

Der Bau und die Verbesserung einer kontinuierlichen Diffusionsnebelkammer

Physik- Jahresarbeit von Christian Plötzing

Ph- LK; Jahrgangsstufe 13; 1999

Inhaltsverzeichnis:

1. Kurzfassung
2. Physikalische Grundlagen einer Diffusionsnebelkammer
3. Die Kühlung
 - 3.1 Die Wasserkühlung
 - 3.2 Die Peltierkühlung
 - 3.2.1 Versuche zur Peltierkühlung
 - Versuch 1
 - Versuch 2
 - Auswertung der Versuche 1 und 2
 - Versuch 3
 - Versuch 4
 - Auswertung der Versuche 3 und 4
 - Versuch 5
 - Auswertung des Versuches 5
 - Versuch 6
 - Auswertung des Versuches 6
 - Versuch 7
 - Versuch 8
 - Auswertung der Versuche 7 und 8
4. Ausblick
5. Literaturverzeichnis

1. Kurzfassung

In meiner Arbeit geht es um die Verbesserung der Nebelkammer mit dem Schwerpunkt, eine neue Kühlung zu konstruieren, die immer einsatzbereit ist. Zuvor hatte ich den Boden der Nebelkammer mit Trockeneis gekühlt. Dabei wurde jedoch die Anschaffung und Lagerung des Trockeneises zum Problem. Auch war die Nebelkammer nicht immer einsatzfähig. Nach einiger Zeit entschied ich mich für die Verwendung von Peltierelementen. Wenn durch diese plättchenförmigen Elemente ein Gleichstrom fließt, so kühlt sich eine Seite ab während sich die andere Seite erhitzt. Dafür musste jedoch der gesamte untere Bereich der Nebelkammer neu konstruiert werden. Zusammen mit einer Wasserkühlung, die die an den Peltierelementen entstandene Hitze abführte, schaffte ich es letztendlich, eine ausreichend tiefe Temperatur im Innern der Kammer zu erreichen. So konnte ich radioaktive Strahlung sichtbar machen. Mit der neuen Kühlung ist die Nebelkammer nun immer und sofort einsetzbar.

2. Physikalische Grundlagen einer Diffusionsnebelkammer

Die Diffusionsnebelkammer macht es möglich, radioaktive Strahlung bzw. die durch sie entstandenen Ionen nachzuweisen. In der Nebelkammer muss ein sehr starkes Temperaturgefälle vorhanden sein, das heißt, der untere Bereich muss auf ca. -20°C gekühlt werden während in den oberen Luftschichten der Kammer Temperaturen von $+20^{\circ}\text{C}$ herrschen. In der unteren kalten Zone der Nebelkammer existiert so ein übersättigter Zustand, in dem sich der in der Kammer vorhandene Alkoholdampf sofort an Kondensationskernen niederschlägt. Durch die radioaktive Strahlung wird die Luft in der Kammer ionisiert. An diesen Ionen kondensiert nun der Alkoholdampf und bildet Kondensationsspuren, die für das menschliche Auge sichtbar sind.

Die Kühlung

Die Kühlung der Diffusionsnebelkammer besteht aus zwei Stufen:

- Die erste Stufe ist eine Wasserkühlung.
- Die zweite besteht aus Peltierelementen.

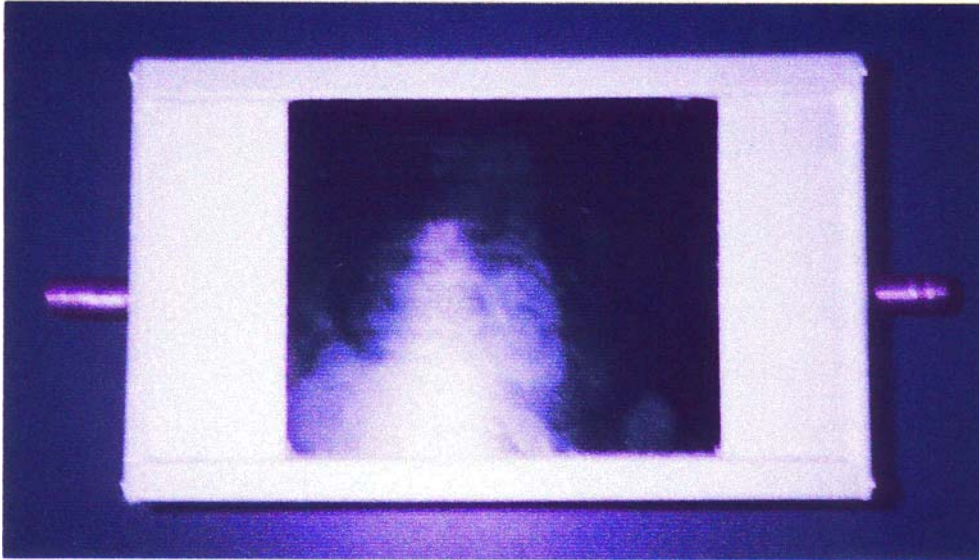
3.1 Die Wasserkühlung

Die Wasserkühlung sollte die an einer Seite der Peltierelemente entstandene Wärme abführen um diese möglichst kalt zu halten. Zu Beginn meiner Überlegungen wollte ich eine wasserdurchflossene Metallbox verwenden. Um die Leistungsfähigkeit der Wasserkühlung zu verbessern entschloss ich mich, noch zusätzlich einen Kühlkörper zu verwenden, da er, aufgrund seiner größeren Oberfläche (bedingt durch die Kühlrippen) und seiner sehr guten thermischen Leitfähigkeit, die Wärmeenergie besser an das Wasser abgeben kann. Ich benutzte letztendlich ein Aluminiumgehäuse, das ich mit einer rechteckigen Aussparung im oberen Deckel versah. Auf diese Weise konnte ich den Kühlkörper so im Aluminiumgehäuse versenken, dass seine Kühlrippen auf der unteren Platte des Gehäuses standen und sich seine glatte Fläche außerhalb des

Der Bau und die Verbesserung einer kontinuierlichen Diffusionskammer

Gehäuses befand. Der Kühlkörper war so in das Gehäuse eingepasst, dass seine Kühlrippen von Wasser umströmt wurden und seine flache Seite nicht von dem Gehäuse bedeckt war. Somit konnte ich erstens die Peltierelemente direkt auf dem Kühlkörper platzieren, und zweitens besaß die Wasserkühlung durch die Verwendung des Kühlkörpers eine hohe Leistungsfähigkeit. Bei dem Aluminiumgehäuse handelte es sich um einen Bausatz, der jedoch nicht wasserdicht war. Zum Abdichten dieses Gehäuses benutzte ich eine Art von Silikon, das wasserfest und temperaturbeständig war. An den zwei kleineren Seitenflächen montierte ich Messinghähne, die einen Anschluss von Schläuchen ermöglichen.

Abbildung 1

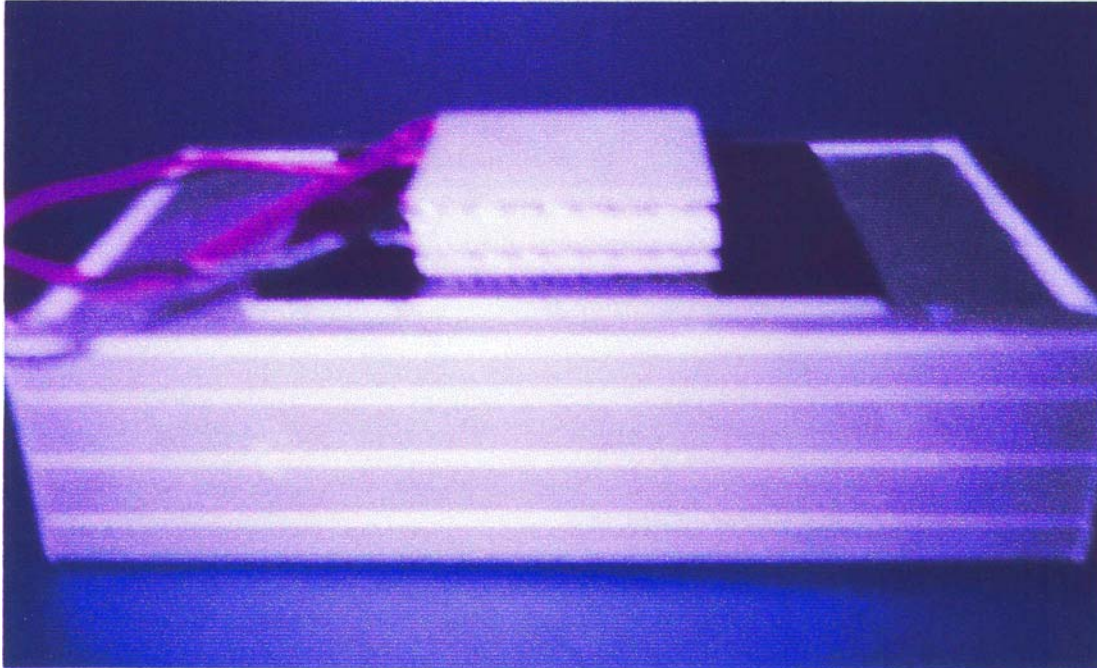


3.2 Die Peltierkühlung

Peltierelemente sind thermoelektrische Einheiten auf Halbleiterbasis. Diese Elemente arbeiten nach dem Prinzip, dass bei Stromdurchgang an der Kontaktstelle zweier verschiedener Metalle eine Temperaturabsenkung gegenüber der Umgebungsluft erfolgt. Ein Peltierelement besteht aus zwei unterschiedlich dotierten Halbleiterschnecken, die durch eine Kupferbrücke an ihrer Stirnseite verbunden sind. Fließt durch dieses Element Gleichstrom, so kühlt sich eine Seite ab und entnimmt der Umgebung folglich Wärmeenergie, welche dann von der warmen Seite an die Umgebung abgegeben wird. Durch die Verwendung mehrerer Halbleiterschnecken (Kaskadierung) lässt sich die Temperaturdifferenz vergrößern. Durch Stromumpolung lässt sich die Richtung des Wärmeffusses umkehren.

Ich besorgte mir zunächst zwei Peltierelemente des Typs TEC1-12708. Diese Peltierelemente besitzen eine maximale Spannung von $U_{\max} = 15,4 \text{ V}$ und einen maximalen Strom von $I_{\max} = 8 \text{ A}$, der nicht überschritten werden sollte. Ihre maximale Leistung beträgt pro Element $P_{\max} = 79,1 \text{ W}$. Die maximale Temperaturdifferenz zwischen der warmen und der kalten Seite beträgt $\blacktriangle T_{\max} = 60^\circ\text{C}$. Zur Anordnung der Peltierelemente machte ich mehrere Versuche.

Abbildung 2



3.2.1 Versuche zur Peltierkühlung

Versuch 1

Als erstes führte ich einen Versuch durch, bei dem ich zwei Peltierelemente benutzte, die übereinander angeordnet waren. Die kalten Seiten zeigten beide nach oben und somit in Richtung der Bodenplatte der Nebelkammer. Zwischen die Peltierelemente bzw. die Aluminiumplatten strich ich stets Wärmeleitpaste um den Wärmetransport zu optimieren. Den Strom für die Peltierelemente lieferte eine 12V Autobatterie. Auf diese Weise glaubte ich, die doppelte Leistung von einem Peltierelement und somit eine ausreichend tiefe Temperatur zu erreichen. An der Bodenplatte der Nebelkammer erreichte ich jedoch nur eine minimale Temperatur von $-9,5^{\circ}\text{C}$.

Versuch 2

Bei der nächsten Messreihe nahm ich nur ein Peltierelement, das ich wieder an die Autobatterie anschloss. Ich erreichte so eine Temperatur von -8°C . Dies war fast die gleiche Temperatur, die ich mit zwei aufeinanderliegenden Peltierelementen erreicht hatte.

Auswertung der Versuche 1 und 2

Der Grund für dieses Ergebnis ist die Wärmeenergie, die durch den ohmschen Widerstand der Peltierelemente entsteht. So hat jedes Peltierelement eine der Kühlleistung der kalten Seite entgegen wirkende Leistung. Die Formel für diese elektrische Leistung lautet: $P = I^2 \cdot R$

Durch diese Leistung erhitzen sich sowohl die warme als auch die kalte Seite der Peltierelemente.

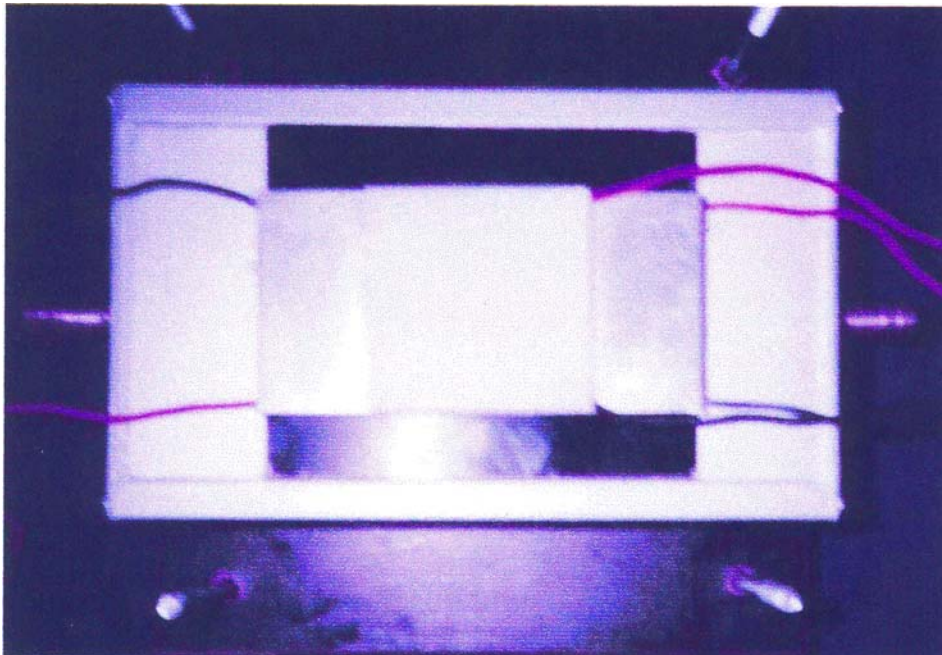
Die Vermutung in Versuch 1, dass das untere Peltierelement die an der heißen und somit unteren Seite des oberen Elementes anfallende Energie restlos weiterpumpen kann, kann also nicht stimmen. Denn das untere Element muss zusätzlich die elektrische Verlustleistung des oberen weiterpumpen. Da die bei den Peltierelemente in Versuch 1 jedoch die gleiche Pumpleistung besaßen, entstand zwischen den beiden Elementen eine Stauwärme. So wurde die untere Platte des oberen Elementes immer wärmer und somit stieg auch die Temperatur der kalten Seite.

Als nächstes überlegte ich mir, wie ich die Pumpleistung der unteren Stufe der Peltierkühlung erhöhen könnte. Ich entschied mich für die Besorgung eines weiteren Peltierelement, das dieselben technischen Daten besaß, wie die ersten beiden. Zusätzlich ließ ich mir ein Gerät aus der Physiksammlung, das mir eine Spannung von 15,4 V bei 24 A (3 parallel geschaltete Elemente mit jeweils 8 A) liefern konnte. Nun führte ich die Versuche 3, 4 und 5 durch.

Versuch 3

Im dritten Versuch ordnete ich die Peltierelemente so an, dass zwei unten nebeneinander direkt auf dem Kühlkörper lagen, und eines darüber. Zwischen dem einzelnen und den zwei Elementen befand sich eine 4 mm dicke Aluminiumplatte, die die kalte Seite beider unten liegenden Peltierelementen bedeckte. In der Mitte dieser rechteckigen Platte lag das obere Peltierelement. Die Aluminiumplatte verteilte so die Wärme des oberen Elementes gleichmäßig auf die unteren beiden. Alle drei Elemente schloss ich an dieselbe Spannung von 15 V an. Bei diesem Versuch erreichte ich jedoch nur schwache Minustemperaturen von ungefähr -6°C . Diesen Wert hatte ich nicht erwartet. Zur Klärung dieser Sache führte ich noch einen Vergleichsversuch (Versuch 4) durch.

Abbildung 3



Versuch 4

Dieser Versuch war im Grunde derselbe Versuch wie Versuch 1, jedoch schloss ich die zwei Peltierelemente an eine Spannung von 15 V an, die das Netzgerät lieferte. Die Messung zeigte ein wesentlich schlechteres Ergebnis als in Versuch 1. Ich erreichte hier nur eine Temperatur von ca. 0°C.

Auswertung der Versuche 3 und 4

Bei Versuch 3 erklärte ich mir das schlechte Ergebnis damit, dass, wie in Versuch 1, eine Stauwärme auftritt, die eine Erwärmung der unteren und somit auch der oberen Platte des oben liegenden Peltierelementes herbeiführt. Ich dachte zunächst, dass die Leistung der unteren Peltierelemente noch immer nicht ausreicht, die an der warmen Seite des oberen Elementes entstandene Wärme weiterzupumpen und sie somit kalt zu halten. Das Ergebnis des 4. Versuches resultierte meiner Meinung nach aus der Zunahme der Stauwärme zwischen den beiden Elementen aufgrund der größeren Spannung. Da ich nach diesen Versuchen daran zweifelte, dass ich bei maximaler Spannung und somit maximalem Strom auch das beste Ergebnis erhalte, führte ich Versuch 5 durch.

Versuch 5

Bei diesem Versuch ordnete ich die Elemente wie in Versuch 3 an. Vor dem Versuch besorgte ich mir jedoch ein zweites Netzgerät, damit ich die an den zwei unteren und die am oberen Element angelegte Spannung getrennt voneinander variieren konnte. Zuerst schloss ich die beiden unteren Elemente parallel an eines der beiden Netzgeräte an und wählte die maximale Spannung von 15,4 V. Das obere Element schloss ich an das zweite Netzgerät an, mit dem ich im Verlauf der Messreihe die Spannung veränderte.

Spannung	Spannung oben	Temperatur 1	Temperatur 2
15,4 V	4V	-2°C	-14,5°C
15,4 V	5V	1°C	-15,5°C
15,4 V	6V	3°C	-15°C
15,4 V	7V	7°C	-12°C
15,4 V	8V	9,5°C	-12,5°C
15,4 V	9V	10,5°C	-11°C

Ich veränderte bei diesem Versuch die Spannung in 1V-Schritten, und maß die Temperatur sowohl auf der oberen (kalten) Seite des oberen Elementes (Temperatur 2) als auch auf der Aluminiumplatte, die direkt auf den zwei unteren Elementen lag (Temperatur 1). Nach Einstellen einer neuen Spannung wartete ich 2 Minuten, damit sich die neue Temperatur einstellen konnte.

Auswertung des Versuches 5

Bei einer angelegten Spannung von 5 V am oberen Peltierelement erreichte ich eine schon recht gute aber nicht ganz ausreichende Temperatur von -15,5°C. Bei diesem Versuch sah ich, dass die Pumpleistung der unteren beiden Elemente bei einer angelegten Spannung von 15,4 V ausreicht,

Der Bau und die Verbesserung einer kontinuierlichen Diffusionskammer um die Wärme des oberen Elementes, an dem eine Spannung von 5 V anliegt und noch zusätzliche Energie weiterzupumpen. So blieb die Temperatur der Aluminiumplatte zwischen den Peltier-elementen konstant bei 1°C. Da ich jedoch daran zweifelte, dass bei den beiden unten liegenden Peltierelementen die maximale Leistung bei der maximalen Spannung von 15,4 V liegt, führte ich Versuch 6 durch.

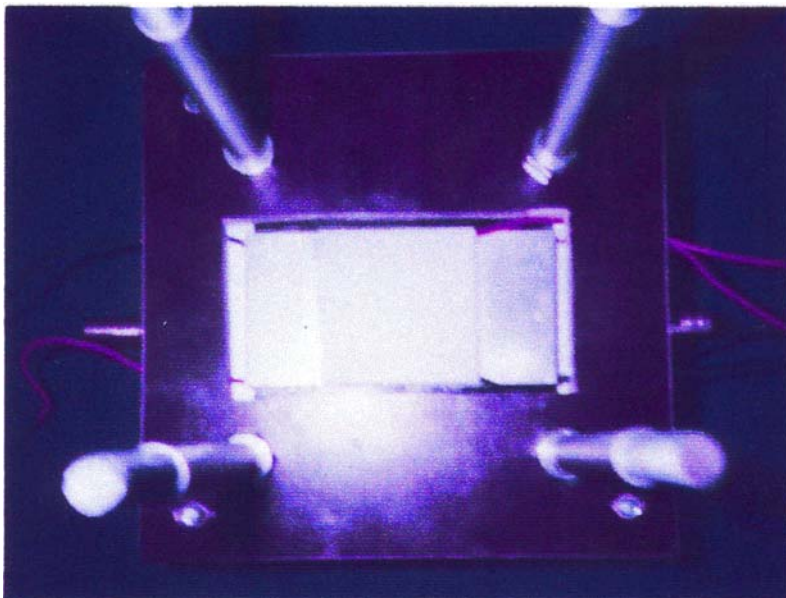
Versuch 6

Dieser Versuch ist derselbe wie Versuch 5, bis auf die Tatsache, dass ich bei diesem Versuch die Spannung der unteren zwei Peltierelemente veränderte, während ich die des oberen konstant bei optimalen 5 V hielt. Ich erhielt folgende Messwerte.

Spannung unten	Spannung oben	Temperatur 1	Temperatur 2
3V	5V	6°C	-11°C
4V	5V	1°C	-14°C
5V	5V	-1,5°C	-16°C
6V	5V	-4°C	-18°C
7V	5V	-6°C	-19°C
8V	5V	-7,5°C	-19,5°C
9V	5V	-8°C	-20°C
10V	5V	-8°C	-20,5°C
11V	5V	-7,5°C	-19,5°C
12 V	5V	-6,5°C	-19°C

Wieder maß ich die Temperatur an der oberen Seite des oben liegenden Peltierelementes (Temperatur 2), und die Temperatur der zwischen den Peltierelementen liegenden Aluminiumplatte (Temperatur 1).

Abbildung 4



Auswertung des Versuches 6

Dieser Versuch brachte die Erkenntnis, dass die unteren Peltierelemente, entgegen meiner Erwartung, ihre maximale Pumpleistung nicht bei ihrer maximal anzulegenden Spannung haben. So verrichten sie die optimale Pumpleistung bei einem Strom, der um einiges niedriger ist als 8 A, Laut Beschreibung liefern die Peltierelemente ihre maximale Leistung von 79,1 W bei 8 A, und zwar wenn der Temperaturunterschied der warmen und kalten Seite 0°C beträgt, das heißt, unmittelbar nach Anlegen einer Spannung und wenn die Temperatur der warmen Seite 27°C beträgt. Aus den beiden Diagrammen in der Beschreibung geht nur hervor, dass die Pumpleistung mit der Zunahme der Temperaturdifferenz linear abnimmt. Zum Testen der Nebelkammer führte ich abschließend Versuch 7 durch.

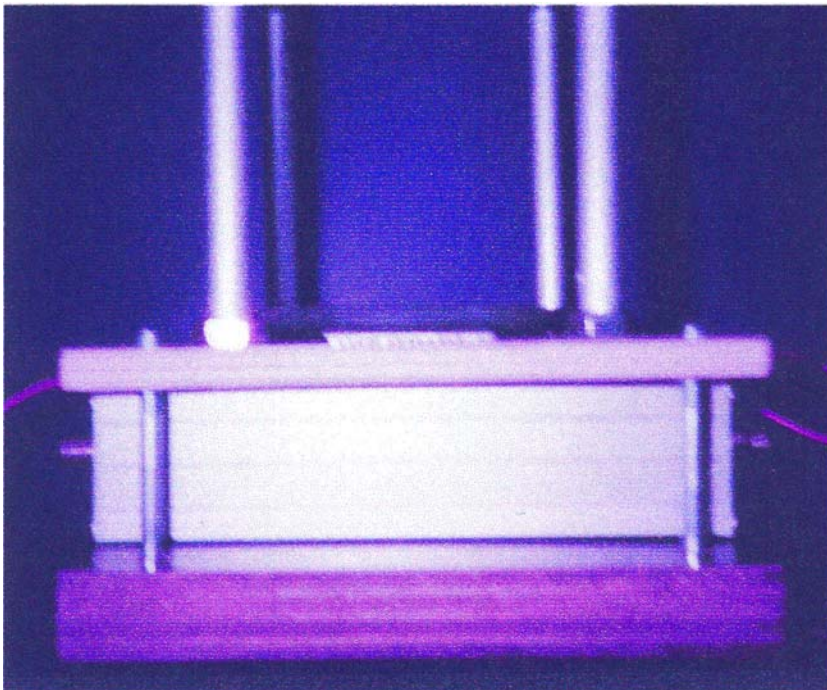
Versuch 7

Bei diesem Versuch legte ich an die unteren beiden Peltierelemente eine Spannung von 10 V und an das obere eine Spannung von 5 V an. Dabei erhielt ich folgende Temperatur am Boden der Nebelkammer.

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T_B	20	6	-4	-9	-13	-16	-18	-20	-21	-21,5	-22	-22,5	-23

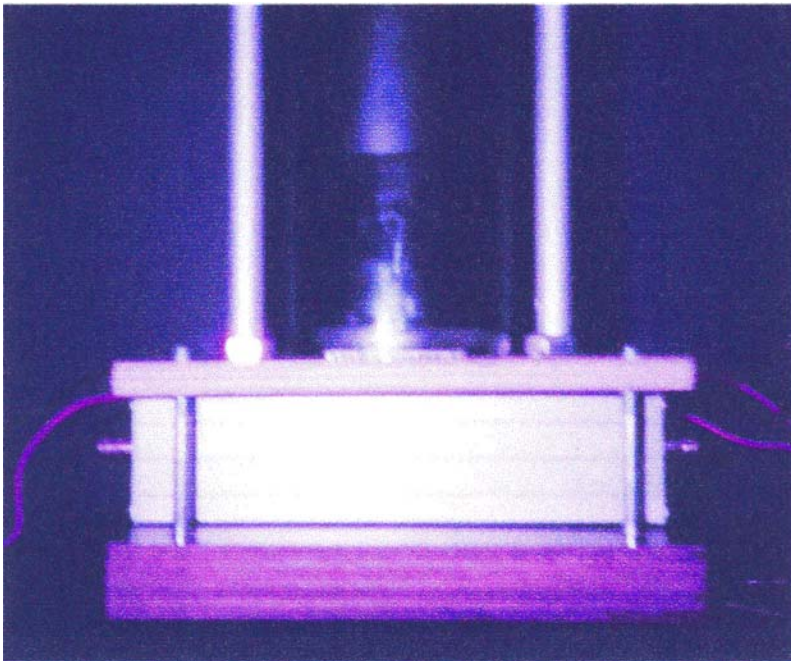
t : Zeit in Minuten

T_B: Temperatur am Boden der Nebelkammer in $^{\circ}\text{C}$



Versuch 8

Nun führte ich den letzten Versuch durch, bei dem ich sehen wollte ob es mir gelingt die α -Strahlung sichtbar zu machen. Als radioaktiven Strahler benutzte ich einen Glühstrumpf einer Camping-Gaslampe. An den oberen Rand des Plexiglaszylinders, der die eigentliche Kammer bildet, klebte ich einen 2 cm breiten Filzstreifen, den ich mit Alkohol tränkte. Tatsächlich konnte ich schon nach wenigen Minuten die ersten Kondensstreifen deutlich sehen.



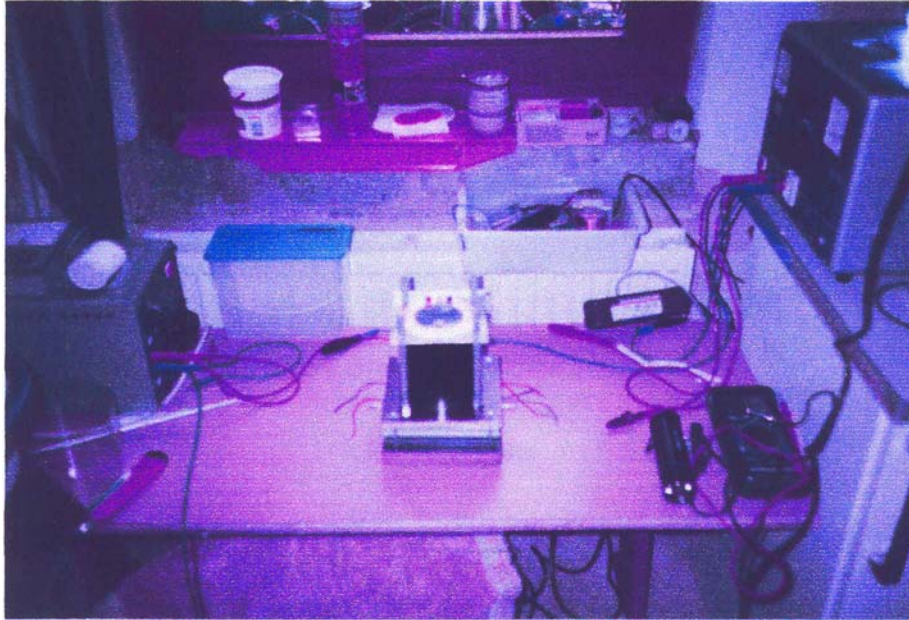
Auswertung der Versuche 7 und 8

Die Messreihe zeigt, dass mit dieser Anordnung und mit diesen Spannungen eine Temperatur von -23°C im Innern der Kammer erreicht werden kann. Diese Temperatur reicht aus, wie ich in Versuch 8 feststellte, um im Innern der Kammer radioaktive Strahlung nachzuweisen.

4.Ausblick

Es ist mir nach vielen Experimenten und Überlegungen schließlich gelungen, eine Kühlung zu bauen, die leistungsfähig genug ist um die Kammer ausreichend zu kühlen. Mit der Kammer ist es nun auch möglich durch Anlegen eines magnetischen Feldes die α - Teilchen abzulenken.

Abbildung 7



5. Literaturverzeichnis

- Datenblatt der Peltierelemente