

2.2 Elementarladung, Spezifische Ladung

2.2.1. Quantelung der Ladung

a) Faraday (1833) : Abscheidung durch Elektrolyse

$$n \cdot Q_F = n \cdot 96485 \text{ C} = n \cdot N_L \cdot e$$

$n = 1, 2 \dots$ Wertigkeit :

verschiedene Atome, Moleküle.

immer ganze Vielfache von Q_F je Mol.

$$\Rightarrow e = \frac{Q_F}{N_L}$$

b) Millikan (1911) : Geschwindigkeit von Öltröpfchen im Feld E

Die spezifische Ladung e/m des Elektrons

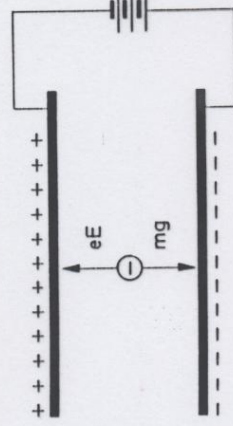


Abb. 6.1. Prinzip des Millikanschen Öltröpfchen-Versuches zur Messung der Ladung des Elektrons. Das negativ geladene Öltröpfchen erfährt im Feld die Kraft $n \cdot e \cdot E$, wenn n die Anzahl der auf ihm sitzenden Elementarladungen ist. Außerdem wirkt die Schwerkraft mg .

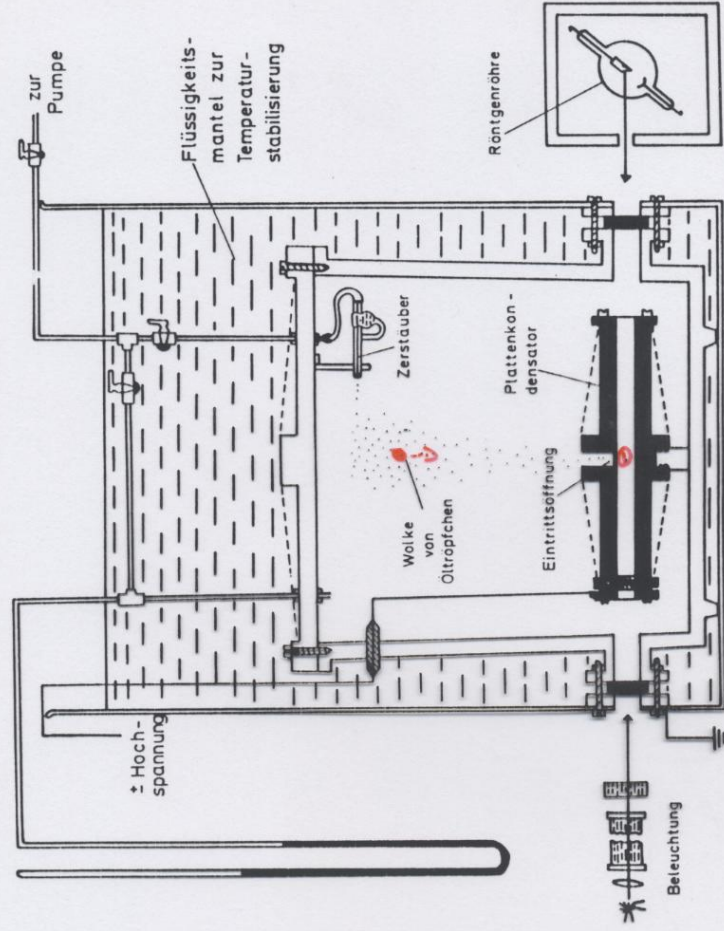
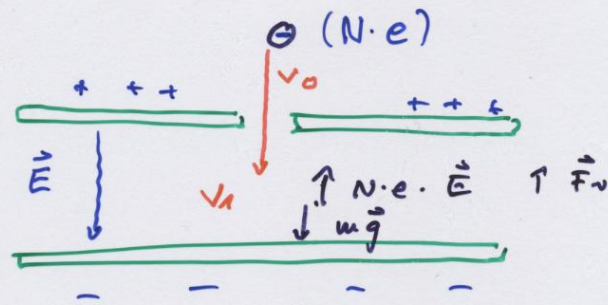


Abb. 6.2. Versuchsanordnung von Millikan nach: Phys. Rev. 2, 109 (1913). Die durch den Zerstäuber erzeugten Öltröpfchen können durch Bestrahlung mit Röntgenlicht aufgeladen oder umgeladen werden.

(r : Radius des Tröpfchens)



a) Ohne El. Feld:

$$m \cdot g = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}}) \cdot g$$

$$= 6 \pi \eta \cdot r \cdot v_0$$

$\uparrow$ v_0 ist konstant

Messung von v_0 : r

b) Mit El. Feld:

$$m \cdot g + q \cdot E = 6 \pi \eta r v_1$$

Messung von v_1 , E : $q = N \cdot e$

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

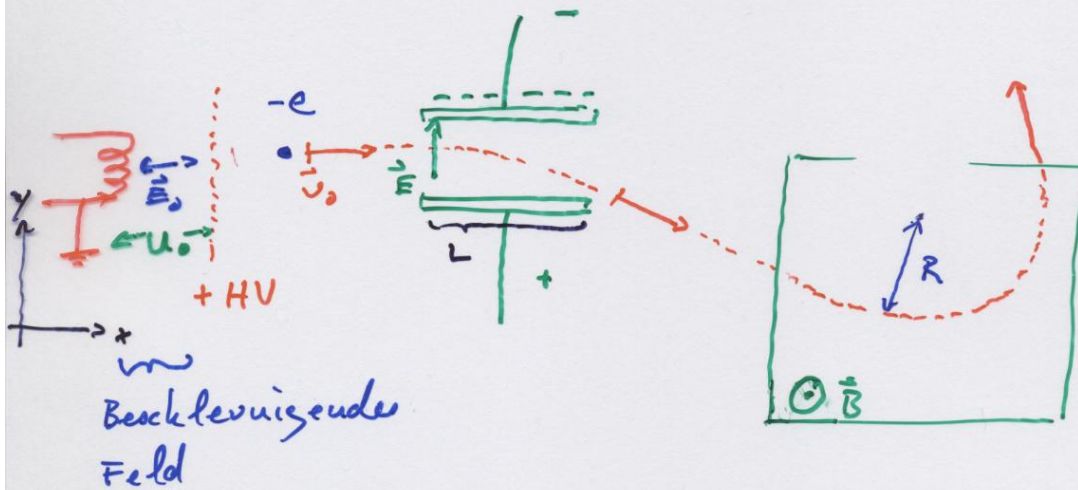
2.2.2. Spezifische Ladung $\frac{e}{m}$

* Lorentzkraft

$$\vec{F} = -e (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

↑
für Elektronen

$$= m \frac{d\vec{v}}{dt}$$



a) Ablenkung im homogenen $\vec{E}$ -Feld:

Parabel:

$$y(t) = -\frac{e}{m} \frac{E}{2} t^2$$

$$x(t) = v_0 \cdot t$$

→ nach $x=L$:

$$y = -\frac{e}{m} \frac{E}{2} \frac{L^2}{v^2}$$

⇒ V

b) Ablenkung im B-Feld:

Kreisbahn; $F = e \cdot v_0 \cdot B = m \frac{v^2}{R}$
Lorentzkraft Zentripetalbesch.
 $\equiv$ Zentripetalkraft

$$\Rightarrow \underline{\underline{\frac{e}{m} = \frac{v}{R \cdot B}}}$$

$$\frac{e}{m} = 1,7588 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg} \quad \text{Für Elektronen}$$

$$\Rightarrow m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} kg$$

$$\approx 5,5 \cdot 10^{-4} u$$

$$\approx \frac{1}{2000} m_p$$

a) Mit dieser Methode 1920 Isotopie gefunden (... C^{12} , C^{14} ...)

b) Relativistische Effekte:

$$\text{Für } U_0 \approx 0V: \quad \frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{C}{kg}$$

$$U_0 \approx 500 kV: \quad 0,88 \quad "$$

$$U_0 \approx 1500 kV: \quad 0,44 \quad "$$

Kaufmann 1902:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

(Einstein:
 $E = mc^2$
1905)

Zur Erinnerung:

$$\begin{aligned} p_\mu p^\mu &= p^2 = (m_0 c^2)^2 \\ &= E^2/c^2 - \vec{p}^2 \\ &= (\gamma m_0)^2 c^2 - \vec{p}^2 \end{aligned}$$

2.2.3 Einheiten

1 eV kin. Energie einer Ladung, beschleunigt in $U = 1V = 1,602 \cdot 10^{-19} J$

1 keV Röntgenstrahlung

1 MeV β -Zerfall

1 GeV Erzeugung von Hadronen

1 TeV SUSY, Higgs

1 PeV Höhenstrahlung

$$m_e = 511 \text{ keV } (c^2)$$

$$m_p = 938,3 \text{ MeV } (c^2)$$

$$m_n = 939,6 \text{ MeV } (c^2)$$

$$m_Z = 91,2 \text{ GeV } (c^2)$$

$$m_b = 171 \text{ GeV } (c^2)$$

Info:

Physics Letters B 667

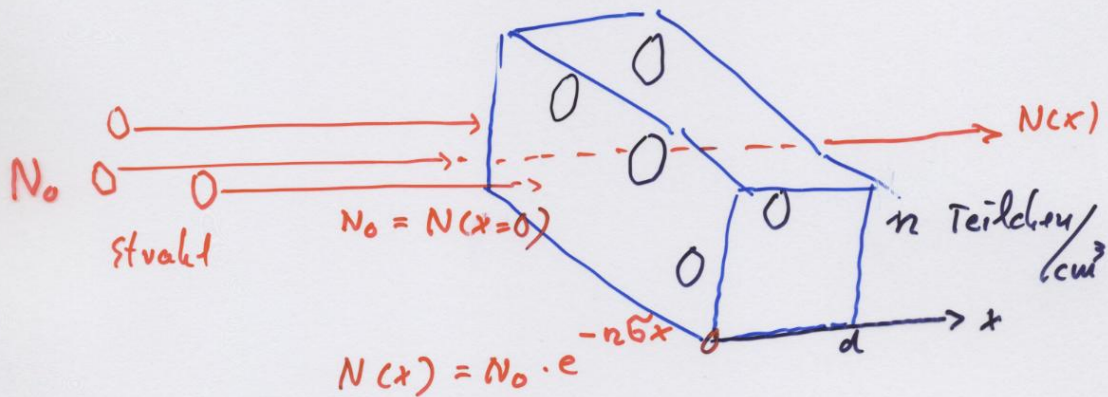
URL: <http://pdg.lbl.gov>

2.3. Struktur der Atome

Gasttheorie: Atome erscheinen als
"feste" Kugeln

2.3.1 Streuverperimente

1. Absorption in dicken Streukörper (Target)

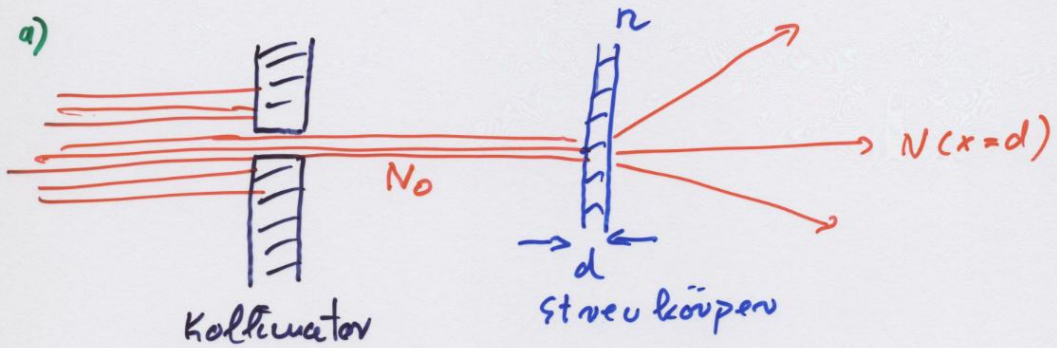


σ : Wirkungsquerschnitt [in cm^2 oder
barn $\equiv 10^{-24} \text{cm}^2$]

λ : Mittlere freie Weglänge: $\lambda = \frac{1}{n \cdot \sigma}$

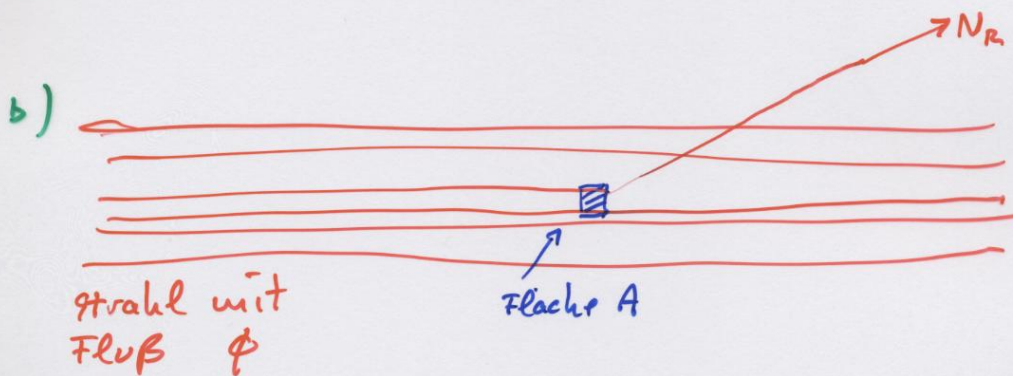
$$N(\lambda) = N_0 \cdot e^{-1}$$

2. Dünner Streukörper ($d \ll \lambda$)



Messen $N_0, N(d) \Rightarrow \sigma = \frac{N_0 - N(d)}{N_0 \cdot n \cdot d}$

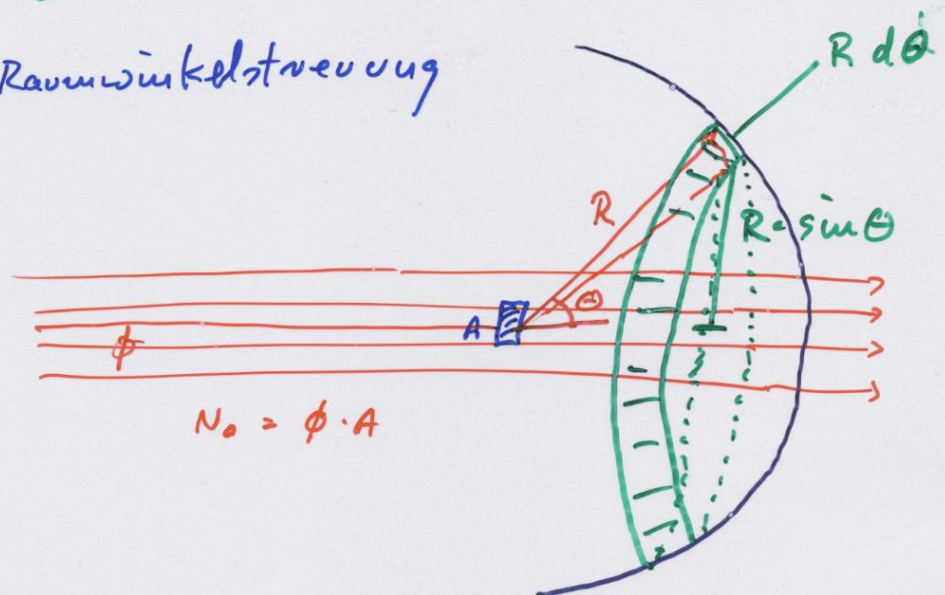
($e^{-\epsilon} \approx 1 - \epsilon$)



Messen $\phi, N_R \Rightarrow \sigma = \frac{N_R}{\phi \cdot A \cdot n \cdot d}$

3. Differentieller WQ

a) Raumwinkelstreuung



$$N_0 = \phi \cdot A$$

Mit $\frac{dN_R}{d\Omega}$

Rate gestreuter Teilchen in Raumwinkel-element $d\Omega$

$$d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$$

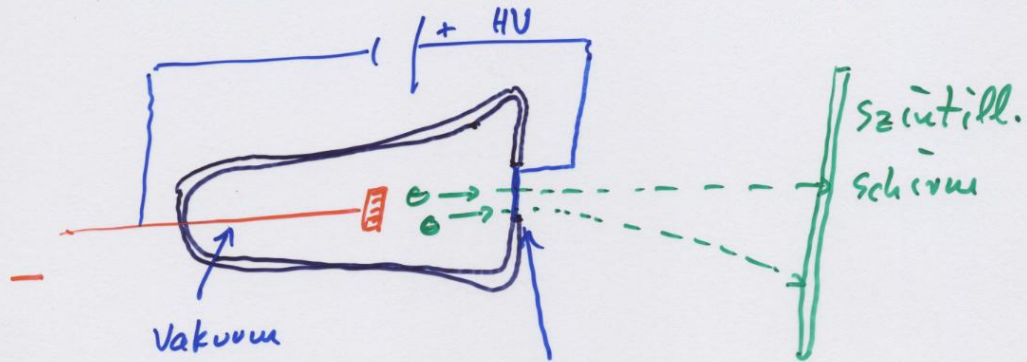
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{dN_R}{d\Omega} \cdot \frac{1}{N_0 \cdot n \cdot d}$$

b) Andere Beispiel:

$$\frac{d\sigma}{dE} \dots \left(\text{Bs Rutherford} = \sim \frac{1}{E^2} \right)$$

2.3.2 Bestimmung atomarer Strukturen

1) Versuch von Lenard (~ 1890)



Streuung an dünner
Alufolie

Beobachtung: e^- durchqueren 10^4 Atom-
lagen und Luft.

Falls Atome feste Kügelchen: erwartete
volle Absorption [$\lambda_{\text{Luft}} \sim 10^{-5} \text{ cm}$]

Lenard: „Das Innere des Atoms
ist so leer wie der
Weltall“