

IIA9

Modul Atom-/Kernphysik

Reichweite von Alphateilchen

Alphastrahlung besteht aus Heliumkernen, welche bei Alphazerfällen entstehen. Sie gehört zur Kategorie der ionisierenden Strahlung. Alphateilchen wechselwirken mit Gasatomen in der Luft, indem sie diese ionisieren. Durch diese Stöße mit Luftteilchen verlieren die Alphateilchen kinetische Energie, was ihre Reichweite in Luft beschränkt. Bei diesem Experiment soll die Reichweite von Alphateilchen aus einer radioaktiven ^{241}Am Quelle in Luft auf zwei Arten untersucht werden.

Versuch IIA9 - Reichweite von Alphateilchen

Alphastrahlung besteht aus Heliumkernen, welche bei Alphazerfällen entstehen. Sie gehört zur Kategorie der ionisierenden Strahlung. Alphateilchen wechselwirken mit Gasatomen in der Luft, indem sie diese ionisieren. Durch diese Stösse mit Luftteilchen verlieren die Alphateilchen kinetische Energie, was ihre Reichweite in Luft beschränkt. Bei diesem Experiment soll die Reichweite von Alphateilchen aus einer radioaktiven ^{241}Am Quelle in Luft auf zwei Arten untersucht werden.

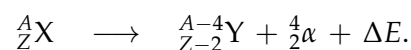
1.1 Fragen zur Vorbereitung

- Was heisst ionisierende Strahlung? Welche Arten von ionisierender Strahlung gibt es? Welche Gefahren gehen von den verschiedenen Typen der ionisierenden Strahlung aus? Wie kann man sich schützen?
- Was geschieht bei einem Alphazerfall?
- Was passiert, wenn ein Alphateilchen durch die Luft fliegt?
- Was versteht man genau unter der Reichweite eines Alphateilchens? Weshalb ist diese nicht unendlich?
- Wie funktioniert ein Halbleiterdetektor? Was lässt sich damit messen, was eher nicht?
- Wozu braucht man bei diesem Experiment eine Spannungsquelle? Was ist diesbezüglich zu beachten?
- Weshalb misst man bei diesem Versuch die Reichweite von Alphateilchen nicht dadurch, dass man bei Normaldruck den Abstand zwischen dem Alphastrahler und dem Detektor ändert?
- Was ist Alphaspektrometrie? Wo findet Alphaspektrometrie Anwendung?
- Was ist die Braggkurve? Weshalb ist der Braggpeak beispielsweise in der Krebstherapie von grosser Bedeutung?

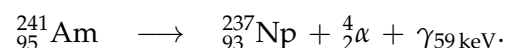
1.2 Theorie

1.2.1 Alphazerfall

Alphastrahlung ist eine ionisierende Strahlung, die beim Alphazerfall auftritt. Ein Radionuklid, welches Alphastrahlung aussendet, wird als Alphastrahler bezeichnet. Bei einem Alphazerfall gibt ein Mutternuklid X mit Massenzahl A und Ordnungszahl Z ein Alphateilchen, bestehend aus zwei Neutronen und zwei Protonen ab. Dieses Alphateilchen entspricht einem Heliumkern, es hat Massenzahl 4 und Ordnungszahl 2. Das Tochternuklid Y hat entsprechend eine um 4 verringerte Massenzahl und eine um 2 verringerte Ordnungszahl. Bei einem Alphazerfall wird zusätzlich ΔE an Energie frei. Allgemein lässt sich ein Alphazerfall schreiben als



Das Element Americium hat die Massenzahl 241 und die Ordnungszahl 95. Das bedeutet, ein Americiumkern hat 95 Protonen und 146 Neutronen. Es handelt sich um einen Alphastrahler mit einer Halbwertszeit von 432 Jahren. Bei einem Alphazerfall stösst der Americiumkern ein Alphateilchen aus. Übrig bleibt dann ein Neptuniumkern mit Ordnungszahl 93 und Massenzahl 237. Der Alphazerfall lässt sich aufschreiben als



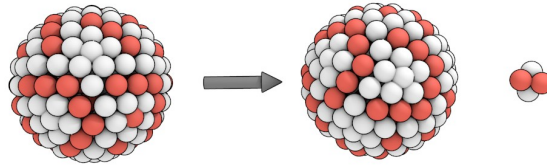


Abbildung 1.1: Beim Alphazerfall gibt ein Atomkern ein Alphateilchen ab. Dieses besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen, was einem Heliumkern entspricht. Entsprechend hat der ursprüngliche Atomkern anschliessend eine um zwei reduzierte Ordnungszahl und eine um vier reduzierte Massenzahl. Oft wird bei Alphazerfällen auch noch Gammastrahlung γ abgegeben.

1.2.2 Wechselwirkung von Alphastrahlung mit Materie

Die Wechselwirkung von schnellen, geladenen Teilchen wie Alphateilchen wird dominiert durch die elektrischen Kräfte. Der grösste Energietransfer tritt durch Stösse mit den Elektronen der Materie auf. Dabei werden die Atomelektronen auf angeregte Energiezustände gehoben. In der überwiegenden Zahl der Fälle wird beim Zusammenstoss eines Alphateilchens mit einem Elektron der Materie genügend Energie übertragen, um das Elektron abzulösen - man nennt diesen Prozess Ionisation. Das Alphateilchen verliert seine kinetische Energie vorwiegend durch Ionisation, also ein solches entfernen von Elektronen aus Atomen. Fliegt ein Alphateilchen durch ein Gas, so beträgt der Energieverlust pro Ionisation rund 30 eV.

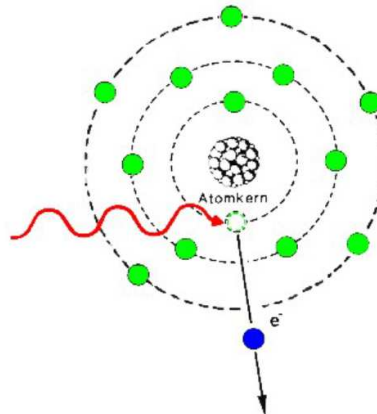


Abbildung 1.2: Ein Alphateilchen (rot) ionisiert ein Atom durch den Zusammenstoss mit einem Elektron. Das Elektron wird dabei aus dem Atom herausgeschleudert. Bei jeder solchen Ionisation verliert das Alphateilchen kinetische Energie. Die Reichweite von Alphateilchen hängt mit der Dichte der Materie und dem Druck des Gases zusammen.

Für Alphateilchen in einem Gas gilt, je grösser der Druck des Gases, desto näher liegen die Gasteilchen zusammen und desto mehr Stösse wird ein Alphateilchen beim Durchqueren erfahren. Die Stösse sind zumeist mit der Ionisation von Gasatomen verbunden und verringern die kinetische Energie der Alphateilchen, was die Reichweite im entsprechenden Medium reduziert. Als Reichweite R wird die Distanz bezeichnet, nach welcher die Anzahl der Alphateilchen sich halbiert hat (siehe Abbildung 1.3).

Bereits ein Blatt Papier vermag Alphastrahlung abzuschirmen. Die Aluminiumwand der Messkammer reicht daher als Abschirmung vor der ^{241}Am Quelle in diesem Versuch aus.

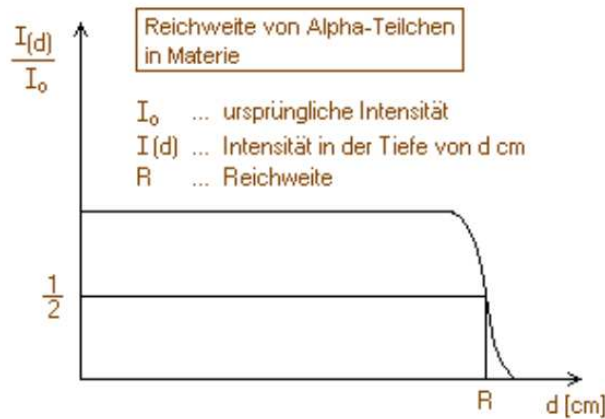


Abbildung 1.3: Über eine grosse Distanz d ist die Intensität I und damit die Anzahl der Alphateilchen konstant. Auf einem kurzen Streckenintervall kommen die meisten Alphateilchen zum Stillstand. Als Reichweite R wird die Distanz bezeichnet, nach der die Anzahl der Alphateilchen auf die Hälfte abgesunken ist.

1.2.3 Halbleiterdetektor

Ein Halbleiterdetektor besteht prinzipiell aus einem Halbleiter-Einkristall (grau in der Abbildung 1.4) mit einer Sperrschicht, die auf unterschiedliche Arten erzeugt werden kann. Mit Sperrschicht ist ein Bereich ohne Raumladungen gemeint. Dieser Halbleiter-Einkristall befindet sich zwischen Kathode und Anode, wobei zwischen diesen beiden Elektroden eine Spannung in Sperrrichtung angelegt wird. So wird die Sperrschicht gezielt vergrössert.

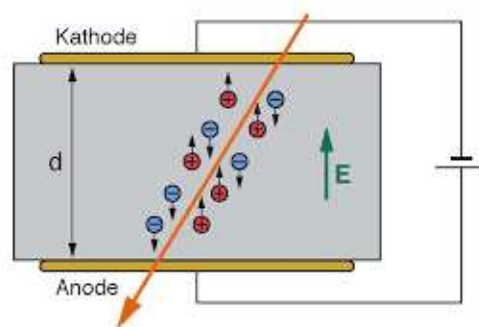


Abbildung 1.4: Ein Halbleiterdetektor besteht aus einem Halbleiter-Einkristall ohne Raumladungen (grau dargestellt). Dieser befindet sich zwischen zwei Elektroden - einer Anode und einer Kathode. Es ist eine Spannung angelegt. Fliegt ein ionisierendes Teilchen durch den Detektor, dann werden im Halbleiter-Einkristall Elektronen (blau) und Löcher (rot) erzeugt. Diese werden, noch bevor sie rekombinieren und sich damit vernichten könnten, im elektrischen Feld zwischen den Elektroden beschleunigt, gesammelt und führen so zu einem messbaren Stromimpuls, der proportional ist zur Energie des eingeflogenen ionisierenden Teilchens.

Ein ionisierendes Teilchen, also beispielsweise ein Alphateilchen, das in den Detektor fliegt, erzeugt in der Halbleiter-Sperrschicht sogenannte Elektron-Loch-Paare. In Abbildung 1.4 sind Elektronen blau und Löcher rot dargestellt. Diese werden direkt nach der Erzeugung abhängig von ihrer Ladung im elektrischen Feld zur entsprechenden Elektrode hin bewegt und gesammelt. Sie geben Auskunft über die Energie des eingeflogenen Teilchens. Da die Sperrschicht einen sehr hohen elektrischen Widerstand hat und somit dort eine hohe elektrische

Feldstärke E entsteht, gelingt es, die Elektronen und Löcher abzusaugen, bevor sie rekombinieren können, wobei sie sich vernichten würden.

Halbleiterzähler sind für spektroskopische Anwendungen von Alpha- und Gammastrahlung die primäre Wahl. Durch die direkte Sammlung der sekundären Elektron-Loch-Paare und die geringe Energie für deren Erzeugung von nur rund 3 eV haben sie eine sehr hohe Energieauflösung.

Im vorliegenden Experiment wird ein Silizium-Einkristall verwendet, welcher mit einer sehr dünnen Goldschicht bedampft wurde. Dadurch kann der Energieverlust der Alphastrahlung möglichst klein gehalten werden.

1.2.4 Varianz der Impulszahl bei einer Einzelmessung

Zählt man mit einem Detektor die Zerfälle einer radioaktiven Quelle über ein Zeitintervall, so spricht man von einer akkumulierten Impulszahl s . Wiederholt man die Messung, findet man in der Regel eine andere Impulszahl. Zerfallsprozesse sind statistischer Natur. Aus vielen identischen Messungen kann eine mittlere Impulszahl \bar{s} bestimmt werden. Die Verteilung von solchen Messungen der Impulszahl s über gleiche Zeitintervalle folgt einer Poissonverteilung Π mit

$$\Pi(s) = \frac{(\bar{s})^s}{s!} \cdot e^{-(\bar{s})}.$$

Die Standardabweichung der Einzelmessung und damit deren statistischer Fehler ist gegeben durch

$$\sigma = \sqrt{s}.$$

Wenn zum Beispiel in einem Experiment $s = 900$ Impulse gemessen werden, dann beträgt der statistische Fehler der Messung $\sigma = \pm 30$ Impulse. Das heisst, man erwartet mit 68% Wahrscheinlichkeit, dass eine weitere Messung mit gleicher Messdauer zwischen 870 und 930 Impulsen zu liegen kommt. Dies daher, weil man davon ausgeht, dass die gemessenen Impulse Gauss-verteilt sind und das Intervall mit $\pm\sigma$ vom *best value* aus betrachtet dem 68% Vertrauensintervall entspricht (siehe Einführung Fehlerrechnung). Der mittlere relative Fehler σ/s beträgt bei dieser Messung rund 3%. Für den statistischen Fehler zusammengesetzter Resultate ist die Formel für die Fehlerfortpflanzung gültig.

1.3 Experiment

1.3.1 Versuchszubehör

Für diesen Versuch wird folgendes Material benötigt:

Komponente	Anzahl
Messkammer mit ^{241}Am Quelle	1
Halbleiterdetektor in Messkammer	1
Vakuumpumpe	1
Hochspannungsversorgung	3
Verstärker	1
Computer	1
Manometer	1
BNC Kabel	5
Rack für Module	1

1.3.2 Messkammer mit Unterdruck

In der Abbildung 1.5 ist der Versuchsaufbau zu sehen. Die Vakuumpumpe befindet sich am Boden und ist über einen Metallschlauch mit Heizkolben mit der Apparatur verbunden. Die Messkammer ist würfelförmig aussen angebracht, darin befinden sich die ^{241}Am Quelle sowie der Silizium Halbleiterdetektor. Das schwarze Ventil dient dem Belüften der Vakuumpumpe, mit dem gelben Nadelventil kann die Messkammer belüftet werden. Der Durchgang zwischen der Messkammer und der Vakuumpumpe kann mit den roten Ventilen geöffnet und geschlossen werden.

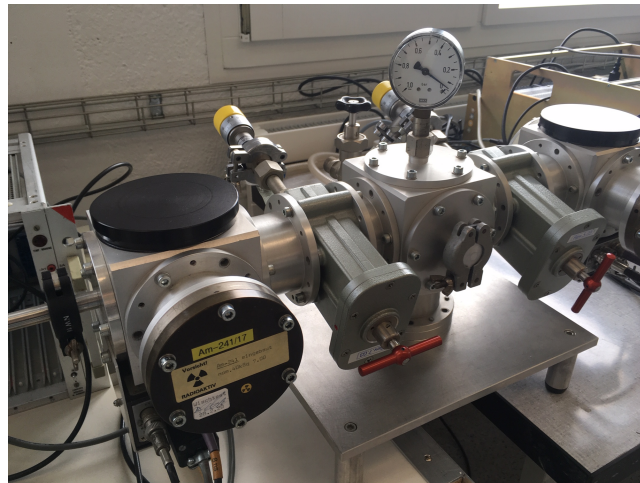


Abbildung 1.5: Das runde, weisse Manometer zeigt den Luftdruck in der Vakuumpumpe an. Diese steht am Boden und ist über einen Schlauch, der zwischen den Tischen hochgezogen wird, mit dem Versuchsaufbau verbunden. Mit dem schwarzen Ventil kann die Pumpe belüftet werden. Mit den roten Ventilen kann der Durchgang zwischen der Vakuumpumpe und der würfelförmigen Messkammer geöffnet und geschlossen werden. Ein gelbes Nadelventil dient dem Belüften der Messkammer. In der Messkammer befinden sich eine radioaktive ^{241}Am Quelle und ein Halbleiterdetektor. Es sind symmetrisch zwei Messkammern angeschlossen, so dass der Versuch zeitgleich unabhängig von zwei Arbeitsgruppen durchgeführt werden kann.

Im Rack neben der Messkammer befinden sich die Hochspannungsversorgung, der Zähler sowie ein Verstärker. Ein Computer mit Analysesoftware ist an den Detektor angeschlossen. Damit können Spektren aufgezeichnet werden.

1.3.3 Funktionsweise des Zählers

Das Zählermodul ist braun und befindet sich im Rack. Es zeigt oben im *DISPLAY* die gemessene Anzahl Impulse an (englisch counts). Allerdings werden diese Impulse nur gezählt, während das *GATE* geöffnet ist. Dies ist am roten Lämpchen zu erkennen - leuchtet über dem Wort *GATE* kein Lämpchen, so ist das *GATE* geschlossen und der Zähler ist ausgeschaltet.

Die Dauer, wie lange dieses Gate jeweils offen sein soll, entspricht der Messdauer. Möchte man beispielsweise die Impulse während einer Minute zählen, so muss man dafür sorgen, dass das Gate während einer Minute geöffnet ist. Dies macht man im mittleren Teil des Zählers unter *TIMER*. Dort leuchten zwei Ziffern rot auf. Mit der Taste *INC M* lässt sich die linke Ziffer verändern, mit der Taste *INC N* die rechte. Die Taste ist jeweils so oft zu drücken, bis die gewünschte Ziffer eingeblendet steht. Der *DWELL* ist auf *OFF* zu belassen. Mit der Taste *TIME BASE SELECT* sollte das Lämpchen auf *0.1 SEC* gestellt werden. Für die Einstellung der gewünschten Messdauer gilt:

$$0.1 \text{ s} \cdot \text{Linke Ziffer} \cdot 10^{\text{Rechte Ziffer}}$$

Mit der Taste *RESET* wird der Timer auf null gesetzt. Anschliessend kann dieser mit der Taste *COUNT* gestartet werden. Nach Ablauf der im *TIMER* eingestellten Messdauer schliesst das *GATE* automatisch und das Ergebnis kann unter *DISPLAY* abgelesen werden. Danach ist die Taste *STOP* zu drücken und der *TIMER* mit der Taste *RESET* wieder auf null zurück zu setzen. Mit *COUNT* kann die neue Messung wieder gestartet werden, und so weiter.

Beispiel: In Abbildung 1.6 ist im *TIMER* die Linke Ziffer eine 6 und die rechte Ziffer eine 2. Dann ist der Zähler eingestellt auf eine Messzeit von

$$0.1 \text{ s} \cdot 6 \cdot 10^2 = 60 \text{ s}.$$

Startet man jetzt eine Messung, so bleibt das *GATE* während genau 60 Sekunden geöffnet. Anschliessend kann unter Display abgelesen werden, wie viele Impulse der Zähler während diesen 60 Sekunden erfasst hat.



Abbildung 1.6: Der Zähler befindet sich im Rack der Hochspannungsversorgung und dem Verstärker (englisch amplifier). In der Mitte des Zählers kann eine Messdauer voreingestellt werden, während der dann die Ereignisse gezählt werden.

1.4 Versuchsdurchführung

1.4.1 Vor dem Versuch

Mache dich vor der Durchführung des Experiments mit dem Versuchsaufbau vertraut. Gehe dafür wie folgt vor, um Beschädigungen des Detektors zu verhindern.

- Vergewissere dich, dass die **Hochspannung ausgeschaltet** ist. Öffne dann die Abdeckung oben an der Messkammer. Du siehst jetzt durch eine Glasscheibe in die Messkammer hinein (siehe Abbildung 1.7). Kannst du den Halbleiterdetektor und die radioaktive ^{241}Am Quelle sehen?
- Schliesse die Abdeckung wieder sorgfältig. Es ist wichtig, dass die Abdeckung immer geschlossen ist, während der Detektor in Betrieb ist, das heisst, wenn der Detektor unter Hochspannung steht. Andernfalls kann dieser beschädigt werden. Während der gesamten Versuchsdurchführung darf die Abdeckung der Messkammer nicht erneut geöffnet werden!

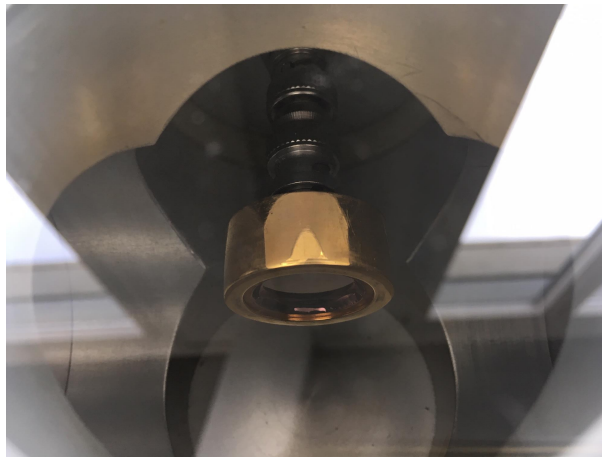


Abbildung 1.7: Der Silicium Halbleiterdetektor hat ein kreisförmiges Eintrittsfenster. Die ^{241}Am Quelle ist ein Alphastrahler und befindet sich dem Detektor gegenüber.

Nun soll zuerst streng nach Anleitung ein Vakuum in der Messkammer erzeugt und anschliessend der Computer gestartet werden. Danach ist das System zu kalibrieren, bevor mit den Messungen begonnen werden kann.

1.4.2 Vakuum in der Messkammer erzeugen

Bei diesem Experiment soll die mit dem Halbleiterdetektor gemessene Zählrate bei unterschiedlichem Luftdruck untersucht werden. Der Luftdruck in der Messkammer kann über ein digitales Manometer abgelesen werden, welches in Abbildung 1.8 zu sehen ist.

Gehe wie folgt vor, um ein Vakuum in der Messkammer zu erzeugen:

1. Schalte das digitale Manometer ein (siehe Abbildung 1.8). Der Schalter zum Einschalten befindet sich auf der Rückseite des Geräts. Dieses Manometer zeigt den Luftdruck in der Messkammer an.
2. Vergewissere dich, dass das schwarze Ventil zum Beüften der Vakuumpumpe (siehe Abbildung 1.9) zu ist (im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag drehen).

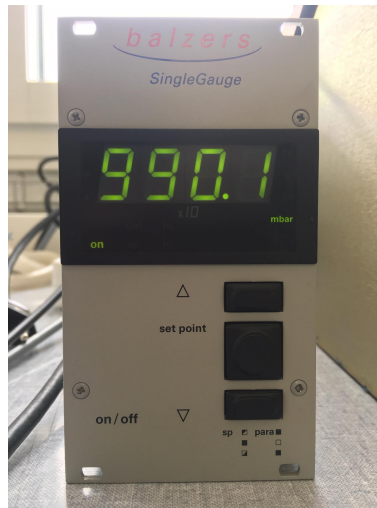
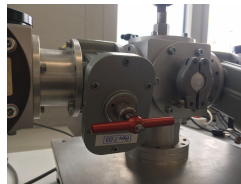


Abbildung 1.8: Das Manometer zeigt den Luftdruck in der Vakuumkammer an. Vergewissere dich, dass dieser in der Einheit mbar angegeben ist (unten rechts leuchtet 'mbar'). Das Manometer lässt sich auf der Rückseite einschalten.

3. Den roten Hahn um 90° drehen, herausziehen und dann um 90° zurückdrehen. Dadurch wird die Messkammer zur Vakuumpumpe hin geöffnet.



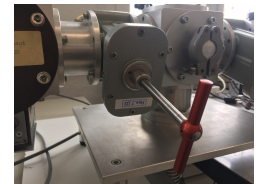
Schritt 1



Schritt 2



Schritt 3



Schritt 4

4. Drücke den grünen Knopf auf der Vakuumpumpe, um diese einzuschalten.
5. Beobachte das digitale Manometer. Sobald der gewünschte Druck von $p = 0.1$ mbar in der Messkammer erreicht ist, muss der rote Hahn wieder durch Drehung zurück um 90°, hinein schieben und erneut um 90° drehen, in die Ausgangsposition zurückgebracht werden. Dadurch wird die Messkammer zur Vakuumpumpe hin geschlossen.



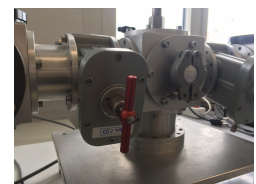
Schritt 1



Schritt 2



Schritt 3



Schritt 4

6. Beobachte den Druck in der Messkammer. Falls er stark steigt, ist das gelbe Nadelventil (siehe Abbildung 1.11) nicht vollständig geschlossen. Schliesse das Nadelventil bis der Druck ungefähr konstant bleibt (wichtig: leeres Drehen kann das Nadelventil zerstören, deshalb aufhören, wenn der Druck ungefähr konstant bleibt). Nun muss die Messkammer nochmals zur Vakuumpumpe hin geöffnet werden (Schritt 3), um einen tieferen Druck zu erreichen. Sobald der gewünschte Druck erreicht ist, kann sie weider geschlossen werden (Schritt 5).

7. Den roten Knopf auf der Vakuumpumpe so lange gedrückt halten, bis die Pumpe ausgeschaltet, was gut hörbar ist.
8. Die Pumpe belüften, indem man das schwarze Drehventil öffnet (siehe Abbildung 1.9) und erst dann wieder schliesst, wenn das Zischgeräusch verstummt ist und das weisse, runde Manometer den normalen Luftdruck von rund $p_0 = 1013 \text{ mbar}$ anzeigt (vergleiche gegebenenfalls mit der Wetterstation). Dieser Schritt ist wichtig, da sonst Öl in die Vakuumpumpe gesogen werden könnte und diese dadurch beschädigt wird.



Abbildung 1.9: Das schwarze Ventil zum Belüften der Vakuumpumpe ist hier zu sehen. Die Pumpe ist immer nach Gebrauch direkt zu entlüften, da sonst Öl angesogen werden kann.

1.4.3 Computer einschalten

Die Hochspannung muss immer noch ausgeschaltet sein.

1. Schalte nun den Computer ein. Gewisse Computer haben hinten einen Hauptschalter (oben links). Dieser muss zuerst eingeschaltet werden, bevor das Gerät in Betrieb genommen werden kann. Wähle beim Setup II beim Start Windows.
2. Um sich am Computer anzumelden, lauten die Login Daten wie folgt:

Setup I	(links)
Benutzername	install
Passwort	\$4onLydS

Setup II	(rechts)
Benutzername	radio
Passwort	

Im Fall von Setup II ist das Feld beim Passwort frei zu lassen.

3. Starte das Programm *InterWinner 5.0*. Dieses ist auf dem Desktop zu finden.

Eine Anleitung zur Benutzung von *InterWinner 5.0* ist im Anhang zu finden.

1.4.4 Detektor einschalten

Nachdem du in der Messkammer ein Vakuum erzeugt hast und die Vakuumpumpe ausgeschaltet und wieder belüftet ist, kann nun der Detektor eingeschaltet werden.

1. Vergewissere dich, dass der Drehschalter für die Hochspannung auf 0 ist.
2. Betätige den Hauptschalter für das Rack. Dieser befindet sich vorne rechts.
3. Schalte jetzt die Hochspannung ein und drehe *langsam* die Spannung bis zum gewünschten Wert hoch. Beachte, dass die beiden Messkammern links und rechts unterschiedliche Spannungen benötigen: Eine braucht 130 V und eine benötigt 100 V. Der Wert von 100 V entspricht 1.0 auf der Skala, der Wert von 130 V entspricht 1.3 auf der Skala (siehe Abbildung 1.10). Die benötigte Spannung ist jeweils am Gerät angeschrieben.



Abbildung 1.10: Dieser Drehschalter dient zum Einstellen der Hochspannung für den Halbleiterdetektor. Im oberen Feld muss eine 1 stehen und auf dem Drehrad eine 0, um 100 V eingestellt zu haben. Wenn oben eine 1 und unten auf dem Drehrad 30 steht, dann ist 130 V eingestellt. Beim Einschalten und Ausschalten muss jeweils wie im Bild oben eine 0 und auf dem Drehrad eine 0 stehen.

Die angegebene Spannung darf nicht überschritten werden und der angezeigte Detektorstrom darf $+0.5 \mu\text{A}$ nicht übersteigen!

Die Elektronik ist für diesen Versuch optimal eingestellt und darf nicht grundlos verändert werden.

1.4.5 Kalibration

Zuerst muss das System kalibriert werden. Man muss hierbei den Kanälen (english Channels) eine Energie zuordnen. Dazu kannst du wie folgt vorgehen:

1. Klicke zuerst auf die orange Ampel, um das aktuelle Spektrum zu löschen.
2. Klicke auf die grüne Ampel, um eine neue Messung zu starten. Die Messung soll mindestens 100 Sekunden dauern.
3. Klicke anschliessend auf die rote Ampel, um die Messung zu stoppen.
4. Suche den Peak mit der grössten Intensität und markiere diesen. Dies macht man, indem man den Cursor am Anfang des gewünschten Peaks platziert und die *SHIFT* Taste drückt. Der Cursor verwandelt sich dann in einen Stift, den man mit der Maus bewegen kann. Die ganze Breite des Peaks ist so zu markieren, bevor die *SHIFT* Taste losgelassen werden kann.
5. Es poppt ein Fenster auf, in welchem man eine beliebige Farbe für die Markierung des Peaks auswählt. Der Peak erscheint danach in der gewählten Farbe.
6. Klicke oben im Register *Edit* auf *Calibration* und wähle *Energy/Resolution*. Ein Fenster öffnet sich, in dem das soeben aufgezeichnete Spektrum zu sehen ist.
7. Klicke im Spektrum auf das kleine farbige Quadrat, welches sich im zuvor markierten Peak bei dessen Maximum auf der *x*-Achse befindet. Wähle im Kontextmenü die Option *Manuel auswählen* und gib den Literaturwert für die Alphaenergie von 5486 keV ein.
8. Bestätige mit *OK* und *OK*.

9. Zum Schluss soll das Spektrum abgespeichert werden. Dazu oben links im Menü unter *File* auf *Save as* klicken und einen eindeutigen Namen wählen. Mach ein Bild von der Kalibrationskurve mit deinem Handy für den Bericht.

Mit dieser Kalibration hast du dem System mitgeteilt, dass der Peak von ^{241}Am bei einer Energie von 5486 keV liegt. Damit bist du jetzt bereit für die Messungen.

1.4.6 Messungen

Im Anhang befindet sich eine vorgefertigte Tabelle, um die Messwerte in den grau eingefärbten Spalten einzutragen. Die restlichen Felder sind im Rahmen der Auswertung anschliessend zu berechnen. Lies auf der Wetterstation den Luftdruck p_0 im Praktikumsraum ab.

Klicke auf die orange Ampel, um das Spektrum zu löschen. Die Kalibration bleibt dabei bestehen. Nun kannst du mit den eigentlichen Messungen starten.

1. Lies den Druck in der Messkammer auf dem digitalen Manometer ab und trage ihn in die Tabelle in der Spalte *Druck p* ein.
2. Stelle den Zähler, der sich neben dem Hochspannungsmodul im Rack befindet, auf 100 Sekunden ein. Starte anschliessend den Zähler durch drücken der *COUNT* Taste.
3. Starte zeitgleich mit dem Zähler die Aufzeichnung eines Spektrums durch Drücken der grünen Ampel. Auch hier soll die Messzeit 100 Sekunden betragen. Die beiden Messungen können zeitgleich ablaufen.
4. Lies nach Ende der Messdauer den Wert auf dem Zählermodul unter *DISPLAY* ab und notiere diesen ebenfalls in der Tabelle in der Spalte *Impulszahl*.
5. Lies die Energie beim Maximum des sich soeben aufgebauten Peaks im Spektrum ab und trage den Wert in der Tabelle in der Spalte *Deponierte Energie E_α* ein. Bestimme die Halbwertsbreite (Full width at half maximum: FWHM) des Peaks, um den statistischen Fehler der Messung abschätzen zu können. Je nach Grösse des Peaks kann in der Software *Interwinner 5.0* unter *Peaksearch* mit *Analysis* die maximale Amplitude und die Halbwertsbreite direkt abgelesen werden. Ansonsten müssen sie aus dem Graphen abgeschätzt werden.
6. Drehe das gelbe Nadelventil (siehe Abbildung 1.11) leicht auf und beobachte dabei das digitale Manometer. Beginne bereits mit dem Schliessen des Nadelventils, bevor der gewünschte, nächsthöhere Druck angezeigt wird.



Abbildung 1.11: *Wichtig:* Ein Nadelventil darf nicht wie ein Wasserhahn bis zum Anschlag zuge dreht werden! Sobald ein «leeres Drehen» mit kaum Widerstand spürbar ist und der Druck auf dem digitalen Manometer konstant bleibt, ist das Nadelventil geschlossen. Weiteres Drehen kann das Nadelventil zerstören.

Überlege dir, wie gross die systematischen und die statistischen Fehler für den Labordruck p_0 , den Druck p , die Impulszahl und die deponierte Energie E_α sind und notiere diese. Wiederhole diese Schritte für 100 mbar, 200 mbar, 300 mbar, 400 mbar, 420 mbar, 430 mbar, 440 mbar, 445 mbar, 450 mbar, 455 mbar und 460 mbar in der Messkammer. Passe dazu mit dem Nadelventil jeweils den Druck in der Messkammer an und stelle den Zähler jeweils mit *STOP* und *RESET* zurück. Insgesamt solltest du schliesslich alle zwölf Zeilen der Tabelle ausgefüllt haben. Falls gewünscht, können die Spektren abgespeichert werden.

1.4.7 Nach dem Versuch

1. Drehe den Drehschalter für die Hochspannung *langsam* zurück auf null.
2. Schalte dann das Hochspannungsmodul und schliesslich den Hauptschalter des Racks aus.
3. Belüfte durch Öffnen des gelben Nadelventils die Messkammer, damit der Detektor durch eine ausreichende Luftschicht vor den Alphateilchen abgeschirmt wird. Andernfalls würde der Detektor unter dem ständigen Alphateilchen-Beschuss leiden und hätte eine sehr kurze Lebensdauer.
4. Die gespeicherten Spektren können falls gewünscht je nach Gerät mit einem USB-Stick oder einer Diskette übertragen werden. Für den Bericht reicht jedoch das Handybild der Kalibration sowie die aufgeschriebenen Messwerte für die deponierte Energie E_α und die Halbwertsbreite.
5. Das digitale Manometer mit dem Schalter auf der Rückseite ausschalten.
6. Schalte den Computer aus. Wenn vorhanden, muss der Hauptschalter hinten am Computer gekippt werden.
7. Wasche dir gut die Hände.

1.5 Auswertung

Führe folgende Aufgaben zur Auswertung durch und dokumentiere dein Vorgehen und die Ergebnisse in deinem Protokoll.

1. Betrachte das Spektrum der Kalibration. Beschreibe dieses Spektrum - was fällt dir auf? Falls du mehrere Peaks sehen solltest, erkläre woher diese kommen.
2. Berechne für jede der während 100 Sekunden gemessenen Impulszahl die Impulsrate s , also die Anzahl Impulse pro Sekunde. Trage die Werte in die Tabelle ein.
3. Die virtuelle Distanz d lässt sich berechnen als

$$d = d_0 \cdot \frac{p}{p_0}.$$

Dabei ist $d_0 = 89.5$ mm der Abstand zwischen der ^{241}Am Quelle und dem Detektor und p_0 der Luftdruck im Labor zum Zeitpunkt des Experiments. Der Druck p ist der jeweilige Druck in der Messkammer.

4. Zeichne ein Diagramm mit der virtuellen Distanz d auf der horizontalen Achse und der Impulsrate s auf der vertikalen Achse. Beide Grössen sollen mit Fehlerbalken versehen werden, welche im Bericht erklärt werden.
5. Schätze mit Hilfe dieses Diagramms die Reichweite von Alphateilchen in Luft ab. Schätze einen Fehler für die Reichweite der Alphateilchen ab und begründe deine Fehlerabschätzung. Warum ist die Reichweite eine in Bezug auf den Strahlenschutz wichtige Grösse?
6. Bestimme die Energiedifferenz ΔE_α zwischen den beiden Hauptpeaks des Spektrums von ^{241}Am der jeweils aufeinander folgenden Messungen in der Einheit keV. Trage die Werte in die Tabelle ein.
7. Berechne die Änderung Δx der virtuellen Distanz von jeweils zwei aufeinander folgenden Messungen. Fülle die Werte in die Tabelle.
8. Warum wird in diesem Experiment mit einer *virtuellen* Distanz gearbeitet? Warum ändert man nicht einfach den Abstand zwischen Quelle und Detektor?
9. Berechne den mittleren Energieverlust pro Wegänderung $\Delta E_\alpha / \Delta x$ in der Einheit keV/mm und trage auch diese Ergebnisse in die Tabelle ein.
10. Berechne die mittlere virtuelle Distanz \bar{d} von jeweils zwei aufeinander folgenden Messungen und trage diese in der Tabelle ein.
11. Zeichne ein Diagramm mit der mittleren virtuellen Distanz \bar{d} auf der horizontalen Achse und dem mittleren Energieverlust pro Weglänge $\Delta E_\alpha / \Delta x$ auf der vertikalen Achse. Man nennt diese Kurve die *Braggkurve*, benannt nach dem englischen Physik Nobelpreisträger William Henry Bragg.
12. Versehe wieder alle Messpunkte mit Fehlerbalken und erkläre, wie du diese berechnest.
13. Wo liegt der Braggpeak? Was lässt sich über die im Braggpeak deponierte Energie pro Weglänge sagen?
14. Schätze einen Fehler für die Position des Braggpeaks ab. Begründe deine Fehlerabschätzung.
15. Inwiefern ist die Kenntnis über den Braggpeak bei der Strahlentherapie von Krebspatienten von ausserordentlicher Bedeutung?
16. Wie hängt der Braggpeak mit der Reichweite der Alphateilchen zusammen? Vergleiche dazu das Reichweiten-Diagramm mit dem der Braggkurve.

1.6 Literatur

- B. Povh, *Kerne und Teilchen*, Springer Verlag, 2013
- T. Meyer Kuckuck, *Kernphysik*, Springer Verlag, 1979
- H. Kolanoski, N. Wermes, *Teilchendetektoren*, Springer Verlag, 2016

Zu den Themen Radioaktivität und Strahlenschutz finden sich diverse Unterlagen auf der Webseite des Praktikums. Es wird empfohlen, diese vorgängig gut zu studieren.

A.1 InterWinner 5.0

Die Spektren werden mit der Software *InterWinner 5.0* erfasst. Einige hilfreiche Befehle und Funktionen sind im folgenden zusammengestellt.

A.1.1 Spektren aufzeichnen und verwalten

<i>InterWinner 5.0</i> starten	Das Symbol auf dem Desktop anklicken. Alternativ unter <i>Start</i> auf <i>InterWinner 5.0</i> gehen und <i>InterWinner</i> anklicken
Messung starten	Klicke auf die grüne Ampel oder Taste <i>F2</i>
Messung stoppen	Klicke auf die rote Ampel oder Taste <i>F3</i>
Messung löschen	Klicke auf die orange Ampel oder Taste <i>F4</i>
Y-Achse skalieren	Cursor auf dem Spektrum platzieren, rechte Maustaste drücken und <i>Y scale</i> auswählen
X-Achse skalieren	Taste <i>F9</i> zum Vergrössern, <i>F10</i> zum Verkleinern
Region vergrössern	Den Cursor auf dem Spektrum halten und die linke Maustaste drücken
Spektren speichern	Oben links im Menü unter <i>File</i> auf <i>Save as</i> klicken
Spektren herunterladen	Oben links im Menü <i>File</i> auf <i>Open</i> klicken und das gewünschte Spektrum auswählen
Analyse	Unter <i>Edit</i> auf <i>Analysis</i> klicken, ein Berichtfenster öffnet sich

A.2 Messprotokoll zur Reichweite von Alphateilchen

Luftdruck im Labor $p_0 =$ _____

Es wird empfohlen, bei folgenden Druckverhältnissen in der Messkammer zu messen: 0.1 mbar, 100 mbar, 200 mbar, 300 mbar, 400 mbar, 420 mbar, 430 mbar, 440 mbar, 445 mbar, 450 mbar, 455 mbar und 460 mbar. Grau: messen, weiss: berechnen.

[illegible]