodensystems, da die chemischen Eigenschaften eines Elements nur von Z abhängen. Die Massenbestimmung der Atome und des Elektrons zeigen, daß die Masse eines Atoms im Kern konzentriert ist. Aus den Streuexperimenten von Rutherford (Abb. 28) folgt, daß der Kern sehr klein ist. Für kleine Ablenkwinkel eines Teilchens der kinetischen Energie W_{kin} und der Ladung e zeigt eine einfache Rechnung

$$\Theta = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 W_{\text{kin}} b} . \quad (159)$$

In der allgemeinen Formel wird die linke Seite durch $\tan \Theta/2$ ersetzt. Aus der Analyse der Streuwinkel, lassen sich also Z und $R_K = b_{\min}$ bestimmen, wobei sich Kernradien R_K von einigen fm ergaben ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$!).

Demgegenüber sind die Radien der Atome sehr groß. Als harte Bälle sind sie in einem festen Körper dicht gepackt. Mit

$$\frac{N}{V} = \frac{\rho}{M_r u} = \frac{\varepsilon}{V_0} \quad (160)$$

folgt für das Volumen V_0 , das von einem Atom eingenommen wird

$$V_0 = \frac{\varepsilon M_r u}{\rho} , \quad (161)$$

worin ε ein empirisch zu ermittelnder Füllfaktor ist ($\approx 1/2$). Für Kupfer ergibt sich daraus $r_A \approx 0.11 \text{ nm}$. Dies ist die typische Skala aller Atomradien.

Die Betrachtung des Periodensystems zeigt, daß bei den leichten Kernen ($Z = 2..8$) die Relation $M_r = 2Z$ relativ gut erfüllt ist, für höhere Z wird das Verhältnis M_r/Z deutlich > 2 . Wegen $M_r/Z \geq 2$ müssen im Kern weitere Teilchen enthalten sein. Der Kern ist aus den Nukleonen Neutron und Proton zusammengesetzt. Die Masse des neutralen (!) Neutrons wurde zu $m_n = 1.67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ bestimmt, also $m_n > m_p$. Im Bereich der Atom- und Kernphysik ist es besser, nur mit den Ruheenergien zu rechnen, also

uc_0^2	931.49 MeV
$W_{0,p}$	938.27 MeV
$W_{0,n}$	939.56 MeV
$W_{0,e}$	0.511 MeV

Die Anzahl A der Nukleonen ist offensichtlich durch

$$A = N + Z , \quad (162)$$

gegeben, wobei hier N die Anzahl der Neutronen im Kern bezeichnet. Die meisten Elemente haben mehrere Isotope, d.h. Kerne mit gleichem Z (gleichen chemischen Eigenschaften!) aber verschiedenem N . Kennzeichnung: ${}^A_Z\text{Symbol}_N$. Beispiele Wasserstoff ${}^1_1\text{H}_0$, Deuterium ${}^2_1\text{H}_1$, ${}^{12}_6\text{C}_6$, ${}^{238}_{92}\text{U}_{146}$. Das Symbol N wird oft weggelassen. Die Gesamtenergie (Masse) eines Atoms wird dann durch

$$W = ZW_{0,p} + NW_{0,n} + ZW_{0,e} - W_K - W_A \quad (163)$$

festgelegt, worin W_K die Bindungsenergie der Nukleonen im Kern und W_A die Bindungsenergie der Elektronen im Atom ist. Wegen $W_A \approx 15.7Z^{7/3} \text{ eV}$ wird diese meist vernachlässigt. Für ${}^{12}_6\text{C}$ gilt nach Definition $W = 12uc_0^2$, also $W_K = 92,3 \text{ MeV}$. Die Bindungsenergie/Nukleon im Kern beträgt etwa 8 MeV verglichen mit

10 eV Bindungsenergie/Elektron der äußeren Elektronen im Atom. Mit der Wahl von $^{12}_6\text{C}$ als Vergleichsmasse gilt $M_r = A$ mit einer Genauigkeit im Promillebereich für alle nicht zu leichten Isotope. Aus den gemessenen Bindungsenergien (Abb. 29) erkennt man, daß es für schwere Kerne (Uran) günstiger ist in zwei leichte überzugehen (Kernspaltung). Die Kernspaltung erfolgt i.a. nicht spontan, sondern durch Beschuß mit Neutronen. Für 2 Deuteriumkerne ist es günstig, zu Helium zu verschmelzen (Fusion). Zur Überwindung der Coulombabstoßung müssen die Kerne hohe kinetische Energien haben.

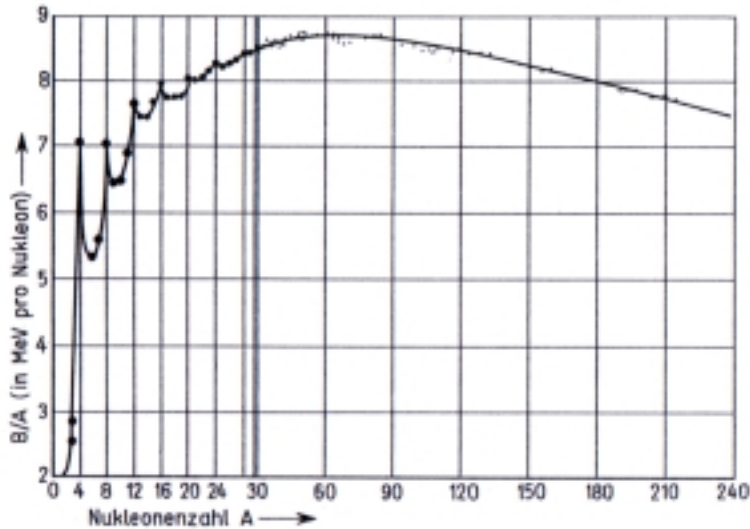


Fig.10 Bindungsenergie pro Nukleon als Funktion von A für stabile Kerne; nach [Eva 55]. Abszisse bis A = 30 gespreizt

Abbildung 29: Verlauf der Bindungsenergie von Kernen.

Die hohen Bindungsenergien können nicht elektromagnetischen Ursprungs sein. Die Kernkraft ist stark (Bindungsenergie) und kann so die elektrische Abstoßung der Protonen kompensieren. Ohne Neutronen wären die meisten Kerne instabil. Die Kernkraft ist kurzreichweitig und kann damit kompakte Kerne aus Nukleonen aufbauen. Mit $V_K = AV_p$ folgt

$$R_K = A^{1/3} r_p \quad (164)$$

mit einem Protonradius von $r_p = 1.3$ fm.