

VERSUCH NUMMER 701

Reichweite von Alphastrahlung

Tim Alexewicz
tim.alexewicz@udo.edu

Sadiah Azeem
sadiah.azeem@udo.edu

Durchführung: 07.06.2022

Abgabe: 14.06.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	3
3.1 Bestimmung der Reichweite von Alpha-Strahlung	4
3.2 Statistik des radioaktiven Zerfalls	4
4 Auswertung	4
4.1 Bestimmung der Reichweite von Alphastrahlung	4
4.2 Statistik des radioaktiven Zerfalls	7
5 Diskussion	8
Literatur	9

1 Ziel

Es soll die Reichweite von α -Strahlung in Luft bestimmt und die Statistik des radioaktiven Zerfalls abgebildet werden.

2 Theorie

Über das Messen der Reichweite, kann die Energie der α -Strahlung bestimmt werden. Die α -Teilchen können hierbei ihre Energie durch Ionisationsprozesse oder durch Anregung beziehungsweise Dissoziation von Molekülen verlieren. Der Energieverlust lässt sich durch die Bethe-Bloch-Formel

$$-\frac{dE_\alpha}{dx} = \frac{z^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e} \frac{nZ}{v^2} \ln \left(\frac{2m_e v^2}{I} \right) \quad (1)$$

beschreiben, die den Energieverlust pro Weglängeneinheit angibt, wobei z die Ladung und v die Geschwindigkeit des α -Teilchens ist und Z die Ordnungszahl, n die Teilchendichte und I die Ionisierungsenergie des Targetgases darstellt. Der Energieverlust hängt von der Energie der α -Strahlung und der Dichte des Targets ab. Diese Gleichung gilt nicht für kleine Energien, da dann Ladungsaustauschprozesse stattfinden.

Die Reichweite des α -Teilchens wird durch

$$R = \int_0^{E_\alpha} \frac{dx}{dE_\alpha} dE_\alpha \quad (2)$$

berechnet. Da bei geringer Energie Ladungsaustauschprozesse stattfinden, wird die mittlere Reichweite aus der ermittelt Kurve entnommen. Bei einer α -Strahlung in Luft kann bei Energien von $E_\alpha \leq 2.5$ MeV auch

$$R_m = 3.1 \cdot E_\alpha^{3/2} \quad (3)$$

verwendet werden. Hierbei sind die Einheiten $[R_m] = \text{mm}$ und $[E_\alpha] = \text{MeV}$.

Bei konstanter Temperatur und konstantem Volumen ist die Reichweite von α -Teilchen in Gasen proportional zum Druck p , weshalb zur Ermittlung der Reichweite eine Absorptionsmessung bei variiertem Druck möglich ist. Dabei kann die Reichweite durch

$$x = x_0 \frac{p}{p_0} \quad (4)$$

berechnet werden, wobei x die Reichweite, x_0 die effektive Länge zwischen Detektor und α -Strahler und $p_0 = 1013$ mbar der Normaldruck ist [2].

3 Durchführung

Der Versuchsaufbau wird in Abbildung 1 dargestellt.

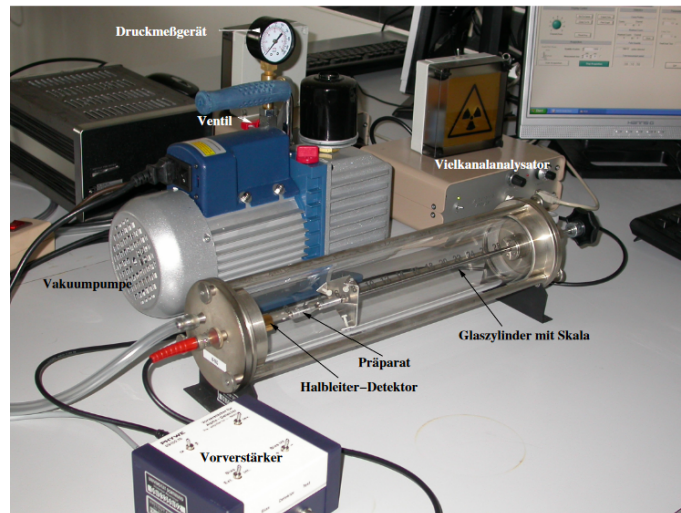


Abbildung 1: Bild des Versuchsaufbaus.

In dem evakuierbaren Glaszylinder befindet sich ein α -Teilchen abstahlendes Am-Präparat mit Halbwertszeit $T_{1/2} = 458$ a und ein Detektor. Der Abstand des Präparats zum Detektor ist variierbar. Der Detektor ist ein Halbleitersperrzähler und fällt ein Ion ein, bildet in der Verarmungszone des pn-Übergangs einen Stromimpuls, der durch einen OP-Verstärker analysierbar verstärkt wird. Vor der Messung sollte die Verkabelung überprüft werden, wobei der Sperschichtzähler nur im spannungslosen Zustand verkabelt werden darf.

3.1 Bestimmung der Reichweite von Alpha-Strahlung

Zuerst wird der Glaszylinder evakuiert. Der Druck sollte dabei bei $p \approx 0$ liegen. Dann wird die Energieverteilung und die Zählrate der α -Strahlung in Abhängigkeit vom Druck p in Abständen von 50 mbar gemessen. Die Meßzeit beträgt 120 Sekunden.

3.2 Statistik des radioaktiven Zerfalls

Für die Statistik des radioaktiven Zerfalls wird bei einem evakuierten Glaszylinder die Zerfälle pro Zeiteinheit mindestens 100 mal gemessen. Die Meßzeit beträgt 10 Sekunden.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Reichweite von Alphastrahlung

Mittlere Reichweite

Es wurde eine Messung bei einem Abstand von 30mm sowie eine zweite bei 36mm zwischen Strahlungsquelle und Halbleiter-Detektor durchgeführt. Die aufgenommenen Werte sind im Anhang einzusehen. Wie in Abbildung 2 dargestellt, werden die Zählraten

gegen die effektive Länge aufgetragen.

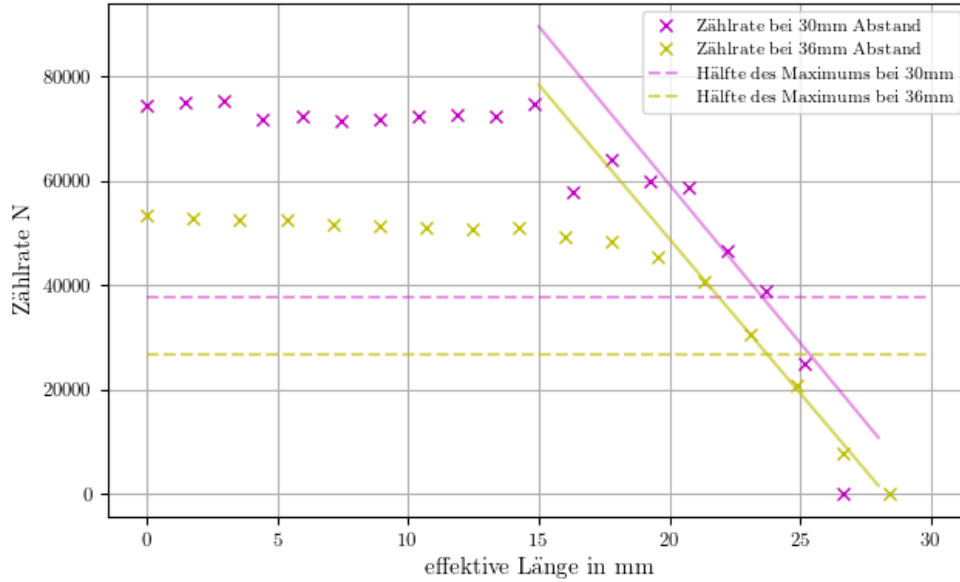


Abbildung 2: Die Zählraten als Funktion der effektiven Länge aufgetragen.

Die horizontalen Geraden schneiden die jeweiligen Kurven auf Höhe ihres halben Maximums. Zudem wird durch den nahezu linear absteigenden Teil der Messwerte eine Ausgleichsgerade gelegt. Dafür wird eine lineare Regression durch [1] durchgeführt. Die dazugehörige Geradengleichung lautet

$$y = mx + b. \quad (5)$$

Letztere ergibt die Geradenparameter

$$\begin{aligned} m_{30\text{mm}} &= -6054,6 \\ b_{30\text{mm}} &= 180363,5 \\ m_{36\text{mm}} &= -5903,2 \\ b_{36\text{mm}} &= 166936,8 \end{aligned}$$

für die Geraden in Abbildung 2.

Die x-Koordinate des Schnittpunkts der Horizontalen und der Ausgleichsgerade markiert die mittlere Reichweite der α -Teilchen. Sie werden zu

$$\begin{aligned} x_{30\text{mm}} &= 23,56\text{mm} \\ x_{36\text{mm}} &= 23,76\text{mm} \end{aligned}$$

ermittelt. Wird diese mittlere Reichweite in Gleichung 3 eingesetzt, können die Energien

$$\begin{aligned} E_{30\text{mm}} &= 20,96 \text{ MeV} \\ E_{36\text{mm}} &= 21,22 \text{ MeV} \end{aligned}$$

der Teilchen berechnet werden.

Energieverlust

Wird die Energie der α -Teilchen als Funktion der effektiven Länge graphisch aufgetragen und eine lineare Regression wie in Gleichung 5 durchgeführt, ist die Steigung der Ausgleichsgerade gleich dem Energieverlust $-\frac{dE}{dx}$. Mit Hilfe von python ergeben sich die Geradensteigungen zu Abbildung 3 und Abbildung 4 zu

$$\begin{aligned} -\frac{dE_{30}}{dx} &= 40,88 \frac{\text{MeV}}{\text{m}} \\ -\frac{dE_{36}}{dx} &= 54,0 \frac{\text{MeV}}{\text{m}}. \end{aligned}$$

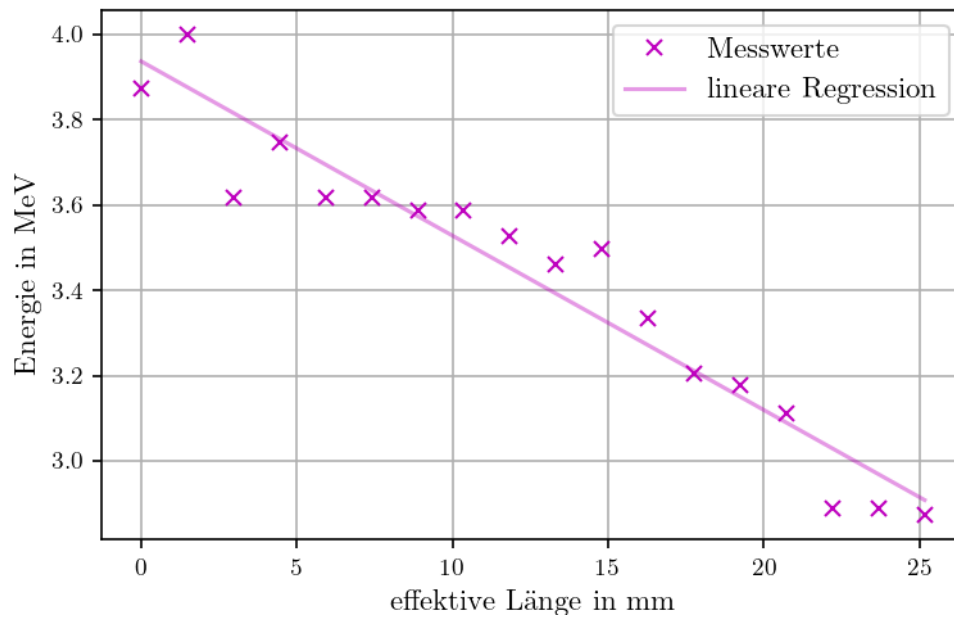


Abbildung 3: Die Energie gegen die effektive Länge aufgetragen. Gemessen in 30mm Distanz.

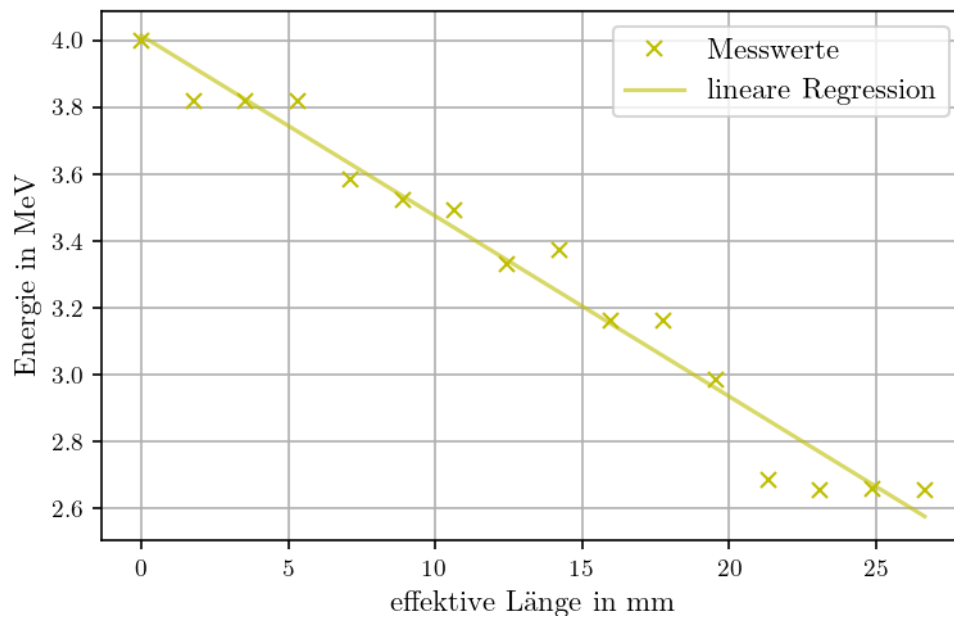


Abbildung 4: Die Energie gegen die effektive Länge aufgetragen. Gemessen in 36mm Distanz.

4.2 Statistik des radioaktiven Zerfalls

Zunächst werden mit Hilfe von python [1] der Mittelwert zu $\mu = 4038,17$ sowie die Standardabweichung von $\sigma = 134,35$ berechnet. Von diesen Werten ausgehend können dann die vergleichbaren Poisson- und Gaußverteilungen bestimmt werden. Diese sind zusammen mit den gemessenen Werten in Abbildung 5 aufgetragen.

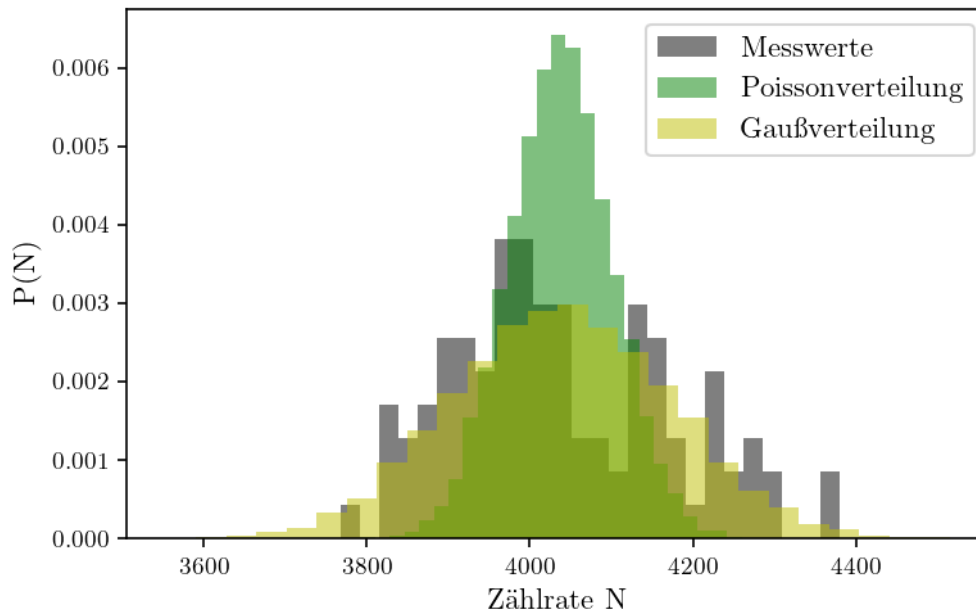


Abbildung 5: Die Zerfallsraten im Histogramm aufgetragen im Vergleich zu einer Poisson- und einer Gaußverteilung.

5 Diskussion

Die mittlere Reichweite $x_{30\text{mm}} = 23,56\text{mm}$ weicht um $\eta_x = 0,84\%$ von $x_{36\text{mm}} = 23,76\text{mm}$ ab.

Die Energien

$$E_{R, 30\text{mm}} = 20,96\text{MeV}$$

$$E_{R, 36\text{mm}} = 21,22\text{MeV}$$

weichen um $\eta_E = 1,22\%$ voneinander ab.

Diese Abweichung ist als eher gering einzustufen. Mögliche Fehlerquellen liegen unter Anderem in der Aufnahme der Messwerte, da beispielsweise das Ablesen des Abstands zwischen Probe und Halbleiter-Sperrschichtzähler sowie des Drucks sehr unpräzise ist. Bei der Auswertung der Statistik des radioaktiven ist zu beobachten, dass die Gaußglocke deutlich passender über der Verteilung der Messwerte liegt. Der Peak der gemessenen Verteilung liegt niedriger und ist flacher, als der der Poissonverteilung. Außerdem sind die gemessenen Werte breiter gestreut, als die poissonverteilten.

Literatur

- [1] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [2] *V701: Reichweite von Alpha-Strahlung*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.