

Fortgeschrittenen Praktikum Teil 1: IKF

Versuch 2: Rutherford Backscattering
Betreuer: Dr. Hans-Eberhard Zschau

Gruppe 1: Reinhold Kaiser, Florian Stoll

14.05.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Rutherford-Backscattering-Spectrometry	3
2.2	Der kinematische Faktor	4
2.3	Der Van-de-Graaff-Beschleuniger	5
3	Versuchsaufbau und Messgeräte	5
4	Kalibrierung	5
5	Durchführung und Auswertung	5
6	Zusammenfassung/Fazit	5

1 Zielsetzung

In diesem Versuch geht es darum, die Rutherford-Backscattering-Spectrometry (RBS) an verschiedenen Proben durchzuführen. In der RBS wird meist mit Wasserstoff- oder Helium-Kernen mit einer Energie von $1 - 4\text{MeV}$ auf ein Material geschossen, wobei die Eindringtiefe bis circa $1\mu\text{m}$ reicht [?]. Leichte Kerne mit geringerer Energie hätten nicht so hohe Eindringtiefen und nach oben hin ist kinetische Energie der Projektile dadurch begrenzt, dass irgendwann Kernreaktionen eine Rolle spielen.

Aufgrund dieser Eigenschaften eignet sich die RBS dazu, Oberflächen und dünne Filme auf unterschiedliche Eigenschaften zu testen. Beispielsweise kann die Schichtdicke einer oder mehrerer Schichten bestimmt werden. Außerdem ist es möglich, Fehlstellen in Kristallen zu lokalisieren. In diesem Versuch soll allerdings nur das elementarste Verfahren, nämlich die Elementidentifikation angewendet werden.

Zur Beschleunigung der He^+ -Ionen wird ein Van-de-Graaff-Beschleuniger verwendet, wobei die kinetische Energie der Ionen bekannt ist. Mit bekannten Targets wird zunächst die Kalibrierung des Detektors durchgeführt. Und im eigentlichen Teil des Versuchs sollen dann die Elemente mehrerer unbekannter Proben bestimmt werden.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Rutherford-Backscattering-Spectrometry

Die Rutherford-Backscattering-Spectrometry (RBS) wird zur Untersuchung von dünnen Schichten an Oberflächen verwendet. Dazu werden Ionenstrahlen leichter Kerne wie Helium oder Wasserstoff mit einer kinetischen Energie von $1 - 4\text{MeV}$ auf die Probe geschossen. Dort werden die Ionen an den Kernen elastisch gestreut und so kann ihre Energie in einem Detektor gemessen werden. Meist wird der Detektor so aufgestellt, dass er die Ionen misst, die annähernd unter einem Winkel von 180° zur Strahlachse zurückgestreut wurden.

Die Energie der rückgestreuten Teilchen hängt dabei nur von ihrer Anfangsenergie, dem Winkel und den Massen der Stoßpartner ab. Da der Winkel, die Masse des Projektils und die Anfangsenergie des Projektils bekannt ist, kann durch Messung der Energie der gestreuten Ionen die Massenzahlen des Targets bestimmt werden. Im Spektrum entsteht eine Kante maximaler Energie, wo die Teilchen gemessen wurden, die direkt an der Oberfläche gestreut wurden. Die Ionen verlieren in der Probe kontinuierlich Energie durch elastische Stöße mit den Kernen und Anregungen der Hüllenelektronen der Probe. Ionen, die nun tiefer im Target gestreut werden, führen diesen eben beschriebenen Stoßprozess also quasi mit einer geringeren Anfangsenergie durch. Daher gibt es diese kontinuierlich Verteilung von der Kante der maximalen Energie hin zu geringerer Energie.

Bei Kenntnis der Stopping Power, die sich aus den elastischen Kernstößen und den inelastischen Elektronenanregungen zusammen setzt, ist es möglich Tiefeninformationen über die Probe zu erhalten. Beispielsweise kann damit die Dicke einer oder mehrerer dünner Schichten bestimmt werden. In diesem Versuch wird sich aber auf die Elementidentifikation beschränkt, weswegen hier nicht näher auf diesen Bereich der RBS eingegangen

wird.

2.2 Der kinematische Faktor

Der kinematische Faktor oder auch K-Faktor ist definiert durch das Verhältnis der Energie des rückgestreuten Teilchens zur Energie des einfallenden Teilchens:

$$K = \frac{E_{rueck}}{E_{ein}} \quad (1)$$

Er kann somit aus der bekannten Energie E_{ein} und der gemessenen Energie E_{rueck} bestimmt werden.

Andererseits kann der K-Faktor aus dem elastischen Stoß zweier kugelförmiger Teilchen mit den Massen m_1 und m_2 hergeleitet werden. Dazu betrachtet man zunächst die drei Gleichungen der Impuls und Energieerhaltung. Angenommen wird, dass sich m_1 auf der x-Achse mit der Geschwindigkeit v bewegt und dass sich m_2 zu Beginn in Ruhe befinde.

$$m_1 \cdot v^2 = m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2 \quad (2)$$

$$m_1 \cdot v = m_1 \cdot v_1 \cdot \cos \theta + m_2 \cdot v_2 \cdot \cos \phi \quad (3)$$

$$0 = m_1 \cdot v_1 \cdot \sin \theta - m_2 \cdot v_2 \cdot \sin \phi \quad (4)$$

Dabei ist θ der Winkel unter dem das Projektil zurück gestreut wird und ϕ der Winkel unter dem sich der Kern nach dem Stoß bewegt. Nun wird zunächst der Winkel ϕ eliminiert, indem die Gleichungen 3 und 4 quadriert und addiert werden:

$$m_1^2 \cdot v^2 - 2m_1^2 \cdot v \cdot v_1 \cdot \cos \theta + m_1^2 \cdot v_1^2 \cdot \cos^2 \theta + m_1^2 \cdot v_1^2 \cdot \sin^2 \theta = m_2^2 \cdot v_2^2 \quad (5)$$

Weitere Vereinfachungen und $m_2^2 \cdot v_2^2 = m_2 m_1 (v^2 - v_1^2)$ aus Gleichung 2 ergeben:

$$m_1^2 \cdot v^2 - 2m_1^2 \cdot v \cdot v_1 \cdot \cos \theta + m_1^2 \cdot v_1^2 = m_2 m_1 (v^2 - v_1^2) \quad (6)$$

Mit den Substitutionen $\sqrt{K} = \frac{v_1}{v}$ und $A = \frac{m_2}{m_1}$ erhält man die quadratische Bestimmungsgleichung für \sqrt{K} :

$$\sqrt{K}^2 - \frac{2 \cos \theta}{A + 1} \sqrt{K} - \frac{A - 1}{A + 1} = 0 \quad (7)$$

Die beiden Lösungen für \sqrt{K} sind dann

$$\sqrt{K} = \frac{\cos \theta}{A + 1} \pm \sqrt{\frac{\cos^2 \theta}{(A + 1)^2} + \frac{A - 1}{A + 1}}, \quad (8)$$

wobei die Lösung mit dem Minuszeichen verworfen werden kann, da für $A > 1$ das Verhältnis der Geschwindigkeiten \sqrt{K} nicht negativ werden soll. Resubstituiert und quadriert folgt damit abschließend:

$$K = \left\{ \frac{\cos \theta + \sqrt{\frac{m_2^2}{m_1^2} - \sin^2 \theta}}{\frac{m_2}{m_1} + 1} \right\}^2, \quad (9)$$

bzw.

$$K = \left\{ \frac{m_1 \cdot \cos \theta + \sqrt{m_2^2 - m_1^2 \cdot \sin^2 \theta}}{m_2 + m_1} \right\}^2. \quad (10)$$

Damit ist der K-Faktor auch hier wieder das Verhältnis von rückgestreuter Energie zu einlaufender Energie des Projektils.

Nun kann der K-Faktor für alle möglichen Elemente und He^+ -Projektilen unter einem bestimmten Winkel berechnet und tabelliert werden. Dadurch ist ein komfortables Finden der passenden Elemente möglich, nachdem der K-Faktor experimentell bestimmt wurde.

2.3 Der Van-de-Graaff-Beschleuniger

3 Versuchsaufbau und Messgeräte

4 Kalibrierung

5 Durchführung und Auswertung

6 Zusammenfassung/Fazit