



Facharbeit von Kai Bünnig

Thema:

Nachweis ionisierender Strahlung mittels einer
selbstgebauten kontinuierlichen Diffusions-
Nebelkammer

Fach: Physik

Lehrer: Herr Faßbender

Kurs: PH7

Jahr: 2018



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
2 Hauptteil.....	4
2.1 Was ist eine Diffusions Nebelkammer?.....	4
2.1.1 Wie haben wir die Kammer gebaut?.....	4
2.1.2 Was für Probleme gab es beim Bau?.....	5
2.2 Welche Strahlung lässt sich mit der Kammer nachweisen?.....	7
2.3 Der Nachweis von ionisierender Strahlung.....	8
2.3.1 Der Alpha-Zerfall(mit Begriffserklärung: Der qFaktor)	8
2.3.2 Der Beta-Zerfall.....	10
2.3.2.1 Der Beta-Minus-Zerfall und Myonen.....	10
2.3.2.2 Der Beta-Plus-Zerfall.....	12
3 Fazit.....	14
4 Quellen.....	15
5 Anhang.....	16
6 Selbstständigkeitserklärung.....	19

1 Einleitung

Thema: Nachweis ionisierender Strahlung mittels einer selbstgebauten kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer

Dieses Thema hat mich interessiert, da Strahlung überall bei uns im Alltag ist. Man weiß dass zu viel Strahlung gefährlich für den Menschen sein kann. Aber wie viel ungefährliche Strahlung bei uns wirklich vorkommt kann man normalerweise nicht sehen. Die Diffusions-Nebelkammer macht es möglich diese Strahlung zu sehen. Somit kann man sich selbst ein Bild von der Strahlung machen und sie sich besser vorstellen. Ein weiterer Aspekt für die Wahl dieses Themas ist, dass ich etwas Praktisches machen wollte. Also war der Bau der Diffusions-Nebelkammer das Projekt das ich umsetzen wollte.

Dieses Thema passt perfekt in den Fachbereich Physik, da die Diffusions-Nebelkammer lange Zeit von Physikern als Forschungsmittel, zum Beispiel als Teilchendetektor, genutzt wurde. Heutzutage wird die Diffusions-Nebelkammer meist nur noch als Demonstrationsmittel genutzt, um damit Alpha-Strahlung und Beta-Strahlung nachzuweisen. Da es hier um den radioaktiven Zerfall von Atomkernen geht ist es eindeutig ein physikalisches Thema.

Mein Projekt ist der Nachweis ionisierender Strahlung. Dazu gehört aber auch der Bau der kontinuierlichen Diffusions Nebelkammer. Somit werde ich auch kurz den Bau der Kammer beschreiben.

Deshalb fange ich mit dem Aufbau der Diffusions-Nebelkammer an und erläutere kurz wie die Kammer gebaut wurde. Danach geht es an den Nachweis der Teilchen, dafür erläutere ich erst welche Strahlungsarten es gibt und welche ich davon mit der Diffusions-Nebelkammer nachweisen kann. Als Nächstes versuche ich die Strahlungsbilder aus der Nebelkammer zuzuordnen und die Strahlung zu deuten. Am Ende fasse ich nochmal die wichtigsten Ergebnisse aus dem Bau und dem Nachweis der Strahlung zusammen.

2.1 Was ist eine Diffusions-Nebelkammer?

2.1.1 Wie funktioniert eine Diffusions-Nebelkammer?

Die Nebelkammer stellt in einem Alkohol-Luftgemisch einen Temperaturunterschied her, sodass im oberen Teil der Kammer der Alkohol (in unserem Fall Isopropanol) verdampft und die Luft mit Alkohol sättigt. Unten in der Kammer befindet sich eine schwarz eloxierte Metallplatte, die sehr stark gekühlt wird, im besten Fall auf -30°C . Aufgrund der kalten Metallplatte herrscht in der Kammer ein starker Temperaturabfall, optimal wäre eine Temperaturdifferenz von ungefähr 55°C . Dieser Temperaturabfall hat zur Folge, dass sich an der kalten Metallplatte eine übersättigte Alkoholschicht einstellt. Wenn durch dieses übersättigte Gebiet ein Alpha-Teilchen oder Beta-Teilchen fliegt, treten Ionen aus den Teilchen aus. Dies geschieht Aufgrund der Wechselwirkung mit den Alkoholteilchen. An diesen Ionen sammeln sich kleine Tröpfchen des Alkoholnebels. Somit hinterlässt das Ion einen Kondensstreifen, den man in dem Nebel sehen kann. Die unterschiedliche Struktur der Kondensstreifen lässt dann darauf schließen welches Teilchen in die Kammer getreten ist. Viele Diffusions-Nebelkammern haben noch einen starken Elektromagneten eingebaut der im Inneren der Kammer ein Magnetfeld erzeugt. Mit diesem Magneten können Elektronen und Protonen abgeleitet und auf eine Kreisbahn befördert werden. Aufgrund der Richtung in die die Teilchen abgeleitet werden kann man die Ladungsart bestimmen.

2.1.2 Wie haben wir die Kammer gebaut?

Das Wichtigste bei der Diffusions-Nebelkammer ist der Temperaturunterschied im Inneren der Kammer. Damit die Temperaturdifferenz groß genug wird, wurde die schwarz eloxierte Metallplatte gekühlt und der obere Teil der Kammer etwas aufgeheizt. Das Aufheizen der oberen Kammer geht relativ einfach mit Hilfe eines Heizdrahtes. Zum verdampfen des Isopropanols wird ein 2. Heizdraht verwendet. Das Herunterkühlen der schwarz eloxierten Platte ist etwas komplizierter. Wir haben uns dafür entschieden die Metallplatte mit Peltierelementen zu kühlen, weil diese nicht allzu teuer sind und man die Apparatur auch ohne Kältetechnik-Ausbildung bauen kann. Peltierelemente sind kleine Plättchen die mit Stromfluss auf der einen Seite kalt und auf der anderen warm werden. Da die Peltierelemente aber nur einen gewissen Temperaturunterschied herstellen können und deutliche Minusgrade gebraucht werden, muss die warme Seite der Peltierelemente auf Zimmertemperatur gehalten werden ($10-20^{\circ}\text{C}$). Das wurde mit einer Wasserkühlung unter den Peltierelementen gelöst, die an einen 18 Liter Tank mit Wasser angeschlossen ist. Das Wasser wird mit einer Aquarium-Wasserpumpe unter die Aluminiumplatte gepumpt, auf welcher unsere Peltierelemente sitzen. Die Stromversorgung der Peltierelemente wurde mit alten Computernetzteilen geregelt. Dabei erreichen wir eine Temperatur der Bodenplatte von bis zu -16°C . Damit die Wärmeübertragung gut klappt, haben wir die Elemente von beiden Seiten mit Wärmeleitpaste eingerieben. Um den benötigten Temperaturunterschied zu erreichen muss der obere Teil der Kammer auf etwa 40°C erhitzt werden. Das Isopropanol wird mit einer peristaltischen Schlauchpumpe in die Kammer gepumpt. Dort fließt das Isopropanol durch einen Kabelkanal, indem auch unser Heizdraht liegt. Durch Löcher

oben im Kabelkanal gelangt der Alkohol in die Nebelkammer. Das nicht verdampfte Isopropanol fließt einfach wieder zurück in seinen Vorratsbehälter. Das Gestell für die Nebelkammer haben wir aus Holz gebaut, sodass die eigentliche Nebelkammer oben in unserem Gestell ist und darunter ein 2. Raum liegt indem wir Netzteile, Wasserlager, Isopropanollager und generell die Verkabelung der einzelnen Komponenten gelegt haben. Durch 4 Rollen unter unserem Gestell ist die Kammer komplett als eine Einheit mobil, nur die Netzteile für Ionenfang und den Heizdraht zum verdampfen des Isopropanols müssen extern angeschlossen werden.

2.1.3 Was für Probleme gab es beim Bau?

Das größte Problem gab es dabei, den Temperaturunterschied zwischen dem oberen Teil der Kammer und dem unteren Teil der Kammer herzustellen. Das Erwärmen des oberen Teils ging ohne Schwierigkeiten, da man dieses Problem schnell mit einem Heizdraht lösen kann. Die deutlich schwierigere Aufgabe gab es beim Abkühlen der eloxierten Aluminiumplatte, unten in der Kammer. Peltierelemente haben zwar den Vorteil der relativ einfachen Handhabung, jedoch sind sie nicht allzu effektiv. Also musste die volle Leistung der Elemente ausgenutzt werden. Das entspricht bei 16 verbauten Elementen, die jeweils 12 Volt und im Durchschnitt 4 Ampere Strom brauchen, eine Leistung von $(16 \cdot 12 \text{ Volt} \cdot 4 \text{ Ampère})$ 768 Watt. Deshalb musste die untere Metallplatte, die zur Kühlung der Peltierelemente da ist, mit einem deutlich stärkeren Wasserfluss gekühlt werden als anfangs geplant. Außerdem hat die Kälteübertragung von den Elementen zu der eloxierten Aluminiumplatte Probleme gemacht. Trotz der Wärmeleitpaste musste die schwarze Metallplatte noch mit selbstgebauten Plastikschauben auf die Peltierelemente gedrückt werden. Dazu wurden in die Aluminiumplatte 5 Löcher gebohrt. Das sollte eigentlich anfangs durch eine Klemme an jeder Seite der Aluminiumplatte, die die Platte nach unten drücken sollten, verhindert werden. Problem hierbei war, dass die Platte zu dünn war und sich gewölbt hat. Die zusätzlichen Löcher in der eloxierten Aluminiumplatte sind aus 2 Gründen unpraktisch. Erstens stört sie etwas die Sicht auf die schwarze Platte. Zweitens und viel wichtiger ist, dass wir damit auch Löcher mit Gewinden in die nichteloxierte Metallplatte des Wasserlaufs machten, wodurch wir eine weitere Risikostelle erschaffen mussten, aus der Wasser auslaufen könnte. Wir hatten auch davor schon Probleme mit dem Wasserlauf, da das normale Silikon, was wir anfangs verwenden wollten, nicht richtig gehalten hat und wir nach einigen Versuchen den Wasserlauf dicht zu bekommen auf Spezialeilikon zurückgreifen mussten. Ein weiteres Problem war, dass durch die Höhe unserer Kammer (26cm) der Alkohol zu viel Zeit hatte abzukühlen bevor er unten, an der eloxierten Aluminiumplatte, angekommen ist. Das hatte zur Folge dass sich auf dem Boden der Kammer das Isopropanol einfach abgesetzt hat und die gewünschte Nebelbildung nicht stattfinden konnte. Zur Lösung des Problems haben wir den Heizdraht für die Kammer höhenverstellbar gebaut, damit der Bereich indem das Isopropanol abkühlt, deutlich verringert werden kann und somit die alkoholübersättigte Luft über der Platte entstehen kann. Die Glasplatte oben auf der Kammer zuzuschneiden hat auch nicht von Anfang an geklappt. 2 Mal ist das Glas nicht so gebrochen wie wir es wollten. Das letzte Problem das wir hatten waren die

Peltierelemente, die wir eher billig eingekauft hatten, weswegen ein Großteil der Elemente mitten im Bau einfach kaputt gegangen sind und ausgetauscht werden mussten.



Bild Nr. 1

2.2 Welche Strahlung lässt sich mit der Kammer nachweisen?

Generell gibt es drei radioaktive Strahlungsarten. Die Alpha-Strahlung, Beta-Strahlung und die Gamma-Strahlung. Die Alpha-Strahlung und die Beta-Strahlung sind die beiden Strahlungen die man mit der Diffusions-Nebelkammer am Besten nachweisen kann. Die Gamma-Strahlung ist mit der Nebekammer nur sehr schwer nachzuweisen, da sie wenn überhaupt nur sehr dünne Spuren hinterlässt. Das liegt an dem geringen Ionisationsvermögen der Gamma-Strahlung. Wenn man in der Kammer versucht Gamma-Strahlung nachzuweisen muss man auf Sekundärprozesse achten, die sichtbar sind. Ein Beispiel hierfür ist der Photoeffekt. Dieser tritt meistens im KiloElektronenVolt- Bereich auf. Bei dem Photoeffekt tritt ein Elektron aus einer mit Licht bestrahlten Metalloberfläche aus. Diese Elektronen kann man dann im Nebel sehen. Eine weitere Nachweismöglichkeit ist der Compton-Effekt. Beim Compton-Effekt wird die Wellenlänge elektromagnetischer Wellen vergrößert und ein Elektron abgespalten. Hier kann man ebenfalls das abgespaltene Elektron im Nebel sehen. Da man aber nur das Elektron sehen kann ist es nur schwer vom Beta-Minus-Zerfall zu unterscheiden. Generell ist die Gamma-Strahlung eine elektromagnetische Strahlung. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit und ist dadurch, dass sie keine Ladung hat, auch nicht ablenkbar. Die Gamma-Strahlung entsteht, wenn ein Atomkern von einem energetischen Zustand in einen niederenergetischen Zustand wechselt. Dies macht der Atomkern da er in dem niedrigerenergetischen Zustand stabiler ist. Die Anzahl an Protonen, Elektronen und Neutronen im Kern ändert sich dabei allerdings nicht.

2.3 Der Nachweis von ionisierender Strahlung

2.3.1 Der Alpha-Zerfall

Als Bild zum Nachweis der Strahlung habe ich ein Bild der RWTH-Aachen genommen, da mir dies als eine vertrauenswürdige Quelle erscheint. Ich muss leider auf ein externes Bild zurrückgreifen, da der Bau der Nebelkammer bisher nicht funktioniert hat.

Trotzdem ist das Bild ein sehr gutes Beispiel, weil man gut den Unterschied zwischen Alpha-Strahlung und den anderen Strahlungsarten sieht. Auf dem Bild wurde ein alter Uhrzeiger in die Kammer gelegt, um nicht nur die Hintergrundstrahlung nachzuweisen sondern auch auf einen Punkt gebündelte Strahlung. Bis in die 1960er Jahre wurden Uhrenzifferblätter mit beispielsweise Radium-(Ra-226) oder Promethium- (Pm-147) haltigen Leuchtfarben bestrichen, damit man die Ziffern auch im Dunkeln sehen kann. Heutzutage werden solche Uhren allerdings nicht mehr hergestellt, da das Strahlenrisiko bei der Produktion für die Arbeiter zu hoch ist.

Generell ist der Alpha-Zerfall ein sehr leicht zu erkennender Zerfallsprozess. Er sticht aufgrund der dicken Kondensspuren deutlich von den anderen Spuren in der Kammer heraus(siehe Bild Nr.2 und Nr.3). Diese dicken Spuren bedeuten, dass Alpha-Teilchen ein sehr hohes Ionisationsvermögen haben. Wegen dieses hohen Ionisationsvermögens ist der q-Faktor von Alphateilchen 20. Damit hat ein Alphateilchen unter anderem den



höchsten q-Faktor.

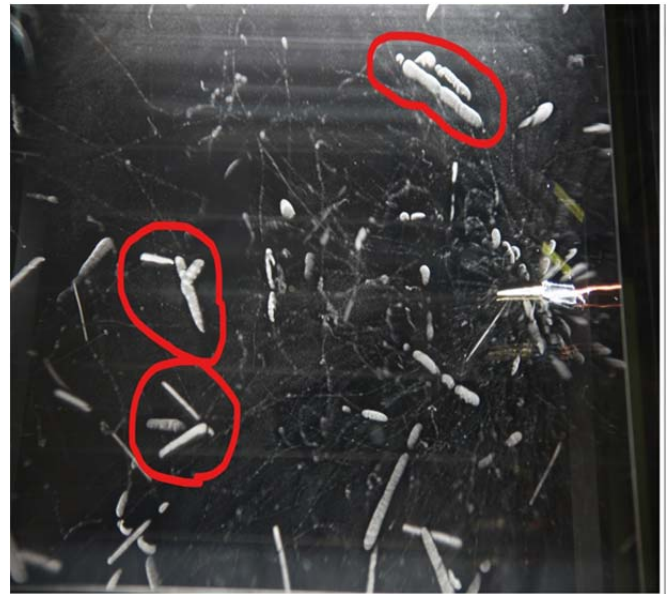


Bild Nr. 2

Bild Nr.3

Begriffserklärung: Der q-Faktor:

Der q-Faktor wird gebraucht um die Äquivalentdosis, welche die Wirkung ionisierender Strahlung auf biologische Systeme beschreibt, zu berechnen. Außerdem braucht man noch die Energiedosis um sie mit dem q-Faktor zu multiplizieren um die Äquivalentdosis zu bestimmen. Der q-Faktor wurde nicht direkt experimentell erfasst.

Seite 9

Er wurde eher aufgrund von Experimentergebnissen festgelegt. Ein hoher q-Faktor besagt, dass das ein Teilchen auf einer Strecke öfter wechselwirkt als ein Teilchen mit einem kleineren q-Faktor. Je höher der q-Faktor, desto schädlicher ist das Teilchen später auch.

Weiterhin auffällig ist die Länge der Spuren, da diese alle fast gleich lang sind. Das deutet wiederum auf sehr ähnliche Energien der Alpha-Teilchen hin. Da ein Alpha-Teilchen nichts anderes ist als ein 2fach positiv geladenes Heliumatom, also 2 Protonen und 2 Neutronen, haben auch alle Alpha-Teilchen eine fast identische Masse. Diese beträgt 4u. Da die Energieberechnung über $E=m \cdot v^2$ stattfindet und "m" sowie "E" konstant sind, lässt sich darauf schließen, dass die Teilchen auch ungefähr gleich schnell sind. Man kommt also für die Geschwindigkeit immer ungefähr auf 10% der Vakuumlichtgeschwindigkeit. Wie schon erwähnt ist ein Alpha-Teilchen nur ein 2fach positiv geladenes Heliumatom. Somit ist auch die Ladung eines Alpha-Teilchens 2fach positiv. Theoretisch müsste sich dadurch das Teilchen in der Kammer durch einen Magneten gut auf eine Kreisbahn lenken lassen. Praktisch funktioniert das allerdings nicht so gut, da die Energie zu hoch ist. Man lenkt sie zwar mit einem Magnetfeld ab, aber nur auf eine Kreisbahn mit einem so großen Radius dass man im Kammerbereich keinen Kreis sehen kann. Aufgrund der hohen Masse und der relativ großen elektrischen Ladung dringen Alphastrahlen nicht sehr tief in die Materie ein. Also lassen sie sich schon durch ein Blatt Papier abschirmen. Das Alpha-Teilchen nimmt nach einer kurzen

Zeit 2 Elektronen auf und wird somit zu einem Heliumatom. Um die Alpha-Zerfallsrate in der Kammer zu erhöhen kann man zum Beispiel Uran, Thorium, Radium oder Radon in den Innenbereich der Kammer legen. Diese zählen zu den natürlichen Alphastrahlern.

2.3.2 Der Beta-Zerfall

2.3.2.1 Der Beta-Minus-Zerfall und Myonen

Der Beta-Minus-Zerfall lässt sich nicht ganz so leicht in der Diffusions-Nebelkammer nachweisen da die Spuren, die er hinterlässt sehr den Spuren von Myonen ähneln. Beide erzeugen lange Spuren in der Kammer. Der Grund dafür ist, dass die Myonen die gleiche Ladung wie Elektronen, wie sie beim Beta-Zerfall frei werden, haben. Beim Beta-Zerfall wandelt sich ein Neutron in ein Proton um und strahlt dabei ein Elektron und ein Antineutrino aus dem Kern aus. Das Antineutrino hat keine Ladung, weswegen es in der Kammer nicht nachweisbar ist. Der Unterschied zwischen Elektronen und Myonen ist, dass Myonen geradere Linien erzeugen als Elektronen (siehe Bild Nr.4[Seite 11] und Nr.5[Seite 11]). Das liegt daran dass die Myonen fast die 207-fache Masse eines Elektrons haben. Die Geschwindigkeit von Elektronen und Myonen kann ebenfalls nahezu identisch sein, mit bis zu 99% der Vakuumlichtgeschwindigkeit. Es gibt aber auch Elektronen die etwas langsamer sind. Somit lässt sich das Myon aufgrund der höheren Energie ($E=m \cdot v^2$) schlechter ableiten. In der Kammer sind also die etwas gekrümmteren Spuren, die Elektronen und die nahezu geraden Spuren, die Myonen. Die Spuren der Beta-Strahlung sind alle verschieden lang. Das lässt wiederum auf die verschiedenen Energien zwischen den Elektronen schließen. Zustande kommt das dadurch, dass nicht nur ein Elektron sondern auch noch ein Antineutrino abgespalten wird und die Energie sich unregelmässig auf die beiden Teilchen verteilt. Das alles ändert sich, wenn man ein Magnetfeld in der Kammer einschaltet. Jetzt werden die Elektronen, durch die Lorentzkraft, in eine Kreisbahn gelenkt. In welche Richtung diese abgelenkt werden hängt von der Richtung des Magnetfeldes ab. Die Richtung der Ablenkung lässt sich mit der 3 Finger Regel der linken Hand bestimmen. (Der Daumen zeigt in Richtung des Elektronenflusses, der Zeigefinger in Magnetfeldrichtung, mit 90° zum Daumen und der im 90° Winkel zu beiden Fingern abgespreizte Mittelfinger zeigt in die Ablenkungsrichtung[Bild Nr.12 , im Anhang, Seite 18]) Da die Elektronen und Myonen beide eine deutlich höhere Reichweite in der Luft haben als die Alpha-Strahlung sind die Spuren auch bedeutend länger. Die Beta-Minus-Strahlung ist deutlich schwerer abzuschirmen als die Alpha-Strahlung. Beim Alpha-Zerfall reicht aufgrund der hohen Masse und der hohen Ladung ein Blatt Papier. Um den Beta-Minus-Zerfall abzuschirmen braucht man schon einige Millimeter dickes Aluminium. Das macht die Beta-Minus-Strahlung auch für den Menschen gefährlich. Wenn man zuviel Strahlung ausgesetzt ist, kann diese zu Verbrennungen und später auch zu Hautkrebs führen. Ein weiteres Phänomen, das auftreten kann ist der Zerfall eines Myons. Das lässt sich in den Spuren der Kammer an einem deutlichen Knick in der sonst sehr geraden Bahn des Myons deuten. Bei dem Myonenzerfall teilt sich das Myon in ein Elektron (die abgelenkte Bahn die wir in der Kammer sehen) und 2 Neutrinos. Da die Neutrinos elektrisch neutral sind und mit anderen Teilchen fast garnicht wechselwirken, sind diese nicht zu sehen.



Bild Nr.4

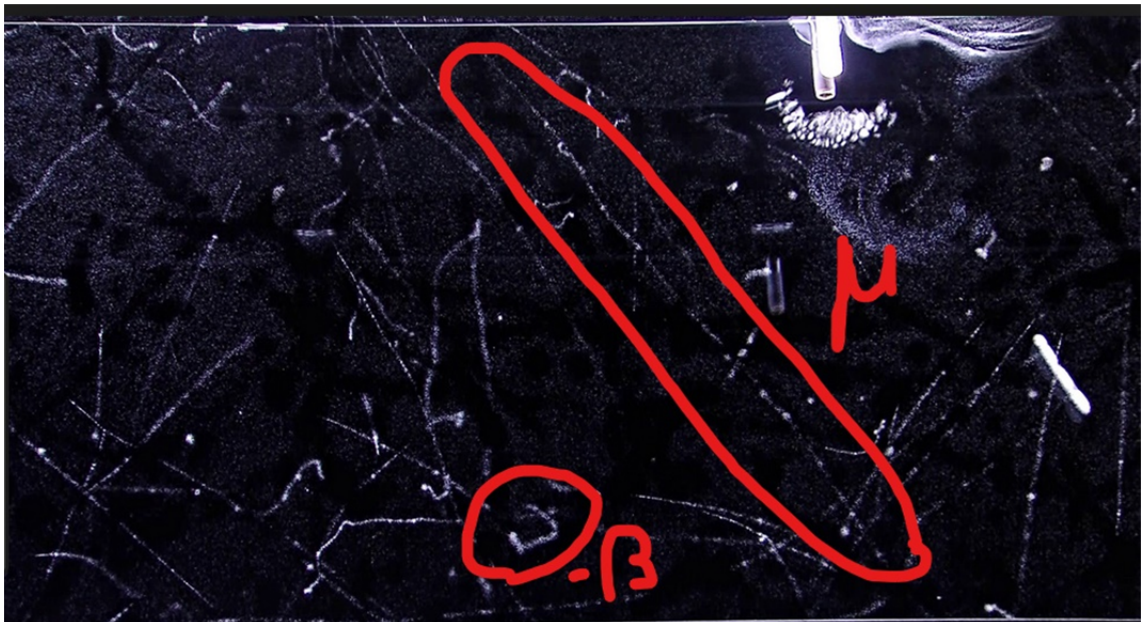


Bild Nr.5(links Beta-Zerfall, rechts Myon)

2.3.2.2 Der Beta-Plus-Zerfall

Der Beta-Plus-Zerfall ist in vielen Punkten ähnlich dem Beta-Minus-Zerfall. Auf atomarer Ebene sieht es auch sehr ähnlich aus. Beim Beta-Plus-Zerfall wandelt sich nur ein Proton in ein Neutron um und nicht andersherum, wie beim Beta-Minus-Zerfall. Dadurch, dass dann ein Proton zerfällt entsteht ein Positron und ein Neutrino. Ein Positron ist ein Teilchen, das bis auf das Vorzeichen der Ladung und der Magnetwirkung komplett mit den Eigenschaften eines Elektrons übereinstimmt. Das Teilchen das wir in der Kammer sehen ist auch wieder das Positron. Neutrinos lassen sich nicht in der Kammer sehen da sie, ebenso wie die Antineutrinos, weder eine Ladung noch die Fähigkeit mit anderen Stoffen wechselzuwirken besitzen. Die Positronen haben ebenfalls immer unterschiedliche Energien, da beim Beta-Puls-Zerfall nicht nur das Positron sondern auch ein Neutrino abgestrahlt wird und sich beim Abspalten die Energie ungleichmäßig auf die beiden Teilchen verteilt. Dadurch dass das Positron eine Ladung besitzt und eine sehr geringe Masse, lässt es sich gut durch Magnete ableiten. Das ist auch der einzige Weg wie man in der Nebelkammer Elektronen und Positronen unterscheiden kann. Da die Spuren aufgrund der fast identischen Eigenschaften auch genau gleich aussehen, muss man mit einem Magneten die Elektronen und Positronen auf eine Kreisbahn leiten. Positronen müssen sich, wegen der einfach positiven Ladung, in die entgegengesetzte Richtung der Elektronen bewegen. Dies kann man mit der Drei-Finger-Regel der rechten Hand begründen. Der Beta-Plus-Zerfall findet aber deutlich seltener statt als der Beta-Minus-Zerfall weswegen er auch seltener zu beobachten ist.

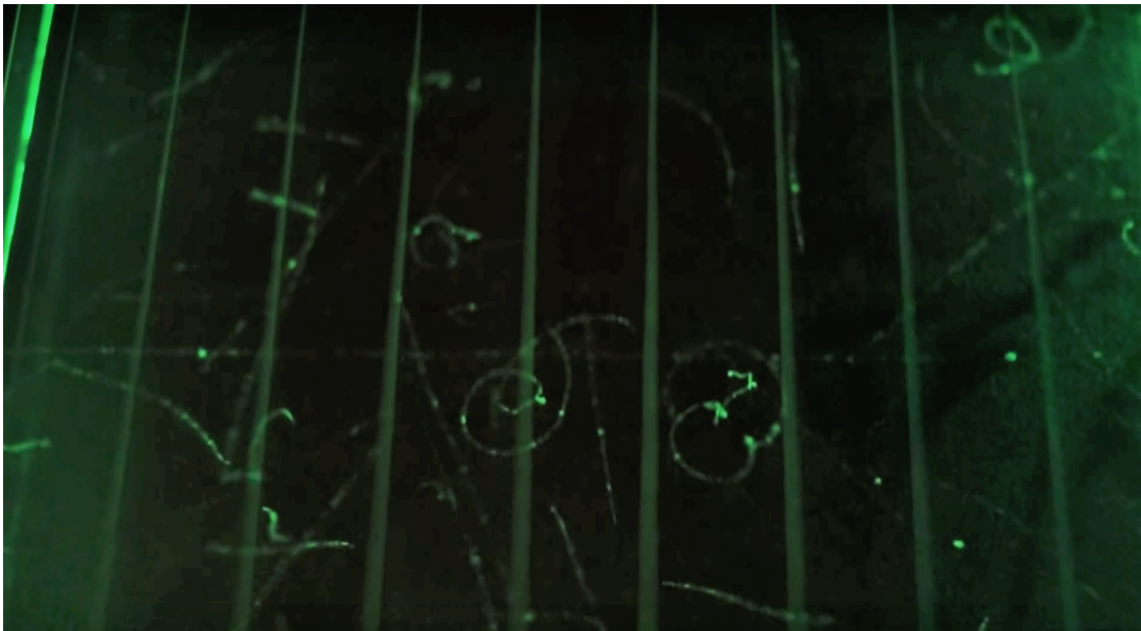


Bild Nr. 6 (Elektronen/Positronen in einem Magnetfeld)



Bild Nr. 7

3 Fazit

Der Bau der Kammer hatte uns vor mehr Probleme gestellt als anfangs gedacht. Die Probleme ergaben sich allerdings größtenteils dadurch, dass es der Bau eines Prototypen war. Es gab viele Sachen, die man nur schlecht voraussagen konnte und die wir bei einem zweiten Bau verhindern würden. Trotzdem muss ich den Versuch "Bau einer kontinuierlichen Diffusions-Nebelkammer" noch als fehlgeschlagen einsehen, da die Kammer noch nicht funktionstüchtig ist. Für den Nachweis von ionisierender Strahlung ist die Nebelkammer nur bedingt sinnvoll, da sich nicht alle Teilchen deutlich voneinander unterscheiden. Vorallem kann man das bei der Beta-Minus und Beta-Plus-Strahlung sehen, da man hier ein sehr starkes Magnetfeld haben muss und ein so großer Magnet treibt die Kosten einer solchen Diffusions-Nebelkammer deutlich in die Höhe. Der schlechte Nachweis gilt nicht für die Unterscheidung von, zum Beispiel Alpha-Teilchen und Beta-Teilchen, da deren Spuren unter anderem aufgrund ihres sehr unterschiedlichen Ionisationsvermögens gut zu unterscheiden sind. Ebenso ist es ein deutlicher Nachteil dass man die Gamma-Strahlung nur indirekt nachweisen kann. Heutzutage ist es besser und-/ oder einfacher die Strahlung auf anderen Wegen nachzuweisen. Hierzu würde ich zum Beispiel eine Zählröhre vorschlagen da dieses Messgerät handlicher ist und sich damit auch gut Gamma-Strahlung nachweisen lässt. Eine Zählröhre ist eine Röhre, mit Gas gefüllt, die als Anode wirkt, in deren Mitte isoliert ein Draht, die Kathode, liegt. Wenn Strahlung in die Röhre eintritt werden Elektronen frei welche zur Anode wandern. Dort werden diese zu einem Signal verstärkt, welches dann als ein Wert auf dem Display der Zählröhre wiedergegeben wird. Als Demonstrationsmittel ist die Kammer allerdings sehr gut verwendbar. Sie macht das Unsichtbare sichtbar und ist damit gut geeignet für Schulen und Universitäten um Strahlung und das Strahlungsverhalten zu zeigen.

4 Quellen:

<http://lp.uni-goettingen.de/get/text/1803>

<http://www.rapp-instruments.de/Radioaktivitaet/cloud-chambers/difussion/difussion.htm>

<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/ueberblick-ueber-die-strahlungsarten>

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/radioaktiver-strahlung-arten-und-eigenschaften>

<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/gammauebergang-und-gammastrahlung>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Nebelkammer>

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/wechselwirkung-von-gammastrahlung-mit-materie/15467>

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/photoeffekt/11182>

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/compton-effekt/2524>

http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-alltag/uhren/uhren_node.html

<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/alphazerfall-und-alphastrahlung>

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/aequivalentdosis/700>

https://elearning.physik.uni-frankfurt.de/data/FB13-PhysikOnline/lm_data/lm_282/auto/kap28/cd887.htm

http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Material_Lehrkraefte/Nebelkammer_Selbstbau.pdf

<http://www.abi-physik.de/buch/kernphysik/alphastrahlung/>

<http://www.abi-physik.de/buch/kernphysik/betastrahlung/>

<http://www.chemie.de/lexikon/Positron.html>

Bildquellen:

<http://sammlung.physik.rwth-aachen.de/index.php?id=Ke-02>

<https://www.nuledo.com/de/produkte/modulare-verbesserung/>

<https://www.youtube.com/watch?v=N17HHWmlWho>

<https://universaldenker.de/theorien/18>

5 Anhang



Bild Nr. 8 (unsere selbstgebaute Kammer)

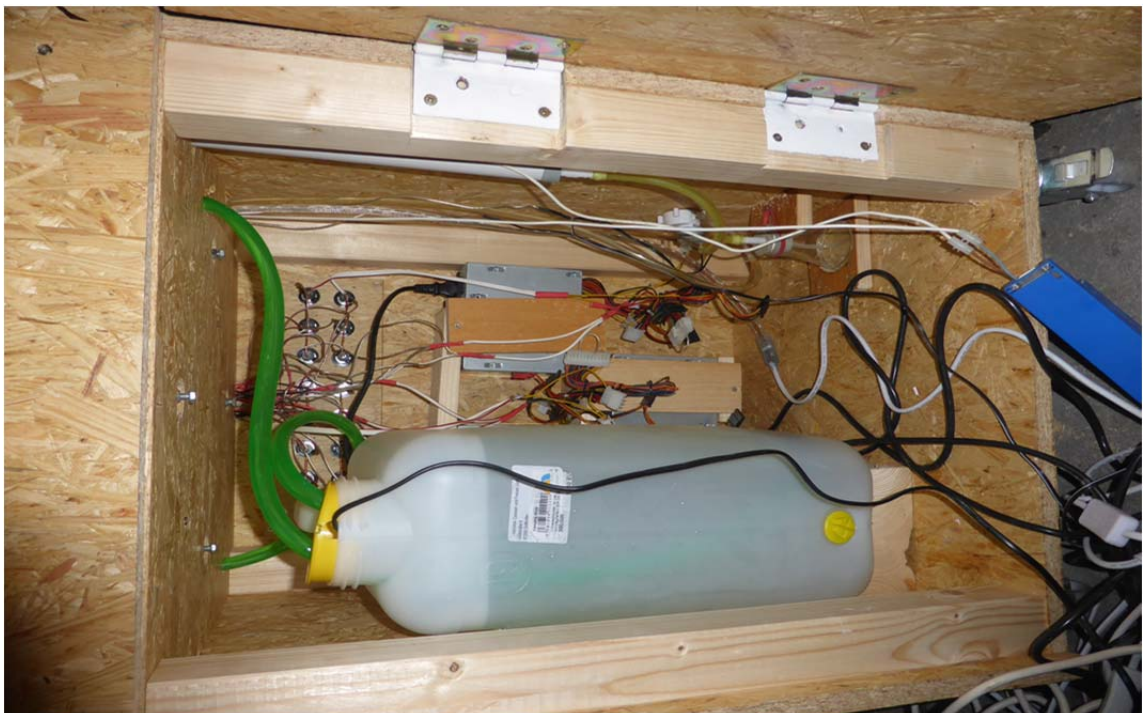


Bild Nr. 9(unsere selbstgebaute Kammer)



Bild Nr. 10 (unsere selbstgebaute Kammer)

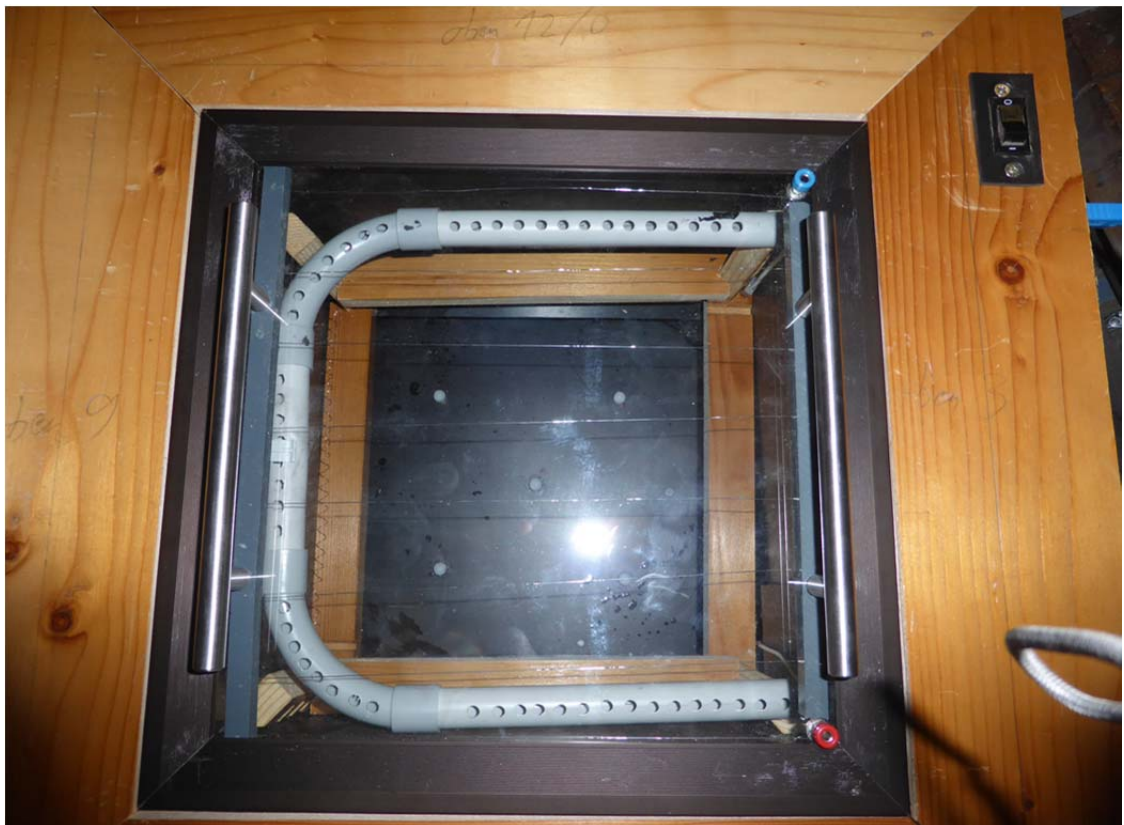


Bild Nr.11 (unsere selbstgebaute Kammer von oben)

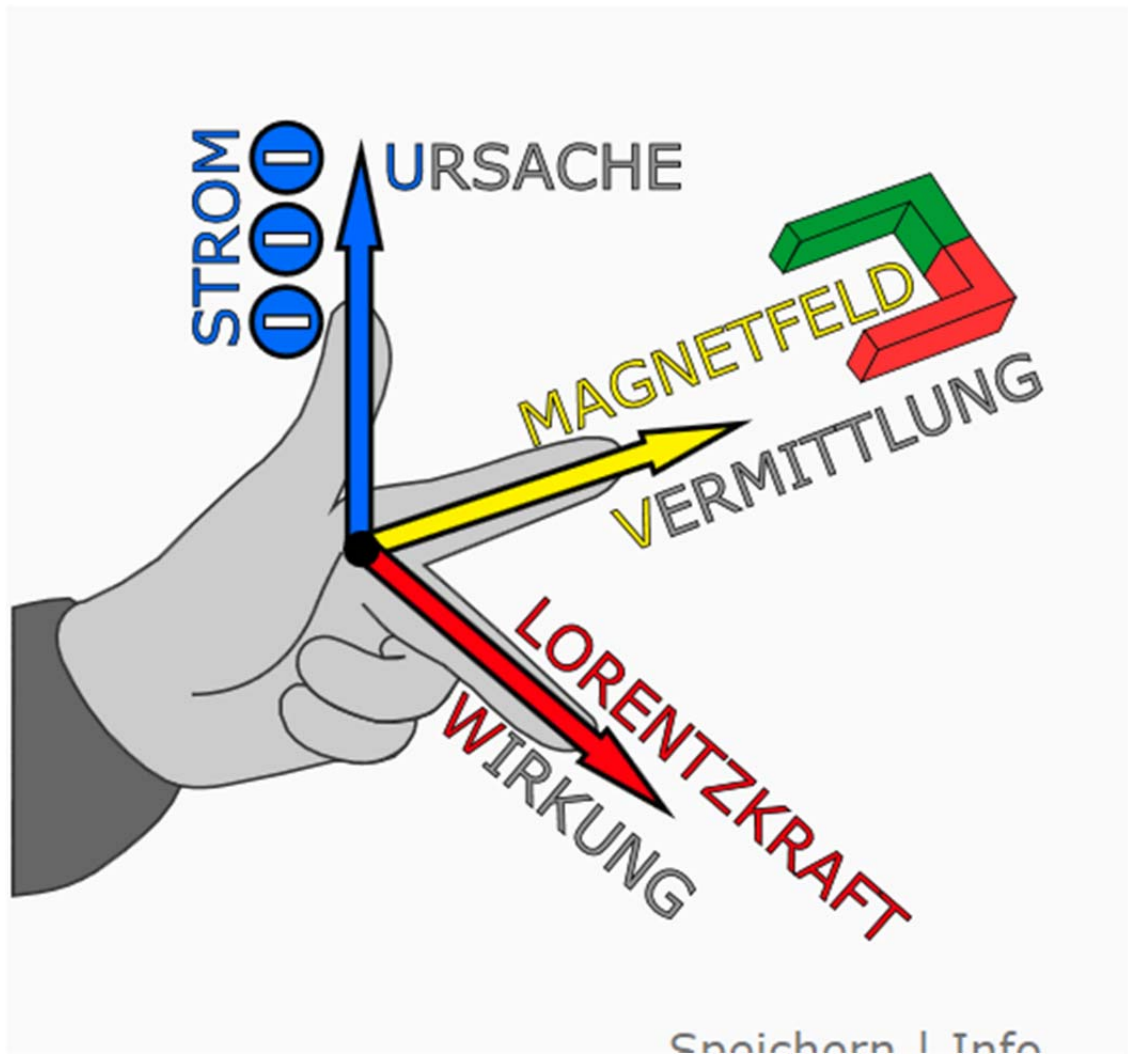


Bild Nr.12 (3 Finger Regel der linken Hand)

6 Selbstständigkeitserklärung

Versicherung der selbständigen Erarbeitung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit einschließlich evtl. beigefügter Zeichnungen, Kartenskizzen, Darstellungen u. ä. m. selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter genauer Angabe der Quelle deutlich als Entlehnung kenntlich gemacht.

_____ Rheinbach _____, den
(Ort) (Datum)

_____ 13.04.2018 _____

(Unterschrift)