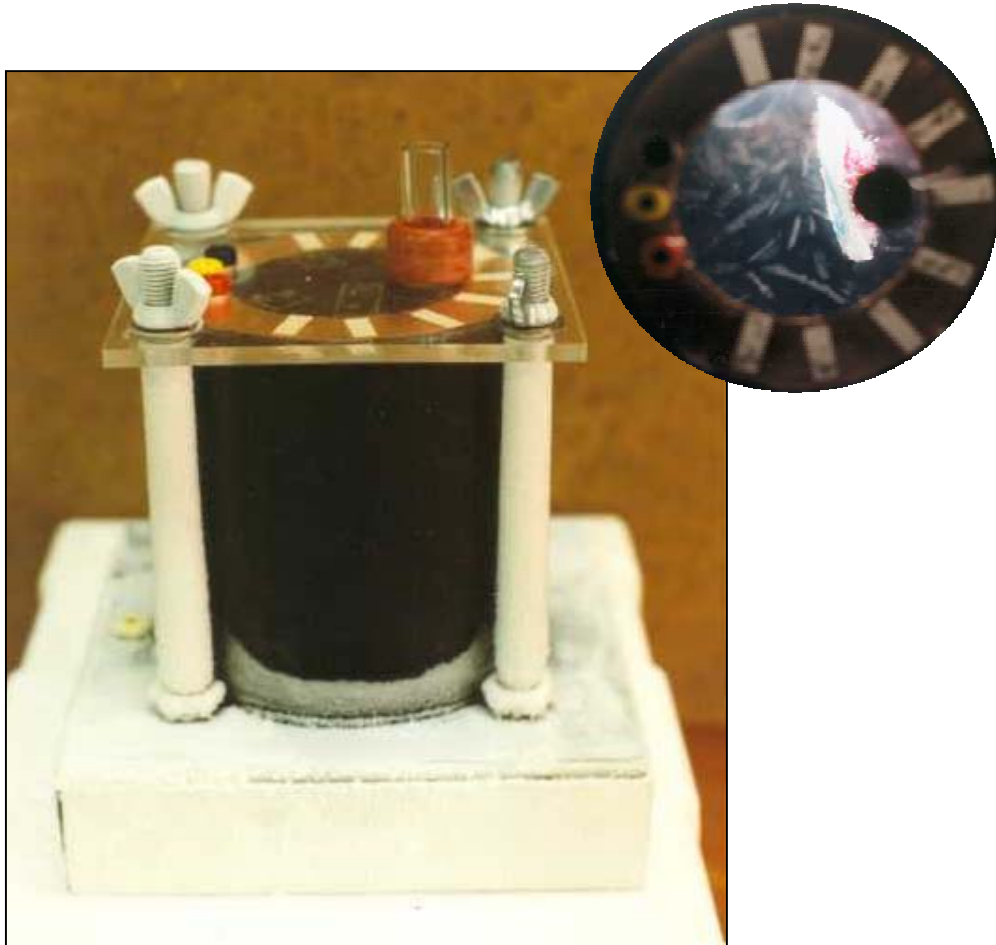


Nachweis von radioaktiver Strahlung mit selbstgebauten Geräten



Schüler-experimentieren-Arbeit 1997

von

Felix Giepmann, Christian Plötzing und Wenzel Schoroth

Inhaltsverzeichnis

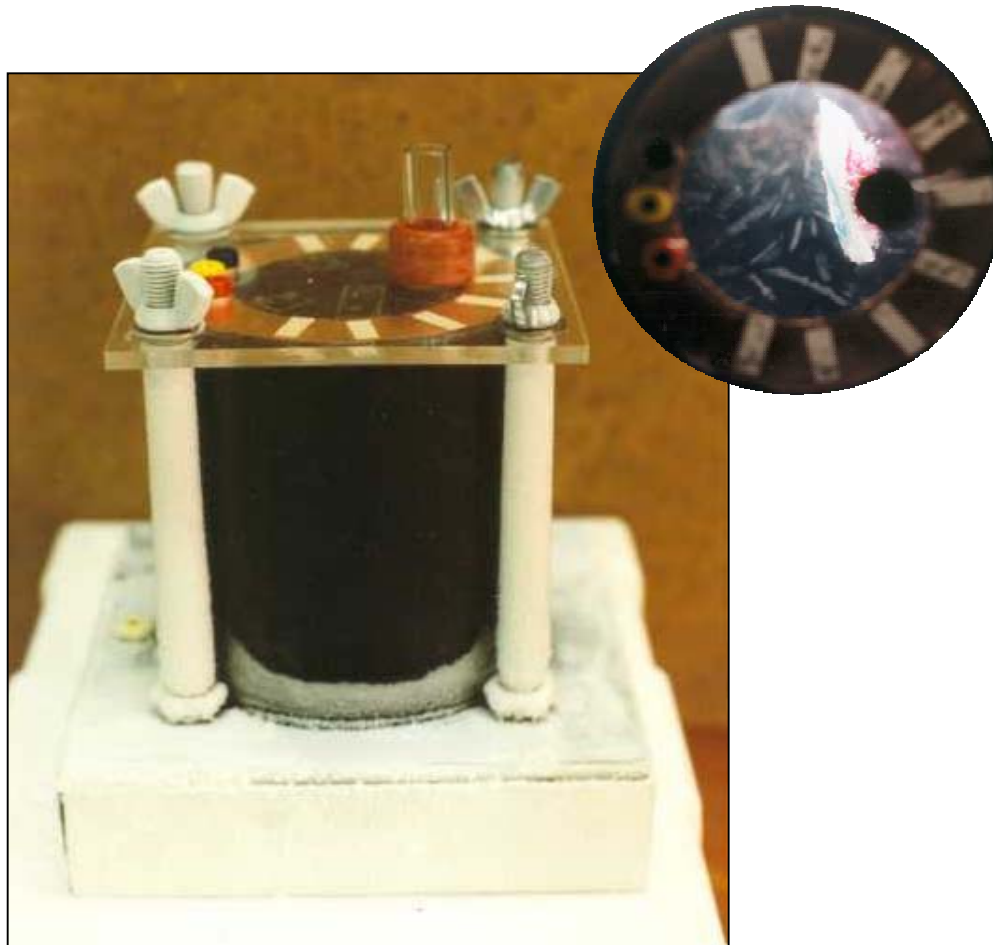
1. Kurzfassung
2. Einleitung
3. Vorsichtsmaßnahmen
4. Der Bau eines Hochspannungsgerätes
5. Radioaktive Strahler
 - 5.1 Der Glühstrumpf
 - 5.2 Gewinnung von Polonium
6. Versuche mit selbstgebauten Nachweisgeräten
 - 6.1 Die Ionisationskammer
 - 6.2 Das Spintariskop
 - 6.3 Der Halbleiterdetektor
 - 6.4 Aufzeichnung und Bearbeitung von Spannungsspitzen mittels einer Soundkarte
 - 6.5 Die CCD- Kamera
 - 6.6 Die Nebelkammer
7. Literaturliste

1. Kurzfassung

Am Anfang unserer Arbeit stand die Frage, ob es uns möglich sei, radioaktive Strahlung mit preisgünstigen, selbstgebauten Geräten nachzuweisen.

Wir entwickelten mehrere Geräte, die wir auch alle selber bauten. Mit dem Spintarisoskop, der CCD-Kamera und der Nebelkammer kann man die Wirkung der Strahlung direkt sehen und mit der Ionisationskammer messen. Besonders interessante Ergebnisse haben wir mit unserem Halbleiterdetektor erhalten, die uns zu weiterem arbeiten anregten. Wir haben ein Programm geschrieben, mit dem man Impulse zählen und nach Impulshöhe sortieren kann. Zur Zählung der Impulse benutzten wir eine Soundkarte, die erheblich billiger ist, als die sonst benutzte Elektronik. Eine solche Soundkarte ist zudem in den meisten Computern bereits vorhanden.

Das Herzstück unserer Arbeit bildete jedoch unsere selbstgebaute, mit Trockeneis betriebene Nebelkammer. Die Flugbahn der Alpha-Teilchen, die von dem Glühstrumpf in der Nebelkammer ausgesendet wurden, konnten wir durch Kondensationsspuren sichtbar machen.



2. Einleitung

Unser Interesse an der Radioaktivität wurde durch Zeitungsberichte zum 10. Jahrestag der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl geweckt. Der Gedanke, mit einfachen, preiswerten und selbstgebauten Geräten die Intensität dieser Strahlung kontrollieren zu können, ließ uns nicht mehr los. Wir informierten uns in mehreren Büchern, um zu erfahren, wie wir unsere Ideen umsetzen könnten.

3. Vorsichtsmaßnahmen

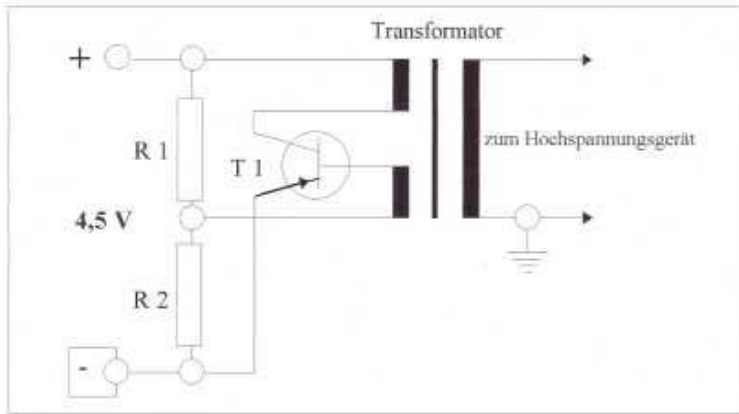
Auch bei schwach strahlenden Gegenständen, wie z.B. Glühstrümpfen, Peremesin-Reisetabletten oder selbstgesammeltem radioaktivem Material, sind Vorsichtsmaßnahmen nötig, da auch schwache radioaktive Strahlung Gesundheitsschäden hervorrufen kann.

- Radioaktive Gegenstände, wenn möglich in der Verpackung lassen.
- Während des Umgangs mit radioaktiven Stoffen nicht essen oder die Finger in den Mund stecken und nachher die Hände waschen, um eine Aufnahme von Spuren der radioaktiven Stoffe zu vermeiden.
- Radioaktive Stoffe nicht in der Nähe des Körpers aufbewahren, da eine Verpackung die Radioaktivität nicht vollständig abschirmt.

4. Der Bau eines Hochspannungsgerätes

Um radioaktive Stoffe, wie z.B. Polonium sammeln und Versuche mit der Ionisationskammer durchführen zu können, bauten wir uns ein Hochspannungsgerät. Dieses Gerät besteht aus einem Vorschaltgerät und dem eigentlichen Hochspannungsgerät. Das Prinzip des Vorschaltgerätes besteht darin, eine Gleichspannung von 4,5 V (3 in Reihe geschaltete Batterien) in eine Wechselfspannung von 150 V umzuwandeln. Den Bauplan entnahmen wir [1] Trickkiste Physik, S.186-189. Im Hochspannungsgerät wird die Spannung durch eine Reihe von Dioden und Kondensatoren auf 7500 V hochtransformiert. Dahinter befinden sich noch 2 hochohmige Widerstände, die diese doch sehr hohe Spannung für uns ungefährlich machen.

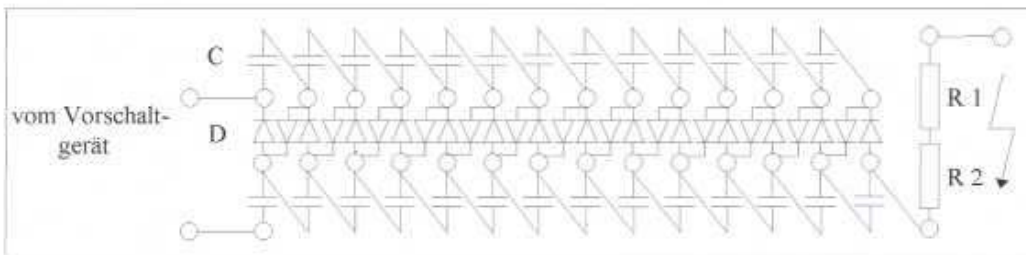
Abbildung 4.1 Vorschaltgerät für das Hochspannungsgerät



Legende:

R 1 : 10 k Ω ; R 2 : 4 k Ω
T 1 : BC 557

Abbildung 4.2 Hochspannungsgerät zur Erzeugung einer ungefährlichen Hochspannung



Legende:

D : 1 N 4007
C : 47 nF, 600 V
R 1 : 10 M Ω
R 2 : 10 M Ω

5. Radioaktive Strahler

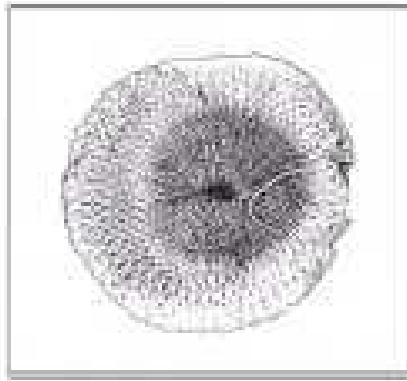
Viele Sachen in unserer Umgebung sind radioaktiv, da sie geringe Mengen radioaktiver Stoffe enthalten. Meistens entstehen durch sie keine Gesundheitsrisiken, da sie nur gering strahlen. In einigen Fällen kann es jedoch zu einer höheren Belastung des Körpers durch radioaktive Strahlung kommen. Es gibt drei verschiedene Arten von radioaktiver Strahlung:

- α - Strahlung (Heliumkerne)
- β - Strahlung (Elektronen oder Positronen)
- γ - Strahlung (energiereiche Quanten)

5.1 Der Glühstrumpf

Glühstrümpfe werden verwendet, um die Flamme einer Camping- Gaslampe zum Leuchten zu bringen. Viele Leute wissen gar nicht, dass ein Glühstrumpf, um ihn haltbarer zu machen, das radioaktive Element Thorium enthält. Deswegen ist es ratsam, bei der Verwendung von Glühstrümpfen die oben genannten Vorsichtsmaßnahmen zu beachten. Ein abgebrannter Glühstrumpf zerfällt sehr leicht, so dass die Vorsichtsmaßnahmen in diesem Fall besonders wichtig sind. Wenn diese Vorsichtsmaßnahmen eingehalten werden, kann man unabgebrannte Glühstrümpfe wegen ihrer geringen Radioaktivität für Experimente gebrauchen. Wir haben die meisten unserer Experimente mit Glühstrümpfen durchgeführt.

Abbildung 5.1 Der Glühstrumpf



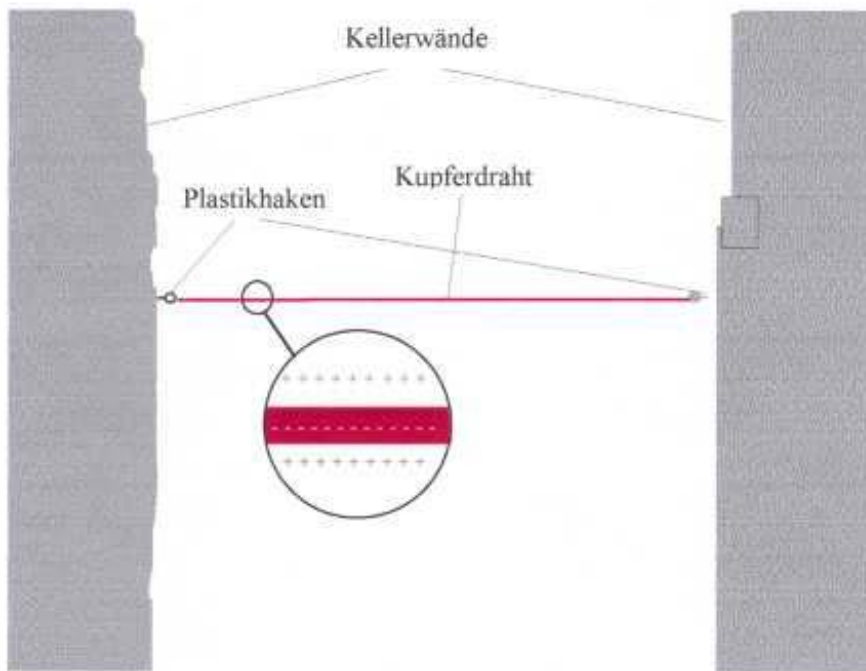
5.2 Gewinnung von Polonium

In der Erde sind geringe Mengen radioaktiver Stoffe, hauptsächlich Uran und Thorium, vorhanden. Eines ihrer Zwischenprodukte beim Zerfall ist das Edelgas Radon. Da es sich nicht mit anderen Elementen verbindet, diffundiert es im Laufe seiner Lebensdauer (Halbwertszeit: 3,8 Tage) durch die Erde und sammelt sich an der Erdoberfläche, vor allem in Höhlen und Kellerräumen an, wo es zerfällt und dabei α -Teilchen aussendet. Dabei werden die entstandenen Poloniumatome stark beschleunigt, prallen mit den Atomen der Luft zusammen und verlieren dabei Elektronen. Nun kann man sie mit einem negativ geladenen Draht anziehen.

Dazu haben wir einen dünnen Kupferdraht einmal in einem Felsenkeller und einmal in einem betonierten Keller aufgehängt und an unser Hochspannungsgerät angeschlossen. Nach ca. 12 Stunden haben wir die Folgeprodukte des inzwischen zerfallenen Poloniums mit einem Papiertaschentuch vom Draht abgestreift und die Radioaktivität mit einem γ -Detektor gemessen. Dabei kamen wir auf einen Wert von $0,39 \mu\text{Sv/h}$ gegenüber der natürlichen Radioaktivität von ca. $0,11 \mu\text{Sv/h}$.

Es nutzte uns nichts, den Draht länger als 12 Stunden an das Hochspannungsgerät anzuschließen, da dann genau so viel radioaktives Material zerfiel, wie sich am Draht ablagerte.

Abbildung 5.2 Versuchsaufbau zur Gewinnung von Polonium



6. Versuche mit selbstgebauten Nachweisgeräten

Glücklicherweise sind wir heute in der Lage radioaktive Strahlung nachzuweisen. So können wir uns vor ihr schützen. Das wohl bekannteste Nachweisgerät ist der Geigerzähler, doch es gibt auch andere, zum Teil recht einfach nachbaubare Geräte, mit denen man die radioaktive Strahlung nachweisen kann. Um dies zu zeigen haben wir einige Geräte selbst geplant und gebaut.

6.1 Die Ionisationskammer

Ionisationskammern beruhen auf der Tatsache, dass radioaktive Strahlung die Luft, auf die sie trifft, ionisiert. Dadurch wird ein Ladungstransport möglich, der sich auf verschiedene Arten nachweisen lässt. Um diesen Ladungstransport nachzuweisen, wollten wir zwei Metallplättchen in einer abgeschirmten Kammer gleichartig laden. Wir erwarteten, dass sich die Plättchen auf grund der gleichartigen Ladung abstoßen würden und erst langsam durch Entladung in ihren Ausgangszustand zurückkehren würden. Wir hofften, diesen Effekt durch die Ionisation beschleunigen zu können. Als Kammer haben wir wegen der einfachen Verarbeitbarkeit eine Holzkiste gebaut und mit dünnem Kupferblech beklebt, das wir erdeten, um störende elektrische Felder fernzuhalten. Dann bauten wir Plexiglasfenster ein, um den Abstand der Metallplättchen kontrollieren zu können. Die Metallplättchen hängten wir an dünner Angelschnur an einen in der Kammer angebrachten Kunststoffstab, um einen Ladungstransport über die Aufhängung zu vermeiden.

Wir luden die Plättchen mit unserem Hochspannungsgerät auf und kontrollierten den Abstand der Plättchen in regelmäßigen Abständen. Dann normierten wir die Werte (Maximalwert = 100%) und bildeten einen Mittelwert aus 3 Messungen. Diesen Versuch führten wir einmal mit und einmal ohne Glühstrumpf durch, wobei man deutlich erkennen konnte, dass sich die Metallplättchen bei radioaktiver Strahlung schneller entluden.

Abbildung 6.1 Aufbau unserer Ionisationskammer

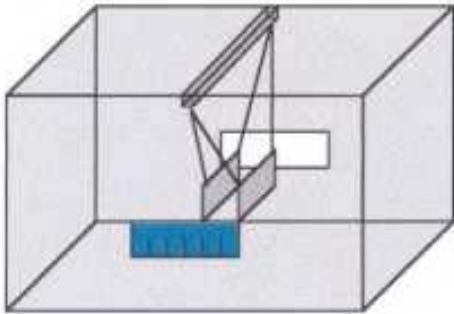
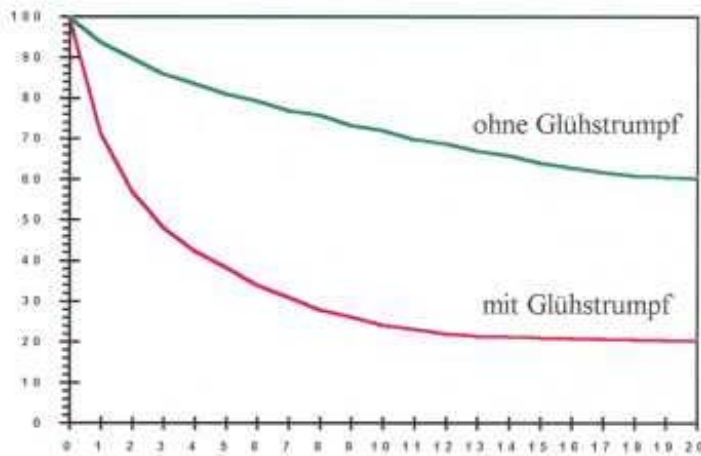


Abbildung 6.2 Entladekurve mit und ohne Glühstrumpf



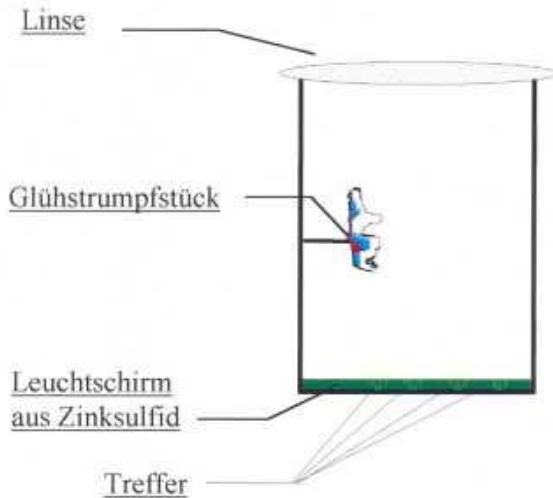
6.2 Das Spinthariskop

Das von uns gebaute Spinthariskop besteht aus einer Filmdose, auf deren Boden wir etwas Zinksulfidpulver geklebt haben und einer Linse. Über die Filmdose haben wir eine Linse gesetzt, die die von uns erwarteten Leuchtpunkte vergrößern sollte.

Das Zinksulfid wandelt die auftreffende Strahlung in sichtbares Licht um. Da das Zinksulfid die Lichtenergie eine Weile speichert, muss es sich vor dem Versuch einige Stunden erholen. Um die Augen empfindlich genug zu machen, sollte man sie vor dem Versuch ca. 10 Minuten an die Dunkelheit gewöhnen.

Wenn man nun als Strahler einen Glühstrumpf in die Dose steckt und (in einem dunklen Raum) durch die Linse guckt, kann man auf dem Zinksulfidschirm kleine Leuchtpunktchen erkennen, die die Treffer der radioaktiven Teilchen markieren.

Abbildung 6.3 Aufbau unseres Spintariskops

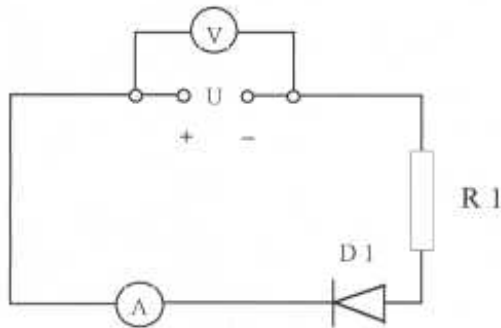


6.3 Halbleiterdetektoren

Das Ziel unserer Versuche mit Halbleitern war, radioaktive Strahlung mittels Spannungsänderungen nachzuweisen. Da wir jedoch noch wenig Erfahrung mit Halbleitern hatten, nahmen wir Kennlinien von Dioden mit Hilfe eines einfachen Stromkreises auf. Wir erfuhren, dass die Dioden eine Sperrrichtung und eine Durchlassrichtung besaßen.

In unseren Versuchen wollten wir sie ausschließlich in Sperrrichtung schalten. Die Dioden besitzen so einen sehr hohen Widerstand. Wir stellten uns vor, dass die Dioden bei Bestrahlung durch radioaktive Präparate ähnlich reagieren würden wie Fotodioden bei Bestrahlung durch Licht. Das heißt, dass ihr Widerstand in Sperrrichtung abnehmen würde, sobald γ -Strahlung auf die Diode fiel. Diese Widerstandsänderung wollten wir mit Hilfe eines Oszilloskops sichtbar machen. Zuerst wollten wir jedoch ein paar Versuche mit Fotodioden machen, um herauszufinden, von welcher Größenordnung der Strom ist, der fließt, wenn man die in Sperrrichtung betriebene Diode mit einer Lampe bestrahlen würde. Wir bauten dazu einen Stromkreis auf, der aus einem Spannungsmessgerät V , einem Strommessgerät A , einer Silizium-Fotodiode und einem Schutzwiderstand $R=1\text{ k}\Omega$ bestand.

Abbildung 6.4 Versuche mit einer Fotodiode bei Bestrahlung mit Licht



Legende:

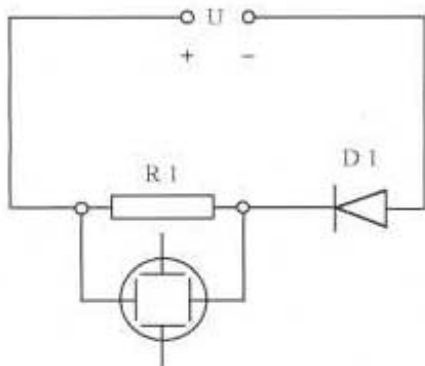
U : 10 V

R 1 : 4,7 kΩ

D 1 : BPW 34

Bei verdunkelter Fotodiode konnten wir bei einer Spannung von $U = 10\text{ V}$ keinen Strom messen. Als wir die Diode jedoch mit einer Leuchtstoffröhre anstrahlten, konnten wir einen Strom von $0,1\text{ mA}$ messen. Jetzt kam uns die Idee, diesen Unterschied einmal auf einem Oszilloskop sichtbar zu machen. Da ein Oszilloskop jedoch nur Spannungen messen kann, planten wir einen Versuch, bei dem wir uns das Prinzip von Spannungsteilern zu nütze machten. Wir bauten einen Stromkreis auf, der sich wiederum aus einem $4,7\text{ k}\Omega$ Widerstand, der oben genannten Fotodiode und dem Oszilloskop zusammensetzte. Da wir wussten, dass sich der Widerstand der Fotodiode bei Helligkeit vermindern würde, müsste eine größere Spannung am Widerstand anfallen, die wir dann am Oszilloskop sehen müssten. Tatsächlich konnte man auf diesem deutlich eine Spannung erkennen.

Abbildung 6.5 Darstellung von Spannungsunterschieden mit einem Oszilloskop



Legende:

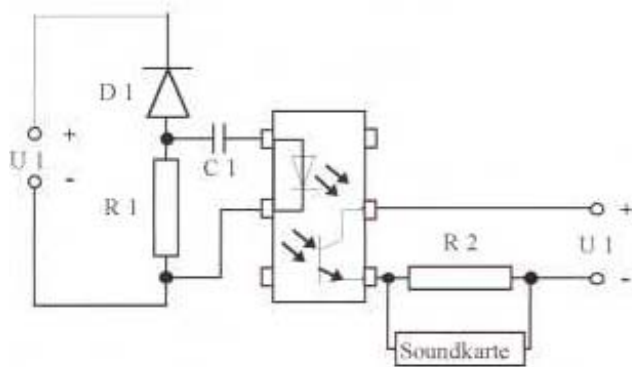
U : 10 V

R 1 : 4,7 kΩ

D 1 : BPW 34

Unser nächster Schritt war, den selben Versuch mit einem radioaktiven Präparat zu machen. Wir baten unseren Lehrer, die Diode mit dem Radiumpräparat der Schule zu bestrahlen. Wir konnten ein Ansteigen der Spannung feststellen, obwohl es noch nicht sehr deutlich war. Unser nächster Gedanke war, dieses Signal mit Hilfe einer Soundkarte aufzuzeichnen. Sicherheitshalber arbeiteten wir mit einem Optokoppler, da dieser eine galvanische Trennung besitzt. Wir bauten dazu folgenden Stromkreis auf:

Abbildung 6.6 Darstellung von Spannungsunterschieden mit der Soundkarte



Legende:

U 1: 15 V ; U 2: 5 V
R 1: 4,7 k Ω ; R 2: 1 k Ω
D 1: BPW 34 ;
C 1: 1 μ F

Die ersten Ergebnisse haben uns jedoch noch nicht überzeugt. Wir hoffen, bis zum Wettbewerb bessere Ergebnisse zu erreichen.

6.4 Aufzeichnung und Bearbeitung von Spannungsspitzen mittels einer Soundkarte

Sobald es uns gelingt, die Signale hinter dem Optokoppler mit der Soundkarte aufzuzeichnen, werden wir sie nach Größe sortieren und automatisch zählen. Das Programm dazu haben wir schon geschrieben.

Abbildung 6.7 Programm zum Zählen und Sortieren von Spannungsspitzen

```
PROGRAM WaveSort_1;
USES Crt, Dos;

CONST
  Max = 20000;
  SBA = $220;

TYPE
  Feldtyp = Array[0..255] of Byte;

VAR
  Feld1      : Feldtyp;
  Datei1    : File of Feldtyp;
  n         : Integer;
  Wert      : Byte;

FUNCTION DSP_Lese(VAR Wert : Byte) : Word;
CONST
  zk : Word = 65535;
BEGIN
  While (not ((Port[SBA+$0E] and $80) <> 0) and (zk <> 0)) do
    Dec(zk);
  If zk > 0 then Wert := Port[SBA+$0A];
  DSP_Lese := zk;
END;

FUNCTION DSP_Schreibe(Kommando : Byte) : Word;
CONST
  zk : Word = 65535;
BEGIN
  While ((Port[SBA+$0C] and $80) <> 0) and (zk <> 0) do
    Dec(zk);
  If zk > 0 then Port[SBA+$0C] := Kommando;
  DSP_Schreibe := zk;
END;

PROCEDURE DSP_Eingabe(VAR Frq : Byte);
VAR
  Wert : Word;
BEGIN
  Wert := DSP_Schreibe($20);

  Wert := DSP_Lese(Frq);
END;

PROCEDURE DSP_Ausgabe(Frq : Byte);
VAR
  Wert : Word;
BEGIN
  Wert := DSP_Schreibe($10);
  Wert := DSP_Schreibe(Frq);
END;

PROCEDURE LP(EINAUS : Boolean);
VAR
  Wert : Word;
BEGIN
  If EINAUS = True then
    Wert := DSP_Schreibe($D1)
  else
    Wert := DSP_Schreibe($D3);
END;

FUNCTION DSP_Reset : Word;
VAR
  Wert : Byte;
  Warte : Byte;
BEGIN
  Port[SBA+$06] := 1;
  Warte := Port[SBA+$06];
  Warte := Port[SBA+$06];
  Warte := Port[SBA+$06];
  Port[SBA+$06] := 0;
  Warte := Port[SBA+$06];
  Warte := Port[SBA+$06];
  Warte := Port[SBA+$06];
  Warte := DSP_Lese(Wert);
  If Wert = $AA then DSP_Reset := 0 else DSP_Reset := 1;
END;

PROCEDURE Lesen(Var Feld : Feldtyp);
VAR i : Integer;
BEGIN
```

```

For i := 0 To Max Do Begin
  DSP_Eingabe(Wert);
  Inc(Feld[Wert]);
End;
END;

```

```

BEGIN {Hauptprogramm}
  ClrScr;
  ReadLn;

```

```

DSP_Reset;
LP(False);
Lesen(Feld1);
For n := 0 To 255 Do WriteLn('Häufigkeit des Portwertes
>'n,'< : 'Feld1[n]);
  WriteLn('Fertig !');
  ReadLn;
END. {Hauptprogramm}

```

6.5 Die CCD- Kamera

Durch den Versuch mit dem Halbleiterdetektor wissen wir, dass einige Halbleiter, wenn man ihnen Energie in Form von Licht oder radioaktiver Strahlung zufügt, in Sperrrichtung leitender werden oder Energie in Form von Elektronen abgeben. Da CCD- Kameras elektrische Signale abgeben, wenn Licht, also Photonen auf den Chip treffen und γ -Teilchen nichts anderes sind als besonders energiereiche Photonen, wollten wir versuchen sie mittels einer CCD-Kamera sichtbar zu machen.

Wir hofften, mittels der CCD- Kamera auch α - und β - Strahlung sichtbar machen zu können. Im Idealfall sollte auf dem Monitor eine Art Kreis entstehen, in dessen Innerem die Treffer der Strahlung als kleine Leuchtpunkte erscheinen sollten. In diesem Fall wollten wir auch noch die Ablenkung der α -, β - und γ - Strahlung durch ein Magnetfeld nachweisen. Zunächst mussten wir das Objektiv der Kamera abschrauben, damit die Teilchen nicht im Glas des Objektivs stecken blieben, sondern auf den CCD-Chip treffen konnten. Um zu verhindern, dass normales Licht auf den CCD-Chip fällt, haben wir den Glühstrumpf in eine lichtundurchlässige Filmdose gegeben und diese direkt auf die Kamera gesteckt. Damit kein radioaktiver Staub auf den CCD-Chip treffen konnte, stellten wir die Kamera senkrecht mit dem Objektiv nach unten auf. Um die Treffer aufzeichnen zu können, haben wir auch einen Videorecorder an die Kamera angeschlossen.

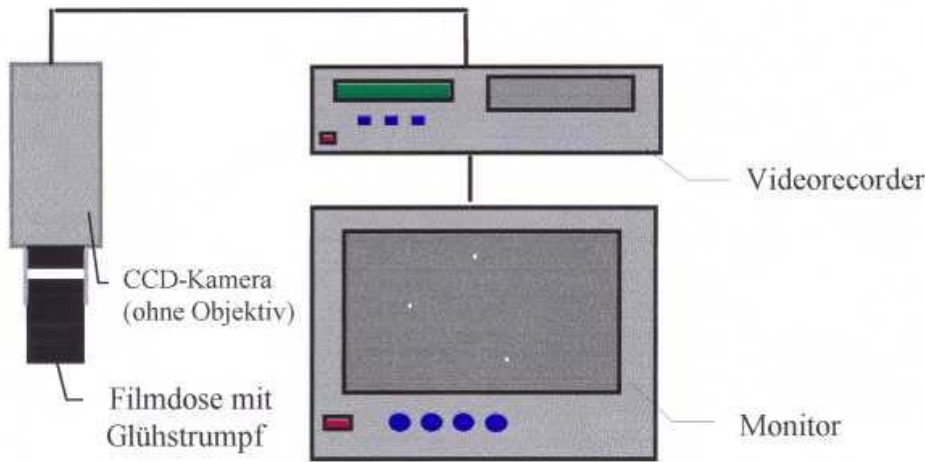
Mit einiger Anstrengung konnte man auf dem Monitor sehr kleine undeutliche Pünktchen erkennen. Da leider nicht klar war, ob die Pünktchen real oder nur Einbildung waren, stellte uns dieses Ergebnis natürlich nicht zufrieden. Aus diesem Grunde baten wir unseren Lehrer, uns ein stärkeres Präparat zur Verfügung zu stellen.

Bei diesem Versuch hielt Herr Stein für uns ein Radiumpräparat direkt in die Öffnung der Kamera. Nun waren auf dem Monitor deutlich sichtbare größere und hellere Punkte zu sehen. Danach hatten wir die Idee, diese Pünktchen mit einem Videorecorder aufzuzeichnen. Als wir uns das Videoband nach ein paar Minuten Aufzeichnung ansahen, konnten wir die Pünktchen jedoch nicht mehr sehen.

Wir dachten uns, dass das Videoband nicht empfindlich genug sei, um diese ja nur kurz auftretenden und nicht sehr hellen Pünktchen, die durch das Auftreffen der radioaktiven Strahlung auf den CCD-Chip hervorgerufen werden, aufzuzeichnen. Da zudem auf dem Bildschirm immer noch ein Teil Resthelligkeit vorhanden war, kam uns nach längerem Überlegen die Idee, dass die Kamera auch infrarot-, also wärmeempfindlich sein könnte, und dass diese Strahlung bei Zimmertemperatur eine Resthelligkeit verursachen könnte.

Also machten wir erneut einen Versuch, bei dem wir aber die Kamera (ohne Monitor) in einen Eisschrank (bei ca. -20°C) stellten. Damit sich auf dem Chip nicht zu viel Feuchtigkeit niederschlagen konnte, zogen wir eine Tüte über die Kamera. Es war jedoch keine sichtbare Verbesserung erkennbar.

Abbildung 6.8 Versuchsaufbau zum Nachweis von radioaktiver Strahlung mittels einer CCD- Kamera

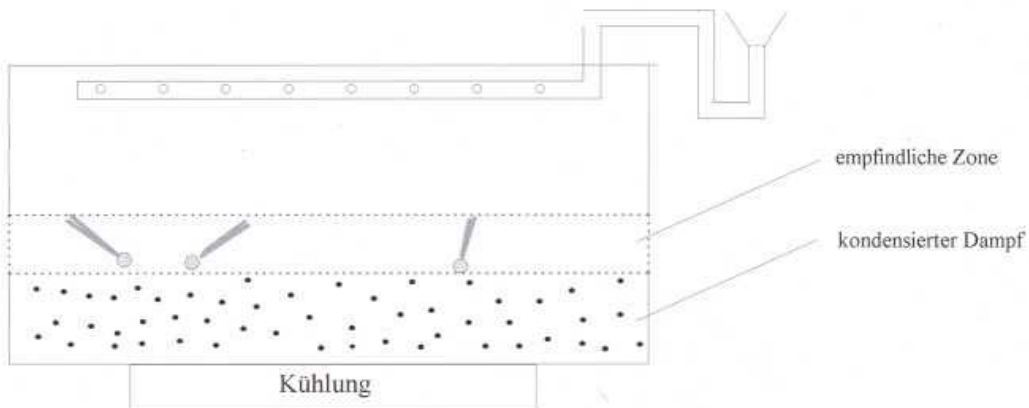


6.6 Die Nebelkammer

Nebelkammern beruhen auf dem Prinzip, dass übersättigter Dampf an Ionen, die durch die radioaktive Strahlung erzeugt werden, zu sichtbaren Tröpfchen kondensieren. Dadurch kann man den Weg der α - und β -Strahlung als Kondensstreifen sichtbar machen.

Wir bauten zuerst eine solche Nebelkammer aus einem Aquarium, einer Plexiglasscheibe und Kupferrohren, die uns dazu dienten den Alkoholdampf in das Aquarium einzuleiten.

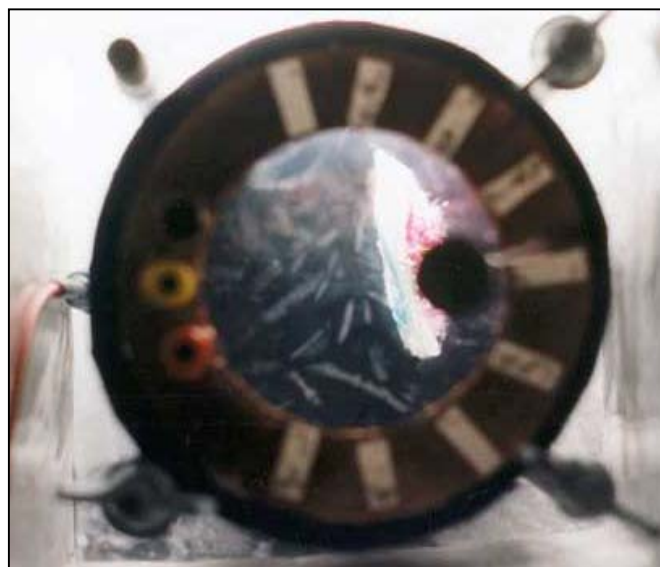
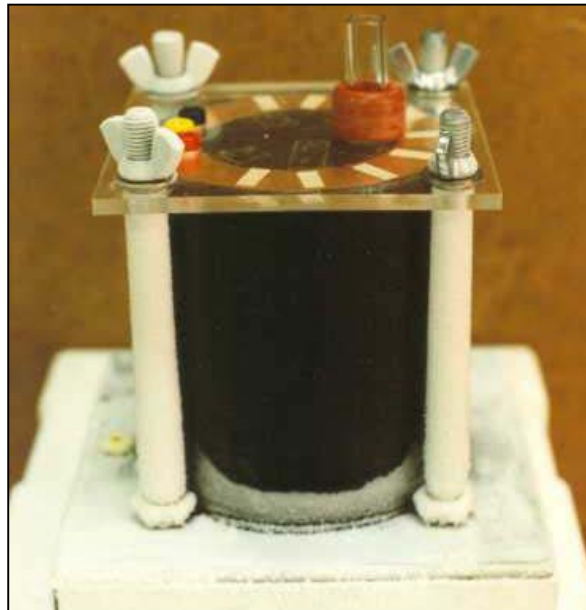
Abbildung 6.8 Aufbau der Nebelkammer



Um eine relativ niedrige Temperatur zu erreichen, nahmen wir als Kühlmittel Trockeneis. Jedoch konnten wir keinen Nebel erzeugen, und somit auch keine empfindliche Zone, in der wir eventuell mittels Kondensstreifen radioaktive Strahlung nachweisen konnten.

Dies gelang uns erst mit unseren zweiten Nebelkammer aus Plexiglas, die wir zwischen dem Regionalwettbewerb und dem Landeswettbewerb gebaut haben. Sie wurde ebenfalls mit Trockeneis betrieben und mit einer Heizung und einem Ionenabsaugring versehen.

Abbildung 6.9 Unsere neue Nebelkammer (Vorderansicht und Draufsicht)



PS: Christian Plötzing hat diese Nebelkammer später mit einer elektrischen Peltierkühlung versehen. Eine ausführliche Beschreibung finden Sie im Artikel „Elektrische Kühlung der Nebelkammer“.

7. Literaturliste

- | | | | |
|----|----------------------------|------|--|
| 1. | | 1989 | Brockhaus Naturwissenschaft u. Technik
F.A. Brockhaus, Mannheim |
| 2. | BOYSEN, G. u.a. | 1991 | Physik für Gymnasien 2, Ausgabe A
Cornelsen Verlag, Berlin |
| 3. | STIEGLER, Leonhard (Hrsg.) | 1980 | Physik Natur und Technik
CVK Verlag, Berlin |
| 4. | WITTMANN, Josef | 1994 | Trickkiste 1
Bayerischer Schulbuch-Verlag, München |