

Die Bestimmung der spezifischen Ladung der Elektronen (e/m) vom “3/2 Gesetz” der Vakuumdiode

Ziel des Experiments

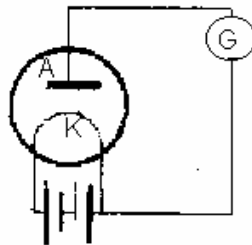
Man bestimmt die spezifische Ladung (e/m), also den Quotienten zwischen der Ladung und der Masse der Elektronen, aus der Abhängigkeit der Anodekreisstromstärke von der Anodenspannung bei der Zweielektrodenröhre.

Die Theorie des Experiments

Im Hochvakuum ist die Zahl der Molekeln so klein dass kaum noch Zusammenstöße erfolgen. So beträgt die Molekelzahl, bei dem ohne große Schwierigkeiten erreichbaren Druck von 10^{-6} Torr nur noch $3,5 \cdot 10^{10}$ in 1 cm^3 ; das stellt zwar immer noch eine beträchtlich große Zahl dar, ist aber doch nur ein sehr kleiner Bruchteil, der bei normalem Druck in 1 cm^3 enthaltenen $2,7 \cdot 10^{19}$ Molekeln. Wesentlich ist hier, daß die freie Weglänge der Molekeln bei einem Druck von 10^{-6} Torr auf rund 100 m angestiegen ist, so dass Zusammenstöße sehr selten stattfinden. Um Ladungsträger in ein solches Vakuum zu bringen, muss man daher entweder den lichtelektrischen Effekt oder die Glühelektronenemission benützen. Wir behandeln hier nur die zweite Möglichkeit.

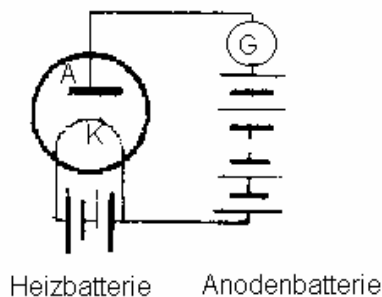
Eine gut evakuierte Röhre enthält zwei Elektroden A und K , von denen die eine aus einem Platin- oder Wolframdraht (mit geringen Mengen Thorium legiert oder mit einer Schicht von Alkali- oder Erdalkalioxyden überzogen) besteht, der durch eine Heizbatterie elektrisch geheizt werden kann; Dies geschieht, indem der Strom direkt durch den zu heizenden Draht geleitet wird (direkte Heizung) oder indem dieser durch einen elektrischen Strom zum Glühen gebracht wird, und die isolierte Kathode heizt (indirekte Heizung). Der die Heizung bewirkende Stromkreis wird als Heizstromkreis, die Röhre selbst als Zweielektrodenröhre oder Diode bezeichnet. Die aus dem glühenden Draht austretenden Elektronen umgeben diesen wie eine Wolke und bilden eine negative Raumladung. Verbindet man nun die Elektroden A und K über ein empfindliches Galvanometer miteinander, so zeigt sich nach Einschalten des

Heizstroms ein kleiner Ausschlag, der dadurch zustande kommt, dass einige der bei *K* ausgeschiedenen Elektronen selbständig den Weg nach *A* finden.



Glühelektronenemission im Hochvakuum einer Diode

Zwischen den Elektroden *A* und *K* des Rohres wird außer dem Galvanometer eine Spannungsquelle geschaltet, wobei *A* mit dem positiven und *K* mit dem negativen Pol verbunden werden.



Schaltbild einer Diode mit Heiz- u. Anodenstromkreis.

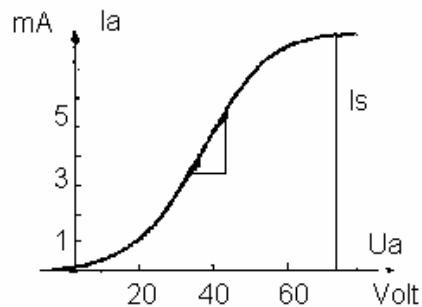
Das Galvanometer zeigt einen Strom an, dessen Stärke mit zunehmender Spannung zwischen *A* und *K* wächst. Wir bezeichnen diesen Strom als Anodenstrom, den Stromkreis als Anodenstromkreis und die Spannungsquelle als Anodenbatterie. Unter dem Einfluss der Anodenspannung werden die an der Kathode freigemachten Elektronen zur Anode in Bewegung gesetzt. Auf diese Weise kommt der Stromfluss zustande.

Kehre bei dem vorigen Versuch die Pole der Anodenbatterie um, so dass die geheizte Elektrode mit dem positiven Pol der Batterie verbunden ist!

Das Galvanometer zeigt keinen Ausschlag. Dies bestätigt erneut, dass es sich hier um negative Elektrizitätsträger handelt, die nur durch das Rohr bewegt werden können, wenn die geheizte Elektrode an dem negativen Pol der Batterie liegt.

Wir wiederholen den Versuch und messen bei unveränderter Heizung die Anodenstromstärke I_a in Abhängigkeit von der Anodenspannung U_a , indem wir diese stufenweise von 0 bis 80 V vergrößern. Die Ergebnisse werden in einer Kurve aufgetragen.

Man bezeichnet diese Kurve als die $I_a - U_a$ - Kennlinie der Zweielektrodenröhre (Diode).



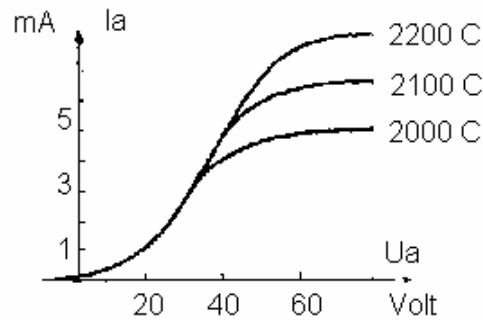
Die $I_a - U_a$ - Kennlinie zeigt die Abhängigkeit der Anodekreisstromstärke von der Anodenspannung bei der Zweielektrodenröhre (Diode).

Der vorige Versuch wird mit verschiedenen Heizstrom-Stärken wiederholt. Die Messreihen werden wieder graphisch dargestellt.

Bei jeder Heizstromstärke steigt die Anodenstromstärke zunächst mit wachsender Anodenspannung an. In einem gewissen Bereich ist dieser Anstieg sogar linear. Steigt die Anodenspannung über einen bestimmten Betrag hinaus, so nimmt die Stromstärke nicht mehr proportional zur Spannung, sondern langsamer zu, und von einer Stelle ab erfolgt bei Erhöhung der Spannung keine Steigerung der Stromstärke mehr. Es fließt dann ein konstanter Anodenstrom, den man als Sättigungsstrom I_s , bezeichnet. In diesem Falle werden alle aus der Kathode austretenden Elektronen zur Anode transportiert, die aber, wegen der hohen positiven Spannung, einen größeren Bedarf an Elektronen hat als durch die Emission gedeckt werden kann. Die Anodenstromstärke kann nur gesteigert werden, wenn durch eine stärkere Heizung mehr Elektronen freigemacht werden.

Für die praktischen Arbeiten mit Röhren ist zu beachten, dass man eine Röhre nicht bis zum Sättigungsstrom belasten soll, weil sie dadurch geschädigt wird.

Bezeichnet man die Änderung der Anodenspannung mit ΔU_a und die zugehörige Änderung der Anodenstromstärke mit ΔI_a , so ergibt sich für den geradlinigen Teil der Kennlinie: $\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = const.$



$I_a - U_a -$ Kennlinien einer Zweielektrodenröhre (Diode) für verschiedene Heizstromstärken bzw. Glühtemperaturen des Heizfadens

An welches bekannte Gesetz erinnert diese Gleichung?

Man bezeichnet den Ausdruck $\frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = R_i$ als den „inneren Widerstand“ der Röhre. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, daß dieser innere Widerstand um so kleiner ist, je steiler die $I_a - U_a -$ Kennlinien verlaufen.

Eine genaue Berechnung, von Langmuir durchgeführt, ergibt die folgende Gleichung:

$$I_a = 3,49 \cdot 10^{-11} \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{l}{r\beta^2} \cdot U_a^{3/2} \quad (1)$$

oder

$$I_a = K \cdot U_a^{3/2} \quad (2)$$

mit

$$K = 3,49 \cdot 10^{-11} \sqrt{\frac{e}{m}} \cdot \frac{l}{r\beta^2} \quad (3)$$

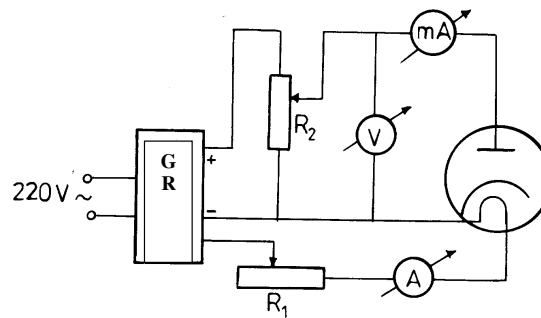
wo l – die Kathodenlänge, r - der Anodenradius und β ein Koeffizient ist. Wenn man K experimentell messen kann ergibt sich die spezifischen Ladung als:

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{10^{11}}{3,49} \cdot \frac{r\beta^2}{l} \cdot K \right)^2 \quad (4)$$

Die experimentelle Vorrichtung

Das Schema der experimentellen Vorrichtung besteht aus:

1. Ein Gleichrichter (GR) (zu dem 220 Netz), der die Anodenspannung liefert.
2. Eine Vakuumdiode mit einem Anodenradius von 0,55 cm, einer Kathodenlänge von 0,95 cm und mit dem Koeffizient $\beta=1,1$.
3. Ein Rheostat (R_1) und ein Strommesser (A) für die Einstellung bzw. die Messung der Stromstärke durch den Glühfaden der Diode.
4. Ein Potentiometer R_2 und ein Spannungsmesser (V) für die Einstellung bzw. die Messung der Anodenspannung U_a .
5. Ein Strommesser (mA) der für die Messung der Anodenstromstärke I_a benutzt wird.



Die experimentelle Vorrichtung.

Die Ausführung des Experiments

1. Man koppelt den Gleichrichter an der Steckdose von 220 V.
2. Für einen bestimmten Wert des Glühfadenheizstroms (zum Beispiel: $I_{gf1}=70$ mA) misst man den Anodenstrom, als Funktion von der Anodenspannung. Man variiert die Anodenspannung von 10 in 10V in dem Intervall [0,100V].

3. Man wiederholt die Messungen auch für andere Werte des Stromes in den Glühfaden ($I_{gf2}=65\text{mA}$ und $I_{gf3}=60\text{mA}$).

4. Man schreibt die experimentellen Ergebnisse in einer Tabelle wie folgt:

| U_a (V) | $U_a^{3/2}$ (V ^{3/2}) | I_a (mA) | | |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|--|--|
| | | $I_{gf_1} = 70\text{mA}$ | | |
| $I_{gf_2} = 65\text{mA}$ | $I_{gf_3} = 60\text{mA}$ | | | |
| 10 | | | | |
| 20 | | | | |
| 30 | | | | |

Die Bearbeitung der Experimentaldaten

1. Man skizziert auf Millimeterpapier die Strom – Spannung Eigenschaften der Diode, nämlich die Funktionen $I_a = f(V_a)$ für jeden Wert des Heizstromes.

2. Man skizziert auf Millimeterpapier die Abhängigkeit der Anodenstromstärke $I_a = f(V_a^{3/2})$ für jeden Glühfadenheizstromswert. Man erhält drei Geraden und man berechnet ihre Gefälle, die eigentlich die K_1, K_2, K_3 Faktoren sind.

3. Mit jedem Wert K_i ($i = 1, 2, \dots$) berechnet man die spezifische Ladung (e/m)_{*i*} des Elektrons, mit der Verwendung der Formel (4). Danach berechnet man den Mittelwert.

4. Man vergleicht den experimentellen Wert der spezifischen Ladung des Elektrons mit den theoretischen ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C und $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg) und man analysiert den Irrtumsursprung.

Fragen

1. Wie erklärt man die Erscheinung der Raumladung und welche ist ihre Rolle in der Funktionierung der Vakuumdiode?

2. Welche sind die beschränkten Hypothesen, die in der Schlussfolgerung des „3/2 Gesetzes“ benützt werden?

3. Geben sie auch andere Methoden für die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons an.