

# PHYSIKALISCHES GRUNDPRAKTIKUM

## TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Protokoll  
«A5 -  $\alpha$ -Teilchen»

Martin Wolf

<martin.wolf@hrz.tu-chemnitz.de>

Betreuer: Herr Jöhmann  
Mitarbeiter: Martin Helfrich

Datum: 22.03.2006  
8:00 Uhr bis 12:00 Uhr

---

Unterschrift, Martin Wolf

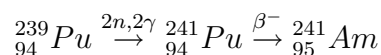
# 1 Aufgabenstellung

1. Ermitteln Sie die Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Teilchen des  ${}_{95}^{241}\text{Am}$  mit Hilfe eines gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldes.
2. Berechnen Sie die Energie der  $\alpha$ -Teilchen, sowie deren Reichweite in Luft und beim Arbeitsdruck in der Messkammer.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Die $\alpha$ -Strahlungsquelle

Das als  $\alpha$ -Strahlungsquelle verwendete Americium 241 ist ein Transuran mit einer Halbwertszeit von 432,6a. Die Energie der Teilchen beträgt 5,486MeV (87%) und 5,443MeV (13%). Americium 241 wird im allgemeinen über folgende Reaktion künstlich hergestellt:



Das Nuklid selbst ist in eine Goldfolie eingesintert und durch eine ca.  $3\mu\text{m}$  dünne Palladiumschicht abgedeckt.

### 2.2 Der $\alpha$ -Zerfall

Spontane Kernumwandlungen können nur auftreten, wenn sie exotherm ablaufen. Für den  $\alpha$ -Zerfall ist dies für Nuklide mit Massenzahlen  $>170$  und Kernladungszahlen  $>70$  möglich. In der Regel sind keine Umwandlungen zu beobachten bei denen der Kern einzelne Nukleonen oder Deuteronen emittiert. Aus der Überlagerung des Potential  $V_K$  der anziehenden Kernkraft und des Potentials  $V_C$  der abstoßenden Coulombkraft entsteht ein Potentialtopf  $V_{K+C}$  mit einer Coulombbarriere für das  $\alpha$ -Teilchen.

Da das  $\alpha$ -Teilchen die größte Bindungsenergie aller leichten Nuklide aufweist, ist es energetisch exponiert. Dies führt dazu, dass sich innerhalb schwerer Atomkerne sogenannte  $\alpha$ -Cluster bilden. Die bei der Clusterbildung freiwerdende Energie „hebt“ den Cluster in den Potentialwall hinein. Je höher die Energie des quasistationären Alphateilchenzustandes ist, um so schmaler ist die von dem  $\alpha$ -Teilchen zu durchdringende Potentialbarriere (vgl. Abb. 1).

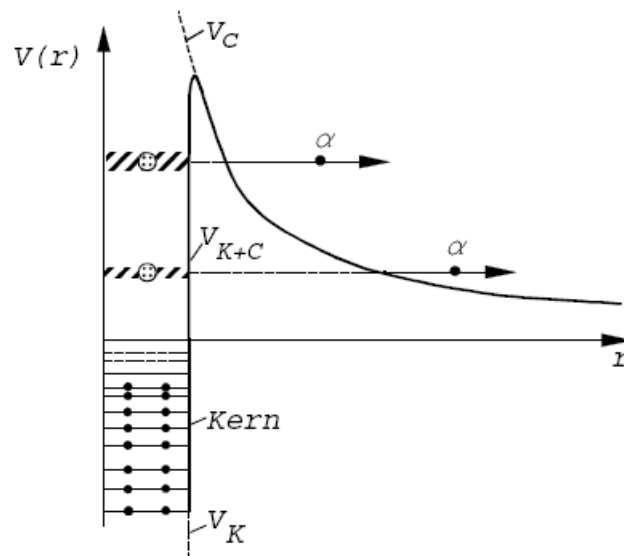


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kernbindungsenergieverhältnisse beim  $\alpha$ -Zerfall

## 2.3 $\alpha$ -Strahlung

Infolge ihrer großen Masse werden  $\alpha$ -Teilchen bei Zusammenstößen mit Elektronen kaum abgelenkt und bewegen sich somit auf geradlinigen Bahnen. Die ionisierende Wirkung von  $\alpha$ -Teilchen ist sehr groß. Bei Energien von 5 MeV werden in Luft  $10^5$  bis  $10^6$  Ionenpaare gebildet. Infolge dieser Wechselwirkung gibt das  $\alpha$ -Teilchen Energie ab. Der differentielle Energieverlust ist eine Funktion der jeweiligen Energie des Teilchens und wird auch als Bremsvermögen bezeichnet. Aufgrund des diskreten Energiespektrums haben alle Teilchen einer Nuklidart ungefähr die gleiche Reichweite (in Luft unter Normalbedingungen einige Zentimeter, in festen Stoffen wenige  $\mu\text{m}$ ).

## 2.4 Die Reichweite der $\alpha$ -Strahlung

Da sich die Reichweiten der  $\alpha$ -Teilchen in Gasen sehr genau experimentell bestimmen lassen, finden oft empirische Energie-Reichweite-Beziehungen praktische Verwendung. Für die mittlere Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft unter Normalbedingungen gilt näherungsweise:

$$R_m/\text{mm} = 3,1 \cdot \sqrt{(E_\alpha/\text{MeV})^3} \quad (1)$$

Die Energie  $E_\alpha$  der  $\alpha$ -Teilchen kann dabei mittels der Gleichung der kinetischen Energie berechnet werden:

$$E_\alpha = \frac{1}{2} \cdot m_\alpha \cdot v^2 \quad (2)$$

Die maximale Reichweitenstreuung von etwas 3% wird durch den statistischen Charakter Energieverlustprozesse verursacht. Die Reichweite der  $\alpha$ -Strahlung in Gasen ist umgekehrt proportional zur Gasdichte und ist damit von Druck und Temperatur abhängig:

$$R_{T,p} = R_{T_0,p_0} \cdot \frac{T \cdot p_0}{T_0 \cdot p} \quad (3)$$

$R_{T_0,p_0}$  ist die Reichweite bei  $T_0 = 288\text{K}$  und  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5\text{Pa}$  und kann in guter Näherung mit Hilfe von Gleichung 1 abgeschätzt werden.

## 2.5 Messprinzip

Im elektrischen Feld eines Plattenkondensators werden  $\alpha$ -Teilchen mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  und der Ladung  $q$  in Richtung einer zu  $\vec{v}$  senkrecht stehenden elektrischen Feldstärke  $\vec{E}$  mit der folgenden elektrischen Kraft abgelenkt:

$$F_{el} = q \cdot E = q \cdot \frac{U}{d} \quad (4)$$

Durch ein zu  $\vec{v}$  und  $\vec{E}$  senkrecht  $\vec{B}$ -Feld kann diese Ablenkung bei richtiger Polung des Kondensators mit der Lorentzkraft

$$F_L = q \cdot v \cdot B \quad (5)$$

kompensiert werden. Für die Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Teilchen ergibt sich aus den Gleichungen 4 und 5 die folgende Beziehung:

$$v = \frac{U}{d \cdot B_{max}} \quad (6)$$

Dabei ist  $U$  die Kondensatorspannung,  $d$  der Plattenabstand ( $d = 0,9\text{mm}$ ) und  $B_{max}$  die magnetische Flussdichte bei maximaler Zählrate, also minimale Ablenkung.

### 3 Durchführung des Experimentes – Messwerte

In der Tabelle 1 sind die einzelnen Experiment-Parameter aufgeführt, die für die gesamte Versuchsdurchführung gelten.

MESSGRÖSSE	BESCHREIBUNG	MESSWERT
$p/\text{Pa}$	Umgebungsdruck	0,6
$T/\text{K}$	Umgebungstemperatur	299,5
$d/\text{mm}$	Plattenabstand	0,9
$U/\text{kV}$	Kondensatorspannung	2,52

Tabelle 1: Experiment-Parameter

Zunächst soll die richtige Polung des Spulengleichstromes (Richtung des Magnetfeldes) ermittelt werden. Dazu soll bei unterschiedliche Polung für 2A Spulengleichstrom jeweils einmal drei Minuten die Impulszahl gemessen werden. Die Tabelle 2 zeigt die dafür aufgenommenen Messwerte. Sie zeigt an Hand der größeren Impulszahl, welche Polung die richtige ist.

Polung	A auf -	A auf +
Impulszahl	88	739

Tabelle 2: Messwerte – Ermittlung der richtigen Magnetfeldpolung

Nachdem die richtige Magnetfeldpolung ermittelt wurde, soll nun die Impulsrate  $\dot{N}$  in Abhängigkeit vom Spulenstrom  $I$  in Intervallen von 0,2A im Bereich von 0A bis 3A bei konstanter Kondensatorspannung von 2,5kV aufgenommen werden. Die Messdauer soll dabei mindestens drei Minuten betragen. Die Tabelle 3 zeigt die dafür aufgenommenen Messwerte.

$I/\text{A}$	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$B/\text{mT}$	1,33	25,7	44,9	66,3	86,1	112	134	153	170	191
$N$	374	474	563	716	689	774	803	864	784	767
$t/\text{s}$	180	180	180	195	180	180	180	180	180	180
$\dot{N}/\text{s}^{-1}$	2,08	2,63	3,13	3,67	3,83	4,30	4,46	4,80	4,36	4,26
$I/\text{A}$	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0				
$B/\text{mT}$	215	236	258	274	296	310				
$N$	763	751	623	515	493	423				
$t/\text{s}$	180	180	180	180	180	180				
$\dot{N}/\text{s}^{-1}$	4,24	4,17	3,46	2,86	2,74	2,35				

Tabelle 3: Messwerte – Impulsrate in Abhängigkeit vom Spulenstrom

## 4 Auswertung

### 4.1 Geschwindigkeit der $\alpha$ -Teilchen

Die Impulsrate in Abhängigkeit vom Spulenstrom soll zur Auswertung grafisch dargestellt werden. Die Abbildung 2 zeigt diesen Sachverhalt.

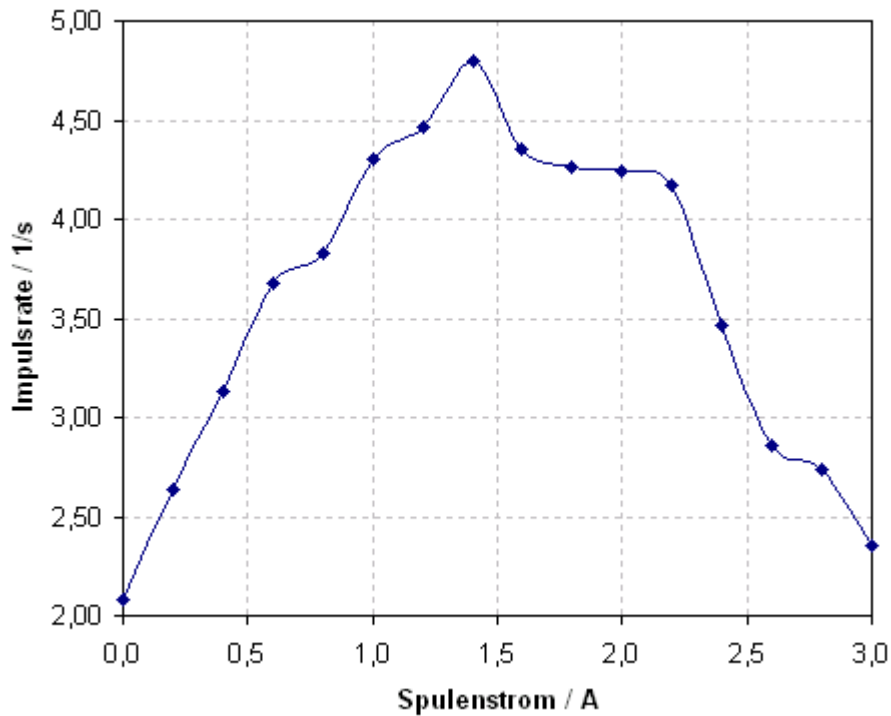


Abbildung 2: Grafische Darstellung der Impulsrate in Abhängigkeit vom Spulenstrom

Aus der Tabelle 3 lassen sich nun folgende Werte ablesen:

$$\dot{N}_{max} = 4,80s^{-1}$$

$$I_{max} = 1,4A$$

$$B_{max} = 153mT$$

Für die Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Teilchen nach Gleichung 6 folgt schließlich:

$$v = 18300654m/s$$

## 4.2 Energie und Reichweite der $\alpha$ -Teilchen

Mittels der ermittelten Geschwindigkeit der  $\alpha$ -Teilchen aus Abschnitt 4.1 lässt sich nun mittels Gleichung 2 die kinetische Energie der  $\alpha$ -Teilchen  $E_\alpha$  berechnen. Für diese folgt:

$$E_\alpha = 3,50\text{MeV}$$

Die Reichweite dieser  $\alpha$ -Teilchen in Luft unter Normalbedingungen erhält man nun mittels Gleichung 1:

$$R_m = 20,3\text{mm}$$

Die Messung wurde allerdings unter anderen Druck- und Temperaturumgebungsbedingungen, die der Tabelle 1 zu entnehmen sind, durchgeführt, sodass sich die tatsächliche Reichweite der  $\alpha$ -Teilchen nach Gleichung 3 zu folgendem Wert ergibt:

$$R_{T,p} = 3752786,7\text{mm}$$

## 5 Fehlerbetrachtung

Eine genaue Messgenauigkeit abzuschätzen ist bei diesem Versuch nur sehr schwer möglich, da es sich bei dem verwendeten Detektor um einen Flächen- und nicht um einen Punkt-Detektor handelte, sodass  $\alpha$ -Teilchen unterschiedlicher Geschwindigkeit detektiert wurden. Außerdem schwankte die Magnetfeldmessung stets um ein bis zwei Digit. Die Tatsache, dass die  $\alpha$ -Teilchen nicht genau senkrecht in den Kondensator bzw. Magnetfeld eingeschossen werden, verursacht ebenfalls eine Verbreiterung des Maximums. Zusätzlich ist zu bemängeln, dass die Magnetfeldspulen in Reihe geschaltet waren. Bei Parallelschaltung hätte man den Spulenstrom noch bis auf 5A erhöhen können, ohne die maximale Belastbarkeit der Spulen zu überschreiten, sodass eine höhere Messauflösung erreicht werden hätte können. Das Maximum in Abbildung 2 wäre dann weniger breit.

## 6 Zusammenfassung

Zum Schluss sollen die Ergebnisse dieses Experimentes noch einmal übersichtlich in tabellarischer Form zusammengefasst werden. Die Tabelle 4 zeigt dies.

MESSGRÖSSE	MESSWERT
Geschwindigkeit $v$ der $\alpha$ -Teilchen	18300654m/s
Kinetische Energie $E_\alpha$ der $\alpha$ -Teilchen	3,50MeV
Reichweite $R_m$ in Luft unter Normalbedingungen	20,3mm
Reichweite $R_{T,p}$ in Luft bei 299,5K und 0,6Pa	3752786,7mm

Tabelle 4: Zusammenfassung – Experimentergebnisse