

α -Strahlung in der Nebelkammer

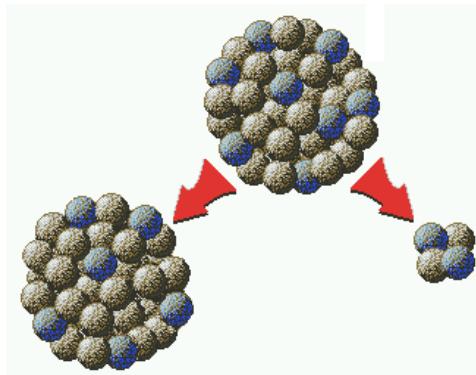
Bestimmung der freiwerdenden Strahlungsenergie beim α -Zerfall von Radon 220 und Polonium 216 durch Spurenvermessung in der Nebelkammer

Durch das Fotografieren und Vermessung der Ionisationsspuren von α -Teilchen in der kontinuierlichen Trockeneis-Nebelkammer konnten wir eine α -Energie von bis zu $6,4 \pm 0,1$ MeV nachweisen.

Dieser Wert liegt im Bereich der Literaturwerte für die betrachteten α -Strahler.

Radon 220 : 6,282 MeV

Polonium 216 : 6,774 MeV



PG 268 II

Tutorin: Cornelia Sing

Protokollant: Daniel Guyot

Teilnehmer:

Diana Bednarczyk

Fabian Fleischer

Heinrich Südmeyer

Matthias Sturm

Ramin Torabi

René Könnecke

Inhaltsangabe

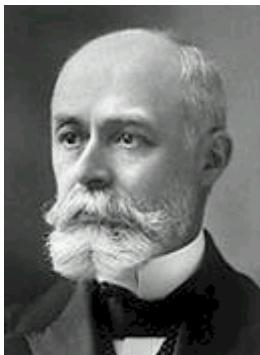
| | |
|--|----|
| 1. Ziel des Versuchs | 3 |
| 2. Theorie | 3 |
| 2.1 Radioaktivität, was ist das? | |
| 2.2 Der α-Zerfall | |
| 2.3 Reichweite von α-Teilchen in Materie | |
| 3. Die Nebelkammer | 7 |
| 3.1 Aufbau | |
| 3.2 Funktionsweise | |
| 4. Durchführung | 8 |
| 4.1 Geräteliste | |
| 4.2 Durchführung | |
| 5. Auswertung | 9 |
| 5.1 Was zerfällt nun wirklich in der Kammer ? | |
| 5.2 Spurenvermessung und Bestimmung der α-Energie | |
| 5.3 Fehlerbetrachtung | |
| 5.4 Diskussion der Ergebnisse | |
| 6. Schlussbetrachtung | 13 |
| 7. Hinweise für andere PL-Gruppen | 14 |
| 8. Literaturverzeichnis | 14 |
| 9. Nebelkammeraufnahmen | 15 |

1. Ziel des Versuches

Aus der Länge der Ionisationsspur der α -Teilchen in einer kontinuierlichen Nebelkammer wollen wir auf die Energie schließen, mit der die α -Teilchen beim Zerfall von Radon 220 bzw. Polonium 216 aus dem Kern emittieren.

2. Theorie

2.1 Radioaktivität, was ist das?

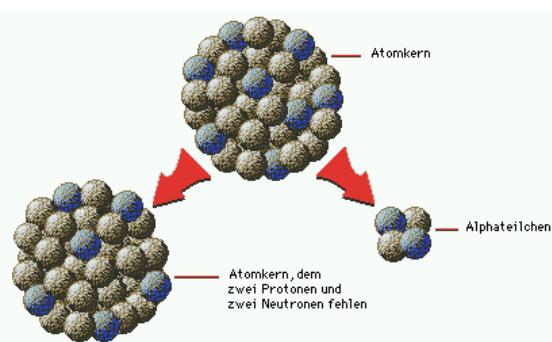


Als Radioaktivität bezeichnet man die spontane Umwandlung von Atomkernen unter gleichzeitiger Aussendung subatomarer Teilchen, die als Alphateilchen bzw. Betateilchen bezeichnet werden oder von elektromagnetischen Strahlen, die man Gammastrahlen bzw. Röntgenstrahlen nennt. Der französische Physiker Antoine Henri Becquerel entdeckte diese Erscheinung 1896, als er feststellte, dass das Element Uran eine photographische Platte schwärzen kann, selbst wenn es davon durch A. H. Becquerel Glas oder dickes schwarzes Papier getrennt wird. Er stellte darüber hinaus fest, dass dieselben Strahlen, welche die Schwärzung bewirken, ein Elektroskop entladen können und durchstrahlte Gase zu schwachen elektrischen Leitern machen. Daraus schloss er, dass diese Strahlen elektrische Ladung tragen. 1898 erkannten Gerhard Carl Schmidt in Erlangen und unabhängig davon die französische Chemikerin Marie Curie, dass Radioaktivität ein Phänomen ist, das gleichermaßen bei verschiedenen Elementen (hier Thorium) auftritt: Radioaktivität ist also eine Eigenschaft von Atomen und hängt nicht vom physikalischen oder chemischen Zustand ab. Aus der größeren radioaktiven Intensität des uranhaltigen Erzes Pechblende gegenüber den Uransalzen, mit denen Becquerel seine Versuche ausführte, schloss Marie Curie, dass dieses Erz weitere radioaktive Elemente enthalten müsse. Sie isolierte gemeinsam mit ihrem Ehemann Pierre Curie zwei neue radioaktive Elemente, Polonium und Radium aus der Pechblende. 1899 entdeckte der französische Chemiker André Louis Debierre das radioaktive Element Actinium. Im selben Jahr entdeckten die britischen Physiker Ernest Rutherford und Frederick Soddy das radioaktive Gas Radon, das sie in Verbindung mit Thorium, Actinium und Radium beobachtet hatten.

Schnell erkannte man, dass Radioaktivität eine viel geballtere Energiequelle darstellte als alles

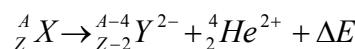
bis dahin Bekannte. Die Curies bestimmten die beim radioaktiven Zerfall von Radium frei werdende Wärmeenergie und fanden, dass ein Gramm Radium pro Stunde etwa eine Energie von 420 Joule freisetzt. Diese Wärmeabgabe hält über Jahre unvermindert an, während sich z. B. aus einem Gramm Kohle bei der Verbrennung eine Gesamtenergie von nur 33 600 Joule gewinnen lässt. Das Phänomen der Radioaktivität zog die Aufmerksamkeit von Wissenschaftlern der ganzen Welt auf sich, die auf der Grundlage dieser Entdeckungen weiterforschten. Viele Einzelheiten dieser Erscheinung wurden in den folgenden Jahrzehnten sorgfältig erforscht.

2.2 Der α -Zerfall



Beim α -Zerfall zerfällt ein atomarer Kern in einen Tochterkern niedrigerer Ordnung und ein Helium-Ion, das sogenannte α -Teilchen.

Dies geschieht gemäß folgender Zerfallsgleichung:



In Anlehnung an das

Potentialtopf-Modell, welches die Energien im Kern anschaulich macht, lässt sich der α -Zerfall so vorstellen:

Im Atomkern befinden sich die Nukleonen normalerweise auf diskreten Energieniveaus unterhalb des Nullniveaus. Ein radioaktiver Zerfall erfordert aber, dass z. B. ein Neutron mindestens auf dieses Nullniveau gehoben wird, damit es den Potentialtopf verlassen kann.

Für die α -Teilchen gibt es eine Möglichkeit, auf ein solch Abb. 2 : Potential-Topf zu gelangen, werden, da bei ihrer Bildung aus vier Nukleonen von den oberen Zuständen die Bindungsenergie des α -Teilchens in dem betreffenden Mutterkern zur Verfügung steht.

Nun stoßen sie mit einer bestimmten Frequenz gegen die Wände des Coulomb-Walls. Diese können nach der quantenmechanischen Vorstellung mit einer gewissen Durchdringungswahrscheinlichkeit durchtunnelt werden.

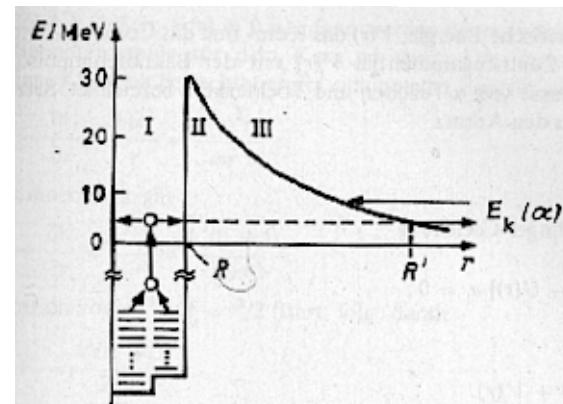


Abb. 1 : α -Zerfall

2.3 Reichweite von α -Teilchen in Materie

Bei der Durchquerung von Materie werden die α -Teilchen durch diese abgebremst. Die Spuren von α -Teilchen gleicher Anfangsenergie brechen praktisch alle bei der gleichen

Länge ab, und zwar so scharf, dass sich aus der Spurlänge auf diese Anfangsenergie schließen lässt.

Die Energieverluste, meist durch Stöße mit Elektronen bewirkt – abgesehen von den viel selteneren Kernstößen mit hoher Energieübertragung –, sind hier viel kleiner (ca. 30 eV) als die Energie des schnellen α -Teilchens (ca. 4 – 10 MeV), weshalb die α -Teilchen eine Vielzahl von Stößen (um 10^5 – $3 \cdot 10^5$) durchführen, bevor ihre kinetische Energie verbraucht ist.

Die statistische Häufigkeit der Stöße nimmt mit abnehmender Geschwindigkeit zu, da sich ein langsames Teilchen längere Zeit im Einflussbereich des Teilchens aufhält, mit dem es wechselwirkt und ihm daher mehr Energie und Impuls übertragen kann.

Der Energieverlust der α -Teilchen auf der Strecke dx in Abhängigkeit von der Teilchenenergie wird durch folgende Formel beschrieben:

$$\frac{dW}{dx} = \frac{Z^2 n Z' e^4 M_\alpha}{8\pi \epsilon_0^2 m_e} \frac{1}{W} \ln \frac{4m_e W}{M_\alpha I} \quad (\text{Quelle: Gerthsen Physik, S. 693})$$

wobei

Z – Ordnungszahl des α -Teilchens

n – Anzahldichte der bremsenden Materie

M_α – Masse des α -Teilchens

Z' – Ordnungszahl der bremsenden Materie

m_e – Ruhemasse des Elektrons

I – mittlere Ionisationsenergie der Atome

ϵ_0 – elektrische Feldkonstante

der bremsenden Materie

Die verlorene Energie wird in Wechselwirkung mit Elektronen, also zumeist in Ionisierung angelegt.

Aus Integration und bei Vernachlässigung des langsam veränderlichen \ln -Glieds ergibt sich für die Energie, die von einem Anfangswert W_0 nach einer Laufstrecke x übrig ist

$$W = \sqrt{W_0^2 - \frac{Z^2 n Z' e^4 M_\alpha}{4\pi \epsilon_0^2 m_e} x} \quad \textit{Whiddington-Gesetz}$$

Die Reichweite ist dasjenige x , wo die Energie Null wird:

$$r = \frac{4\pi \epsilon_0^2 m_e}{Z^2 n Z' e^4 M_\alpha} W_0^2, \text{ also } W_0 = \sqrt{\frac{Z^2 n Z' e^4 M_\alpha}{4\pi \epsilon_0^2 m_e} r}.$$

Das \ln -Glied, das wir vernachlässigt haben, schwächt den Abfall der Energie; dementsprechend erhält man nicht $r \sim W_0^2$, sondern nur etwa $r \sim W_0^{1,5}$ (Reichweitegesetz von Geiger).

Die α -Energie lässt sich ebenfalls in folgender Grafik aus der Reichweite ablesen:

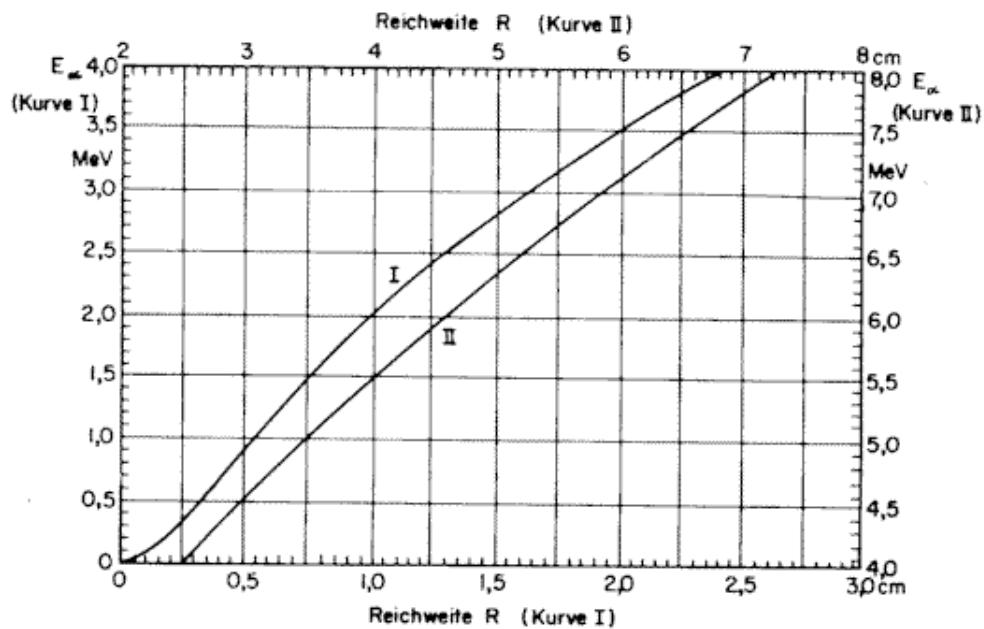


Abb. 3 : Reichweite von α -Teilchen in Luft

Quelle: Marmier, *Kernphysik I*, S. 55

3. Die Nebelkammer

3.1 Aufbau

Die kontinuierliche Trockeneis-Nebelkammer besteht aus einem Sockel mit Feder sowie einer Kammer mit Beleuchtungsfenster. In der Kammer ist horizontal eine Drahtnetz-Elektrode ($U=600V$) gespannt. Ferner befindet sich im oberen Kammerbereich eine Schale, die durch eine Öffnung im

kann. Eine zweite Öffnung ermöglicht das

Einbringen eines radioaktiven Strahlers oder Elements. Das von der UV-Lampe seitlich durch das Beleuchtungsfenster einfallende Licht beleuchtet das Geschehen in der Kammer.

Die Pfeile I und II in Abb. 5 geben den im Manual der Nebelkammer empfohlenen Blickwinkel ins Innere der Kammer an.

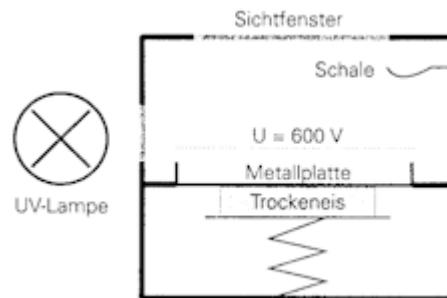


Abb. 4 : Nebelkammer (schematisch)

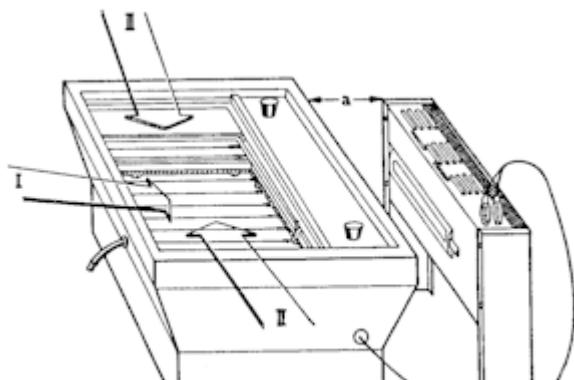


Abb. 5 : Nebelkammer (Außenansicht)

3.2 Funktionsweise

Auf den Kammerboden und in die im oberen Bereich befindliche Schale wird eine leicht verdampfende



Abb. 6 : Nebelspurenstehung

Flüssigkeit gegeben, in unserem Falle Methanol. Diese gibt Dampf an ihre Umgebung ab. Trockeneis, welches durch die Feder im Sockel gegen den Kammerboden gepresst wird, bewirkt ein starkes Temperaturgefälle zwischen Deckel und Boden der Kammer, es entsteht unten ein mit Alkoholdampf übersättigter Bereich.

Fliegt nun ein α -Teilchen durch diesen Bereich, so ionisiert es auch hier die Luftmoleküle, auf die es auf seiner Bahn stößt. Die entstehenden freien Ionen wirken nun als sogenannte Kondensationskeime. Methanol kondensiert in Form von kleinen Tröpfchen an ihnen und es bildet sich eine Nebelstruktur, welche die Flugbahn des α -Teilchens wiedergibt.

Das seitlich einfallende UV-Licht wird an diesen Spuren gestreut, weshalb sie durch das Sichtfenster gut zu erkennen sind.

Der Dampfraum der Kammer wird durch das elektrische Feld um die Drahtnetz-Elektrode von Ionen gesäubert.

4. Durchführung

4.1 Geräteliste

| Gerät | PL-Inventarnummer |
|---------------------------|-------------------|
| 1. Trockeneis-Nebelkammer | PL 650 |
| 2. Thorium 232 Präparat | |
| 3. Methanol | |
| 4. Trockeneis | |
| 5. Fotokamera | |
| 6. 400er Film | |
| 7. Foto-Stativ | |

4.2 Durchführung

Nachdem wir die Nebelkammer wie unter 3.1 beschrieben aufgebaut, die Kamera positioniert und uns mit Dosimetern versehen hatten, händigte uns unser Assistent das ansonsten im Bleitresor aufbewahrte Thorium 232 – Präparat aus. Dieses befindet sich in Stoff eingenäht in einer Kunststoffflasche, an der ein kleiner verschließbarer Schlauch befestigt ist.

Wir führten den Schlauch durch die dafür vorgesehene Öffnung im Deckel und brachten durch kräftiges Zusammendrücken der Flasche radioaktives Material in die Nebelkammer ein.

Hierbei handelt es sich jedoch nicht um das Thorium selbst, wie in anderen PL-Protokollen angenommen, da Thorium in Form eines Thoriumsalzes, also eines Feststoff vorliegt. Aus der Zerfallsreihe von Thorium 232 lässt sich erkennen, dass es sich viel eher um den Tochterkern Radon 220 handeln muss, da Radon ein Gas ist und ebenfalls α -Teilchen emittiert, wobei es zu Polonium 216 zerfällt, welches wiederum ein α -Strahler ist.

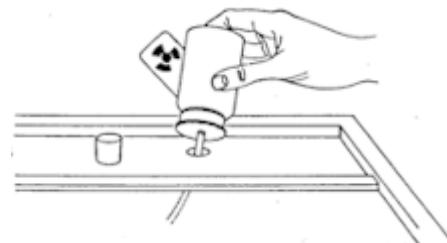


Abb. 7 : Einbringen des Präparats

Nach ersten Anlaufschwierigkeiten (Ursache war vermutlich die nicht gleichmäßige Verteilung des Trockeneises unter dem Kammerboden) konnten wir auch eine Vielzahl von Nebelspuren sehen, welche wir fleißig fotografierten.

Als Blickwinkel für die Fotokamera wechselten wir zwischen dem im Manual der Nebelkammer empfohlenen (siehe Abb. 5) und einer senkrechten Draufsicht, wobei sich letztere für die Auswertung als praktischer erweisen sollte.



Abb. 8 : Nebelspuren

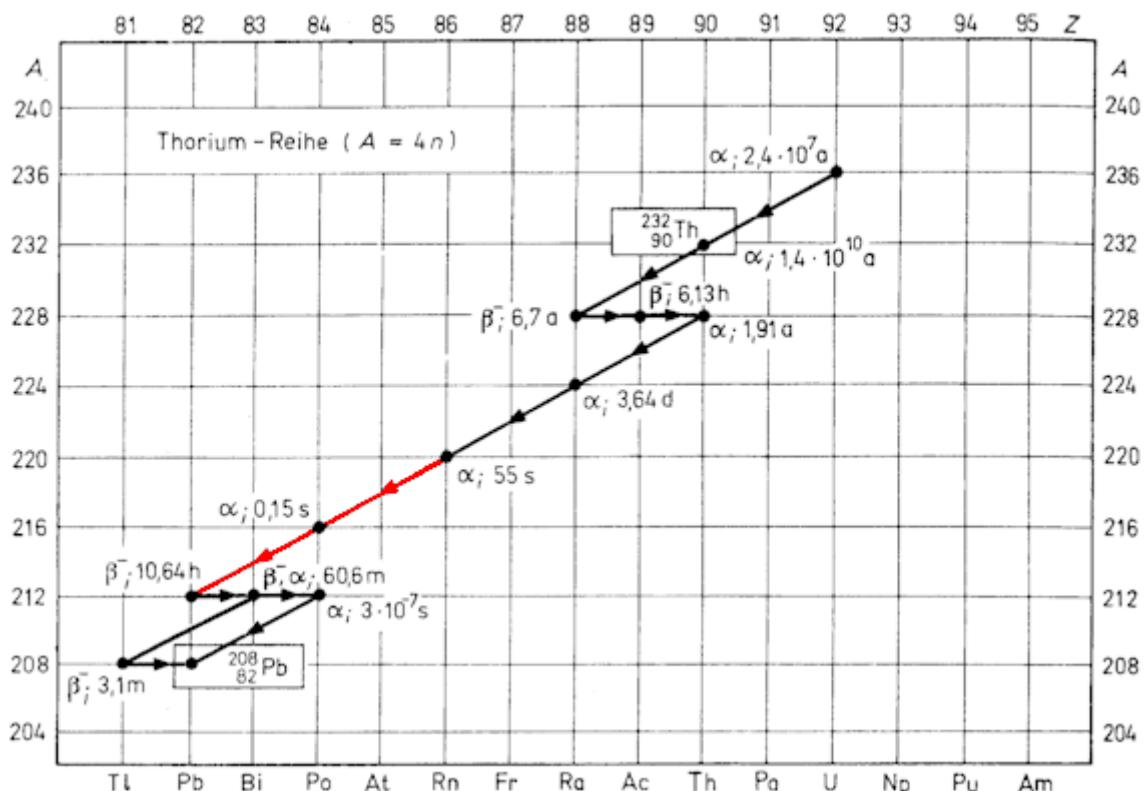


Abb. 9 : Zerfallsreihe von Thorium 232

5. Auswertung

5.1 Was zerfällt nun wirklich in der Kammer ?

| Element | $^{232}_{90}\text{Thorium}$ | $^{220}_{86}\text{Radon}$ | $^{216}_{84}\text{Polonium}$ |
|-------------------|--|---------------------------|------------------------------|
| Halbwertzeit | $1,405 \cdot 10^{11}$ a | 55 s | 0,15 s |
| α -Energie | 4,0123 MeV (78,2%) 3,9472 MeV (21,7%) | 6,282 MeV | 6,774 MeV |

Nach Einbringen des radioaktiven Präparats konnten wir für einen Zeitraum von ca. 10 min Spuren in der Nebelkammer beobachten. Die Zerfallshäufigkeit nahm gegen Ende dieser Zeitspanne kontinuierlich ab.

Radon mit seiner Halbwertzeit von 55 s ist das einzige Element der Thorium-Zerfallsreihe, dem dieser Beobachtungszeitraum entsprechen kann.

Auch die Auswertung der Fotos bestätigt unsere Vermutung vom Radon- und Polonium-Zerfall. Der aus dem Radon entstehende Poloniumkern hat eine Halbwertzeit von 0,15 s und wird folglich praktisch sofort weiterzerfallen. Es müssten also Nebelspuren auftreten, die nahezu in einem Punkt entspringen. Und tatsächlich haben wir solche V-Spuren beobachtet und auch fotografieren können.

Dass nicht jeder Zerfall eine dieser V-Spuren in der Nebelkammer erzeugt, liegt vermutlich daran, dass eines der beiden α -Teilchen den Methanol-Übersättigungsbereich verlässt und daher auch keine Spur mehr erzeugt, die wir sehen könnten.

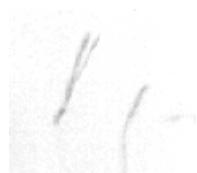
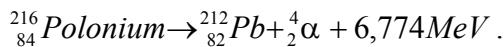


Abb. 10 : V-Spur

In der Nebelkammer spielen sich also hauptsächlich folgende Zerfälle ab:



5.2. Spurenvermessung und Bestimmung der α -Energie

$$W_0 = \sqrt{\frac{Z^2 n Z' e^4 M_\alpha}{4\pi \epsilon_0^2 m_e} r} \quad \text{mit}$$

Z' hier Kernladungszahl gemittelt über die Hauptbestandteile der Luft:

$$Z = 2$$

$$Z' = 0,78 \cdot Z(N_2) + 0,21 \cdot Z(O_2) + 0,01 \cdot Z(Ar_2) = 14,64$$

$$n = 2,547 \cdot 10^{25} \frac{1}{m^3}$$

mit

$$Z(N) = 7$$

$$Z(O) = 8$$

$$e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$Z(Ar) = 18$$

$$M_\alpha = 6,646 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

da sich Luft zusammensetzt aus

$$\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

$$78\% \text{ N}_2, 21\% \text{ O}_2, 1\% \text{ Ar}_2$$

$$m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

(Spurengase sind hier vernachlässigt).

| Foto | Spur | Reichweite [cm] | α -Energie [MeV] ohne Reichweitegesetz | α -Energie [MeV] mit Reichweitegesetz | α -Energie [MeV] nach Abb. 3 |
|------|------|-----------------|--|---|--|
| 1 | a | $2,42 \pm 0,08$ | $2,62 \pm 0,04$ | $3,61 \pm 0,07$ | $4,0 \pm 0,1$ |
| | b | $2,42 \pm 0,08$ | $2,62 \pm 0,04$ | $3,61 \pm 0,07$ | $4,0 \pm 0,1$ |
| 2 | c | $3,9 \pm 0,15$ | $3,33 \pm 0,06$ | $4,96 \pm 0,12$ | $5,4 \pm 0,1$ |
| | d | $5,0 \pm 0,15$ | $3,77 \pm 0,06$ | $5,86 \pm 0,12$ | $6,3 \pm 0,1$ |
| | e | $5,1 \pm 0,15$ | $3,80 \pm 0,06$ | $5,94 \pm 0,13$ | $6,4 \pm 0,1$ |
| 3 | f | $1,97 \pm 0,08$ | $2,36 \pm 0,05$ | $3,15 \pm 0,09$ | $3,5 \pm 0,1$ |
| | g | $2,42 \pm 0,08$ | $2,62 \pm 0,04$ | $3,61 \pm 0,07$ | $4,0 \pm 0,1$ |
| | h | $2,88 \pm 0,08$ | $2,86 \pm 0,04$ | $4,06 \pm 0,08$ | $4,4 \pm 0,1$ |
| | j | $3,64 \pm 0,08$ | $3,21 \pm 0,04$ | $4,74 \pm 0,08$ | $5,1 \pm 0,1$ |
| 4 | k | $3,0 \pm 0,15$ | $2,92 \pm 0,07$ | $4,17 \pm 0,13$ | $4,5 \pm 0,1$ |
| | l | $3,4 \pm 0,15$ | $3,10 \pm 0,07$ | $4,53 \pm 0,14$ | $4,9 \pm 0,1$ |
| | m | $3,0 \pm 0,15$ | $2,92 \pm 0,07$ | $4,17 \pm 0,13$ | $4,5 \pm 0,1$ |
| 5 | n | $4,4 \pm 0,15$ | $3,53 \pm 0,06$ | $5,38 \pm 0,12$ | $5,8 \pm 0,1$ |
| 6 | o | $2,42 \pm 0,08$ | $2,62 \pm 0,04$ | $3,61 \pm 0,07$ | $4,0 \pm 0,1$ |
| 7 | p | $4,4 \pm 0,15$ | $3,53 \pm 0,06$ | $5,38 \pm 0,12$ | $5,8 \pm 0,1$ |

Der Fehler berücksichtigt hier lediglich die Ungenauigkeiten beim Ausmessen der Nebelspuren auf den Fotos!

Die Werte der α -Energie berechnet nach dem Whiddington-Gesetz mit Berücksichtigung des Reichweitegesetzes von Geiger liegen ca. 30 % über denen ohne Berücksichtigung des Reichweitegesetzes. Die Vernachlässigung des In-Gliedes in der Theorie hat also einen recht großen Einfluss.

Die aus Abb. 3 abgelesenen α -Energien für die einzelnen Reichweiten liegen wiederum 7 – 10 % höher.

Sie scheinen am vertrauenswürdigsten, da die Kurven im Diagramm vermutlich ohne solche mathematischen Vereinfachungen, wie wir sie benutzt haben, berechnet wurden.

5.3. Fehlerbetrachtung

Folgende Fehler könnten im Rahmen des Versuchs aufgetreten sein:

- Messfehler bei der Bestimmung der Spurlängen auf den Fotos ($\Delta R = 0,08$ bzw. $0,15$ cm)
- α -Teilchen hat die übersättigte Dampfphase verlassen, die Spurlänge entspricht also nicht der tatsächlichen Reichweite
- α -Teilchen war im Moment der Aufnahme noch in Bewegung
- α -Teilchen hat auch eine Geschwindigkeitskomponente in vertikaler Richtung, die auf den Fotos nicht erkennbar ist
- $Z' = 14,64$ berücksichtigt zwar die Hauptbestandteile der Luft, nicht jedoch das Methanol, das sich noch in der Nebelkammer befindet
- $n = 2,547 \cdot 10^{25} \frac{1}{m^3}$ ist die Anzahldichte bei 20°C und 1 atm auf Nullniveau (Meeresspiegel). Die Temperatur in der Nebelkammer dürfte aufgrund der Trockeneiskühlung deutlich unter 20°C gelegen haben (haben wir leider nicht gemessen).

5.4. Diskussion der Ergebnisse

Die Reichweitenmessfehler der Fotos 1, 3 und 6 sind kleiner, da diese Aufnahmen senkrecht von oben gemacht wurden, die Verzerrung der Längen als sehr klein ist und von uns nicht betrachtet wurde.

Foto 2, 4, 5 und 7 sind dagegen aus einem schrägen Blickwinkel aufgenommen worden. Dies führt insbesondere zu einer Verzerrung in Querrichtung, die wir über die Strahlengesetze versucht haben zu berücksichtigen. Die Spurlänge setzte sich dann zusammen aus einer Längs- und einer Querkomponente.

Unsere Längenvermessung setzt jedoch immer voraus, dass sich das α -Teilchen in einer horizontalen Ebene durch die übersättigte Methanoldampfphase bewegt hat. Dies wird allerdings statistisch nahezu nie der Fall sein. Die Bewegungsrichtung wird immer auch eine Komponente in vertikaler Richtung haben. Auch ist nicht zu erkennen, ob ein Spurende auf den tatsächlichen Stillstand des α -Teilchens zurückzuführen ist, oder das

Teilchen nur den Nachweisbarkeitsbereich verlassen hat bzw. im Moment der Aufnahme noch in Bewegung war.

Die Bildung des Mittelwertes über unsere bestimmten α -Energien ist hier nicht sinnvoll, da die gemessenen Reichweiten nicht um den tatsächlichen Wert herum verteilt sind, sondern alle möglicherweise aufgetretenen Fehler (bis auf Messfehler am Foto) dazu führen, dass die gemessene Reichweite unterhalb des tatsächlichen Wertes liegt.

Eine qualitative Bestimmung der α -Energien von Radon 220 und Polonium 216 ist daher leider auch nicht möglich. Dazu müsste man die genaue Reichweite der α -Teilchen bestimmen, was über ein zweidimensionales Foto nicht geht.

Aber immerhin liegen unsere größten bestimmten α -Energie mit bis zu $6,4 \pm 0,1$ MeV im Bereich der Literaturwerte der untersuchten α -Strahler.

6. Schlussbetrachtung

Das gesetzte Versuchsziel, diskrete α -Energien für Radon 220 und Polonium 216 zu bestimmt, konnten aufgrund der zu großen Fehler vor allem verursacht durch eine zweidimensionale Auswertung, wo eine dreidimensionale erforderlich gewesen wäre, nicht erreicht werden.

Allerdings liegen unsere größten berechneten α -Energien im Bereich von $5,8 \pm 0,1$ MeV bis $6,4 \pm 0,1$ MeV und damit im Literaturwertebereich (Radon 220: 6,282 MeV; Polonium 216: 6,774 MeV). So konnten wir immerhin nachweisen, dass α -Energien in dieser Größenordnung tatsächlich frei werden und mit dem Prinzip der Nebelkammer bestimmt werden können.

Auch sind wir, nach anderen PL-Protokollen zu urteilen, eine der wenigen Gruppen, die sich Gedanken darüber gemacht hat, welche Elemente tatsächlich in der Nebelkammer zerfallen und die Kondensationsspuren verursachen.

Auf jeden Fall hat der Versuch eine Menge Spaß gemacht. Die Nebelkammer war schnell einsatzbereit und es sieht einfach faszinierend aus, was sich in der Kammer abspielt.

7. Hinweise für andere PL-Gruppen

- Die Nebelkammeraufnahmen sind zur Spurenvermessung besser geeignet, wenn sie senkrecht von oben gemacht werden und die Zahl der Spuren übersichtlich ist. In einem Chaos von Nebelspuren ist es schwierig, die einzelnen auseinander zu halten.
- Wir haben eine ganze Weile nach Trockeneis gesucht und sind schließlich beim Hausmeister in der Chemie fündig geworden.

8. Literaturverzeichnis

H. Vogel, *Gerthsen Physik*, 19. Auflage, Springer-Verlag 1997

G. Musiol u. a., *Kern- und Elementarteilchenphysik*, Verlag Harri Deutsch 1995

P. Marmier, *Kernphysik I*, Verlag der Fachvereine Zürich 1977

Eichholz, Poston, *Principles of Nuclear Radiation Detection*, Ann Arbor Science 1979

W. Gentner, *An Atlas of typical Expansion Chamber Photographs*, Pergamon Press, London 1954

T. Mayer-Kuckuk, *Kernphysik*, Teubner-Verlag 1992

D. R. Lide, *Handbook of Chemistry and Physics, 76th Edition*, CRC Press, Inc. 1995-1996
physics.nist.gov

E. Ammedick, *Lehrbuch der Chemie*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982

Kusch, *Tafelwerk*, Cornelison Verlag 1993

Anlage:

- 8 Fotos