

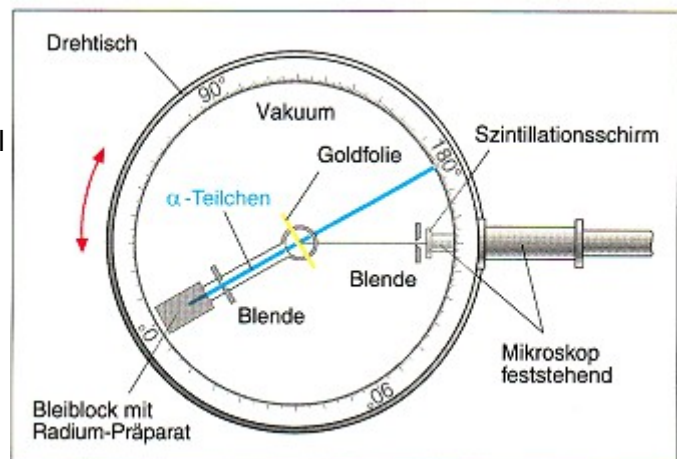
Aufgabe 1: Rutherford-Streuversuch

1.1 Beschreibe, was man über den Aufbau von Atomen wusste, bevor Rutherford seinen Streuversuch unternahm.

Atome bestehen aus gleichmäßig verteilten positiven Ladungen und negativ geladenen Elektronen, die sich darin bewegen. (*Rosinenkuchenmodell*)

1.2 Zeichne eine Skizze für den Aufbau des Rutherford-Streuversuchs und beschreibe die Durchführung.

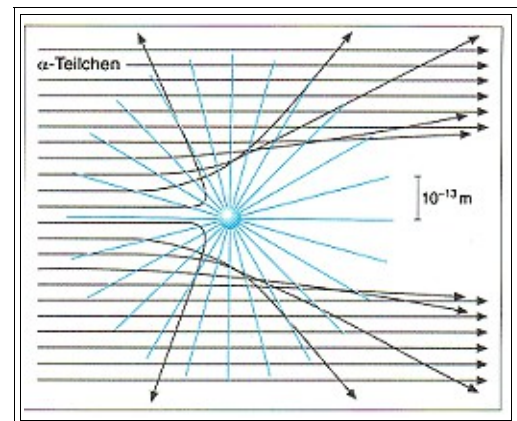
Die α -Teilchen werden auf eine 100 Atomschichten starke Goldfolie geschossen. Alle Teilchen, die in einem bestimmten Winkel θ abgelenkt werden, gelangen durch eine Blende auf einen Szintillationsschirm, wo sie kleine Lichtblitze erzeugen, die durch ein Mikroskop beobachtet und gezählt werden können. Gemessen wird die Häufigkeit der Blitze in Abhängigkeit des Winkels θ .



1.3 Die folgende Skizze zeigt die prinzipielle Beobachtung des Rutherford-Streuversuchs.

Erkläre diese Skizze. Gehe auch darauf ein, warum die meisten Pfeile nach rechts zeigen.

Fast alle Teilchen gehen ungehindert durch die Folie durch. Da die α -Teilchen positiv geladen sind, werden sie vom positiven Goldkern abgelenkt, aber nur, wenn sie in die Nähe des Kern kommen. Offenbar ist der Goldatomkern klein im Vergleich zur Größe des Goldatoms.



1.4 Erkläre kurz die folgenden weiteren Beobachtungen:

(1) Mit Elektronenbeschuss lassen sich die Ergebnisse nicht reproduzieren.

Die Stoßpartner müssen positiv geladen sein.

(2) Je höher die Ordnungszahl des beschossenen Materials, desto mehr Teilchen misst man auch bei größeren Winkeln.

Elektrisch neutrale Atome haben gleich viele positive wie negative Ladungen. Die positiv geladenen Stoßpartner müssen also die Ladung Ze haben.

(3) Bei Gold werden auch Ablenkungen bis 180° beobachtet. Bei Materialien mit kleinerer Ordnungszahl dagegen nicht.

Große Ablenkungen von bis zu 180° kann es nur geben, wenn die Masse des Atomkerns groß im Vergleich zur Masse der α -Teilchen ist (Impulserhaltung beim elastischen Stoß). Wäre die Masse der Stoßpartner kleiner, gäbe es keine Richtungsänderung und bei gleicher Masse würde das α -Teilchen stehen bleiben.

1.5 Leite aus dem Energieansatz die Formel $b = \frac{2}{4\pi\epsilon_0 m v^2} Z e^2 e$ her.

$$E_{Kin} = E_{Pot} \Leftrightarrow \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{b} \Leftrightarrow b = \frac{2}{4\pi\epsilon_0 m v^2} Z e^2 e = \frac{Z e^2}{\pi\epsilon_0 m v^2}$$

Rutherford hatte α -Teilchen aus radioaktivem Bismut mit der Geschwindigkeit $v = 2,09 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ benutzt. (Masse α -Teilchen: $m_\alpha = 3727,379 \frac{\text{MeV}}{c^2}$, Ordnungszahl Gold: $Z = 79$)

Berechne aus den Daten eine Obergrenze für die Größe des Goldatomkerns.

$$m_\alpha = 3727,379 \frac{\text{MeV}}{c^2} = \frac{3727,379 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{(2,998 \cdot 10^8 \text{ m})^2} = 6,6436 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$b = \frac{79 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C/(Vm)} \cdot 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (2,09 \cdot 10^7 \text{ m/s})^2} = 2,5128 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

Warum stellt die berechnete Zahl nur eine obere Grenze dar?

Weil das Energiegleichgewicht $E_{Kin} = E_{Pot}$ nicht an der „Oberfläche“ des Atomkerns erfüllt ist, sondern in einiger Entfernung.

Aufgabe 2: Bragg-Reflektion

2.1 Bragg-Reflektion kann nur stattfinden, wenn die Wellenlänge λ kleiner oder gleich dem zweifachen des Netzebenenabstands des Kristalls ist. Leite die Beziehung $\lambda \leq 2d$ aus der Bragg-Gleichung her.

$$\text{Bragg-Gleichung: } n\lambda = 2d \sin(\theta) \quad (n=1,2,3,\dots) \Leftrightarrow \lambda = 2d n \sin(\theta)$$

$$\begin{aligned} \sin(\theta) &\leq 1 \Rightarrow \lambda \leq 2d n \cdot 1 \\ 1 &\leq n \Rightarrow \lambda \leq 2d \cdot 1 \end{aligned}$$

2.2 Gib eine mögliche Wellenlänge an, die benutzt werden kann, um Bragg-Reflektion an einem Kochsalzkristall zu zeigen. (Netzebenenabstand NaCl: 278 pm).

Bspw.: $\lambda = 278 \text{ pm}$, weil $278 \text{ pm} \leq 2 \cdot 278 \text{ pm}$

2.3 Bei Verwendung eines Lithiumfluorid-Kristalls erhält man für $\lambda = 150 \text{ pm}$ unter $\theta = 48,3^\circ$ ein Maximum 2. Ordnung: Berechne den Netzebenenabstand d für LiF.

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \Leftrightarrow d = \frac{n\lambda}{2 \sin(\theta)} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 10^{-12} \text{ m}}{2 \cdot \sin(48,3^\circ)} = 2,0090 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

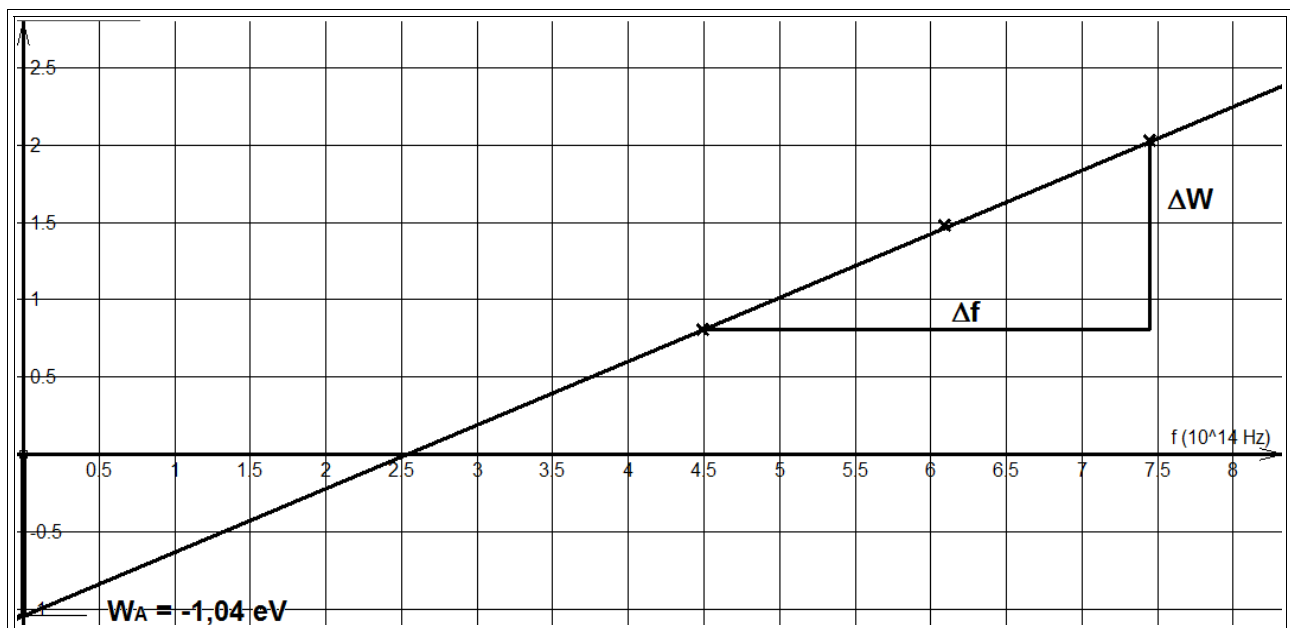
A: Der Netzebenenabstand für LiF beträgt 200 pm.

Aufgabe 3: Photoeffekt

Man bestrahlt eine Photokathode einer Vakuumphotozelle nacheinander mit drei ausgewählten Linien des Heliumspektrums ($\lambda_{\text{rot}} = 667,8 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{grün}} = 492,2 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{violett}} = 402,6 \text{ nm}$).

Wellenlänge λ in nm	667,8	492,2	402,6
Frequenz f in 10^{14} Hz	4,49	6,09	7,45
$E_{\text{Kin, max}}$ in eV	0,81	1,48	2,03

3.1 Fertige ein Diagramm $E_{\text{Kin, max}}$ gegen f an und lies aus dem Diagramm die Austrittsarbeit für das verwendete Kathodenmaterial ab.



3.2 Berechne aus den Daten das Plancksche Wirkungsquantum.

$$h = \frac{\Delta W}{\Delta f} = \frac{2,03 \text{ eV} - 0,81 \text{ eV}}{7,45 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 4,49 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = \frac{1,22 \text{ eV}}{2,96 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 4,122 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$$

3.3 Berechne aus den Daten die Austrittsarbeit für das verwendete Kathodenmaterial.

$$E_{\text{Kin}} = E_{\text{ph}} + W_A = h \cdot f + W_A$$

$$\Leftrightarrow W_A = E_{\text{Kin}} - h \cdot f = 2,03 \text{ eV} - 4,122 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 7,45 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = -1,0409 \text{ eV}$$

3.4 Berechne die größtmögliche Energie, die ein Photon in dieser Versuchsreihe haben kann. Berechne den Betrag des Impulses eines solchen einfallenden Photons und eines ausgelösten Elektrons (mit maximal möglicher Energie) und vergleiche die beiden Impulsbeträge.

$$E = h \cdot f = 4,135 \cdot 10^{-15} \text{ eV s} \cdot 7,45 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 3,0806 \text{ eV}$$

$$p_{ph} = \frac{E}{c} = 3,0806 \frac{\text{eV}}{c}$$

$$\text{Maximale kinetische Energie Elektron: } E_{El} = E_{ph} - W_A = 2,03 \text{ eV} - 1,04 \text{ eV} = 0,99 \text{ eV}$$

$$\text{Masse Elektron: } 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = \frac{E}{c^2}$$

$$\Leftrightarrow E = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot c^2 = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1})^2 = 8,1875 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 511081,92 \text{ eV}$$

$$\text{Damit ist } m_{El} = 511,08 \frac{\text{keV}}{c^2}$$

$$E_{Kin} = \frac{p_{El}^2}{2m} \Rightarrow p_{El} = \sqrt{2 E_{Kin} m} = \sqrt{2 \cdot 0,99 \text{ eV} \cdot 511081 \frac{\text{eV}}{c^2}} = 1005,95 \frac{\text{eV}}{c}$$

A: Der Impuls des Photons ist vernachlässigbar im Vergleich zum Impuls des Elektrons.

3.5 Erkläre, wie es möglich ist, dass das Elektron einen viel größeren Impuls als das einfallende Photon hat, wo doch die Impulserhaltung erfüllt sein muss.

Der restliche Impuls steckt als Rückstoßimpuls im Atomkern des Kathodenmaterials.