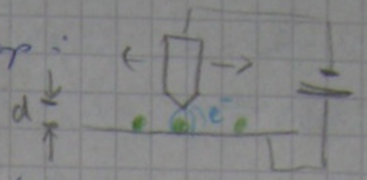
Experimentalphysik IV

Michael Kopp

April 27, 2010

22.4.'10 Andere Art: Rastertunnelmikroskop:

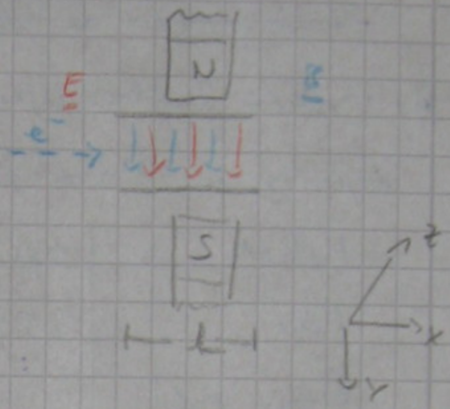
$$I = I_0 \cdot e^{-d/d_0}$$



Um I konstant zu halten muss d variiert werden

1.2.2 Atommassen

(1) Massenspektroskopie



$\underline{E}$, $\underline{B}$-Feld kollinear angeordnet

$(\hat{\underline{E}} = \hat{\underline{B}})$; oBdA beide in y-Richt.

$$\ddot{y} = \frac{eE}{m} \Rightarrow y = \frac{1}{2}\frac{eE}{m}t^2$$

Fliegt das Teilchen mit v: $t_0 = L/v$:

Energiefilter $$\Delta y = \frac{1}{2}\frac{eE}{m} L^2/v^2 \quad \propto 1/T$$ (reziprok prop. zur kinetischen Energie)

Das B-Feld zwingt auf eine Kreisbahn:

$$\underline{F} = e \cdot (\underline{v} \times \underline{B}) \qquad \underline{F} \propto \underline{e}_z \Rightarrow F_z = evB \equiv \frac{mv^2}{r}$$

$$\Rightarrow r = \frac{mv}{eB}$$

Mit $a_z = v^2/r = \frac{eBv}{m}$. Für kurze Verweildauer im B-Feld ist $a_z = a_z$ (Zentripetalbeschl. ≈ Beschl. nach z):

Impulsfilter $$z \approx \frac{1}{2} a_z t^2 = \frac{1}{2}\frac{eBv}{m} \cdot L^2/v^2 = \frac{1}{2}\frac{eB L^2}{mv} \quad \propto 1/p$$ (rezipr. prop. zum Impuls)

Damit: $$y = \frac{2E}{e^2B^2}\frac{m}{L} z^2 \Rightarrow y \propto z^2$$

Die Formen auf dem Schirm sind Parabeln, da die Geschw. der Teilchen stets verschieden nicht einheitlich ist.

Moderne Massenspektrometer: • Fokussierende E, B-Felder. Die Parabeln werden dann fokussiert. • Quadrupol-

27.4.'10 Spektrometer: Arbeiten nicht mit statischen E, B-Feldern.

(2) Ergebnisse (bei bekannter Ladung)

Atom	Atomgewicht / 10^{-27} kg
^1H	1,67342
^{35}Cl	58,0628
^2H	3,344
^{37}Cl	61,37529

⇝ Massendefekt $m(^2H) < m(^1H)$

⇝ $E_{Bind} = \Delta m \cdot c^2$.

(b) Großtechnische Trennung von Isotopen

- Elektrochemische Trennung : 35 g ^{35}Cl → 1 mol 27.4.10

→ 96485 C nötig, um $^{35}Cl^-$, $^{37}Cl^-$ -Ionen zu elektrolysieren (Trennung durch unterschiedliche Diffusionsgeschwindigkeiten). Bei $I = 10^{-4} A$ ⇒ $t \approx 30$ Jahre.

- Trennung durch Diffusion

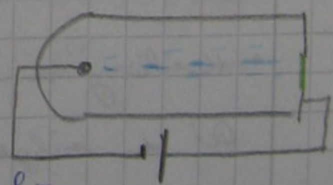
Für die Diffusionsgeschw. von Teilchenarten 1,2 gilt:

$$v_1/v_2 \propto \sqrt{m_2/m_1}$$ (freie Diffusion)

Großtechnisch : Zentrifugieren in porösem Material. Die schweren werden stärker nach außen gedrückt, sammeln sich Außen an Zentrifuge verteilt.

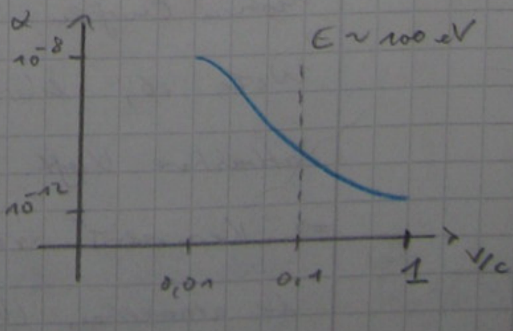
1.2.3 Atomradien

Erste Versuche : Lenard'scher Streuversuch



Fenster: Dicke ~ 10^{-4} cm ⇒ ~ 10^4 Atomlagen.

Das Fenster (oft: Alu) wird von e^- durchdrungen; Wirkungsquerschnitt wie bei Streuversuch bestimmbar ($I = I_0 \cdot e^{-\alpha x}$, $\alpha \propto \sigma$).



Beobachtung: - $\alpha \propto$ Materialdichte

- je schneller die e^-, desto mehr Material können sie durchdringen

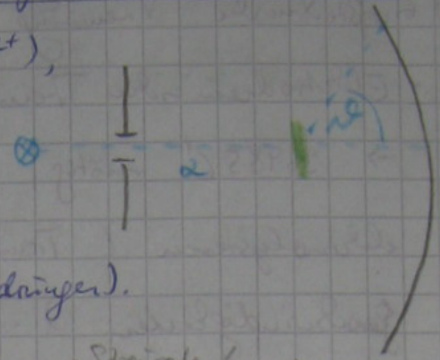
Erste quantitative Analyse von Atomen: Rutherford'sche Streuversuche

27.4.'10

Radioaktives Präparat: α-Strahler ($^4_2He^{2+}$),

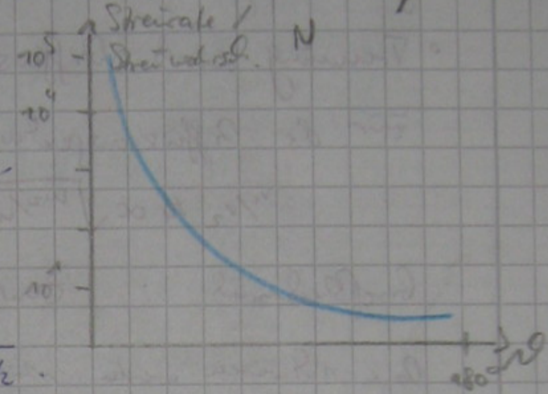
$E_{kin} \sim 5$ MeV; Reichweite in Luft:

$\sim 3{,}5$ cm (Mittlere freie Weglänge $\sim 10^{-5}$ cm $\Rightarrow \approx 10^5$ Atomlagen werden durchdrungen).



Bei der Analyse erhält man

$$N \propto \frac{1}{\sin^4 \vartheta/2}.$$



Analyse: Streuung am Coulombpotential:

$$\frac{dN}{N} = \frac{z^2 e^4 D n}{(4\pi\varepsilon_0)^2 m^2 v^4} \frac{d\Omega}{\sin^4 \vartheta/2}.$$

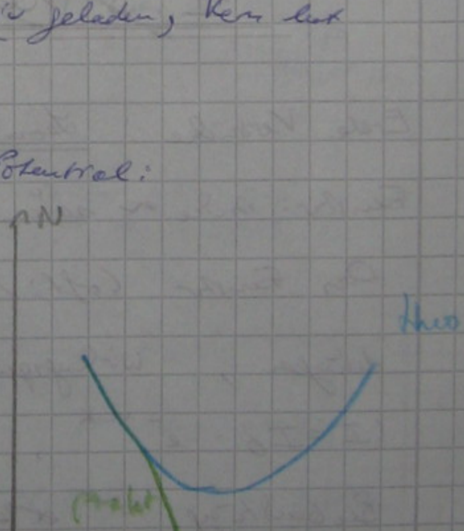
D: Foliendicke
n: Atome / Lage
v: Geschw. d. α-Teilchen

Die meisten e^- werden nicht / kaum gestreut, nur ein sehr kleiner Teil wird rückgestreut. Diese stürzen das Atommodell von Thompson (Positive Ladung / Masse homogen auf ganzen Atomdurchmesser verteilt); die Massendichte bei Thompson wäre zu klein gewesen für Reflektionen.

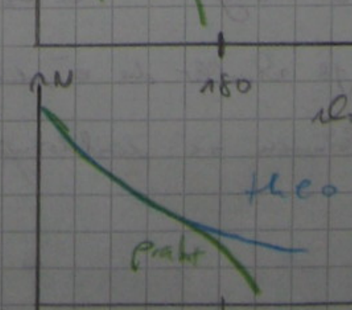
$\Rightarrow$ Atom hat Kern mit Radius $\sim 10^{-14}$ m mit (praktisch) gesamter Atommasse, Kern positiv geladen, Kern hat Coulomb-Feld: $E \propto \frac{Ze}{r^2}$

- Abweichung von Streuung am Coulomb-Potential:

Bei den rückgestreuten Teilchen ($\vartheta \approx 180°$) oder bei ~~Teilch~~ α-Teilchen mit sehr hohen Energien weichen die Beob. Werte ab, hier bemerkt man eine attraktive Kraft.



$\Rightarrow$ „Kernradius" ist der Abstand, wenn die attraktiven (Kern)Kräfte einsetzen.



Atom	r / 10^{-15} m
$^{12}_6C$	2,7

Klassische Berechnung des Elektronenradius: Exphys

Annahme: Kugel mit Lad. $-e$, Masse m_0

27.4.'10

· Ruheenergie $E = m_0 c^2 \equiv$ pot. elektrostat. Energie d. Oberflächenladung (e^- als Kugelkondensator);

$C = 4\pi\varepsilon_0 \cdot r$

Aufladearbeit des Elektrons: $W = \frac{1}{2} Q^2/C = E_{pot}$

$$E_{pot} = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r} = m_0 c^2 \Rightarrow r_e = 2{,}8 \cdot 10^{-15}\,m$$

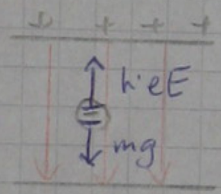
Streuexperimente: Elektron-Elektron-Streuung

⇒ Elektron ist punktförmiges Teilchen;

Es ist eine Obergrenze für $\sigma \sim r$ gefunden, die in der Größenordnung von dem theoretischen Wert liegen.

1.2.4 Ladung (des Elektrons)

Millikans Öltröpfchenversuch



Geladene Öltröpfchen werden in der Schwebe gehalten, Masse und Volumen bestimmt, Ladung ist Vielfaches von e

$e = 1{,}602\,191\,7 \cdot 10^{-19}\,C$

Aber: e ist nicht elementar: e^- besteht aus Quarks mit Ladungen ($\frac{e}{3}$, $\frac{2e}{3}$).

Bestimmung von e/m im Massenspektrometer:

$$\underline{F} = m\underline{\dot{v}} = -e(\underline{E} + \underline{v} \times \underline{B})$$

Resultat: $e/m = 1{,}7588 \cdot 10^{11}$ C/kg $\Rightarrow m \approx 9{,}1091 \cdot 10^{-31}$ kg

Bem: Damals hat man schon gemerkt, dass $m = m(v)$: $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$

$E_{kin} \sim 500$ keV $\Rightarrow e/m \sim 0{,}88 \cdot r$ (r: bei $E_{kin} = 0$)

$E_{kin} \sim 1$ MeV $\Rightarrow e/m \sim 0{,}56 \cdot r$

~~1. ... Elek~~

27.4.10

Einschub: Elektronen als Wellen

(1) Davisson - Germer - Experiment: Beugung von e^- an Kristallen (Bragg-Winkel wurde gewählt und Beschleunigungsspannung variiert ⇒ ~~Also~~ es kommt bei versch. Beschl'spannungen ~~zu~~ periodisch zu Maxima (Bäuchen))

⇒ Welleneigenschaften der Elektrons.

De Broglie:

$$p = h/\lambda \; (= m_0 v)$$

$v = \sqrt{2E_{kin}/m_0} \Rightarrow \lambda = h/\sqrt{2m_0 E_{kin}}$

E_{kin} durch Beschl'spannung gegeben: $\lambda = 12{,}3\,\text{Å}/\sqrt{U}$

Bsp: $U \sim 50\,V \Rightarrow \lambda \sim 1{,}7\,\text{Å}$

Kontrolle durch Beugung am Doppelspalt.