

## P2-55 FRANCK-HERTZ-VERSUCH

### Auswertung

Gruppe 19 - Saskia Meißner, Arnold Seiler

#### INHALTSVERZEICHNIS

<b>Auswertung</b>	1
1. Hg-Franck-Hertz-Röhre	1
1.1. Diskussion der Schaltung	1
1.2. Energie der niedrigsten beobachtbaren Anregung von Hg	1
1.3. Anodenstrom-Kurve	2
1.4. Ionisierungsarbeit von Hg	2
1.5. Emissionslinien	3
2. Energie der nächsthöheren Anregung von Hg	4
3. Neon-Franck-Hertz-Röhre	6

#### 1. HG-FRANCK-HERTZ-RÖHRE

1.1. **Diskussion der Schaltung.** Siehe Vorbereitung bzw. bereits besprochen bei der Durchführung.

1.2. **Energie der niedrigsten beobachtbaren Anregung von Hg.** Wir nehmen die Franck-Hertz-Kurven bei verschiedenen Temperaturen auf. Um eine optimale Kurve mit dem X/Y-Schreiber aufzunehmen, betrachten wir den I(U)-Verlauf vom Auffängerstrom und der Gitterspannungen zunächst mit dem Oszilloskop. Die nötige Sägezahnspannung  $U_2$  für das Oszi. ändert sich jedoch sehr schnell, sodass die angeregten Gasatome in der Röhre vor dem nächsten Stoß mit den Elektronen nicht wieder im Grundzustand sind. Deshalb ist das Bild am Oszillosgraphen größer, mit weniger stark ausgeprägten Extrema, als die Aufnahme mit dem Schreiber. Wir regeln  $U_1$  am Gitter zur Intensitätsregelung und die Gegenspannung  $U_3$  bis wir am Oszilloskop eine optimale Kurve erkennen.

Die niedrigste beobachtbare Anregung von Hg ermitteln wir aus den Franck-Hertz-Kurven bei unterschiedlichen Röhrentemperaturen (Anhang zu 1.2). Hierbei muss man aber die Kontaktspannung der Apparatur beachten, wegen der unterschiedlichen Anoden- und Kathodenmaterialien. Die Kontaktspannung beinhaltet aber auch den Anteil der Thermospannung, weil wir diesen mit unserem Messaufbau nicht separat betrachten können. Das heißt die Kontaktspannung ist temperaturabhängig.

$$U_{\text{kontakt}} = \overline{\Delta U} - (U_{1.\text{Max}})$$

$$E_1 = \overline{\Delta U} \cdot e \text{ oder } E_1 = (U_{1.\text{Max}} + U_{\text{kontakt}}) \cdot e$$

$U_{1.\text{Max}}$ : Spannung bei dem ersten erkennbaren Maximum mit  $U_{1.\text{Max}} = U_1 + U_2$ .

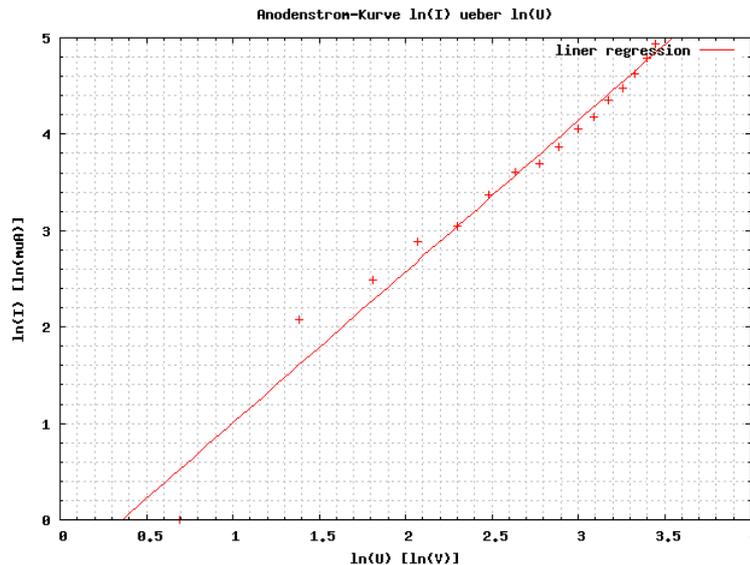
$\overline{\Delta U}$ : Mittel der Spannungsunterschiede zwischen den höheren Maxima

Aus unseren Kurven erhalten wir folgende Werte :

T [°C]	$U_{\text{kontakt}}$ [V]	$E_1$ [eV]
120	-1	5,4
140	-1,63	5,03
150	-1,69	5,06
160	-1,84	4,96
170	-1,94	4,86

Die niedrigste beobachtbare Anregung von Hg liegt im Mittel bei  $E_1 = (4,98 \pm 0,09)eV$  und stimmt erstaunlich gut mit dem Literaturwert von  $E_1 = 4.89eV$  überein. Dabei haben wir aber den Energiewert bei 120°C nicht mit einbezogen, da dort offensichtlich schon höhere Energieniveaus auftreten.

**1.3. Anodenstrom-Kurve.** Wir nehmen die Anodenstrom-Kurve  $I(U_{G_2})$  der Beschleuniger-Anode auf. Um den Zusammenhang für das Raumladungsgesetz  $I = a \cdot U^{\frac{3}{2}}$  nachzuweisen wählen wir eine Auftragung von  $\ln(I)$  über  $\ln(U)$ . Eine Ausgleichsgerade sollte die Steigung  $\frac{3}{2}$  ergeben:  $\ln(I) = \frac{3}{2} \cdot \ln(U) + \ln(a)$ .

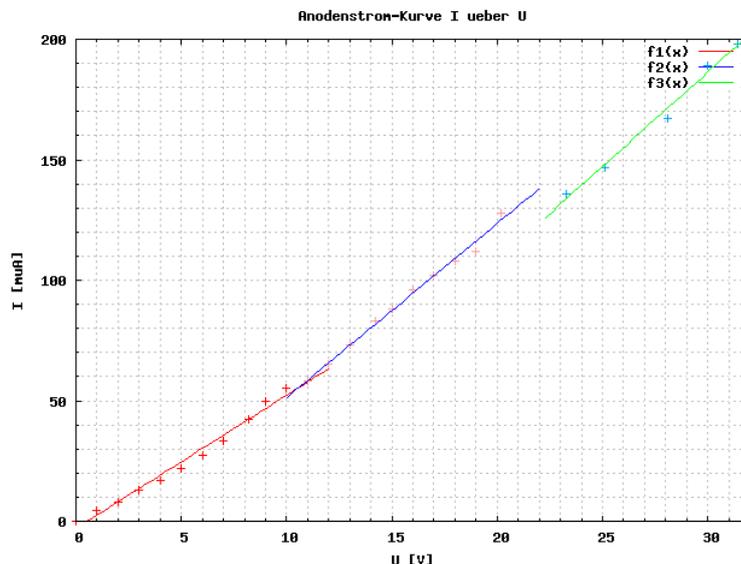


Regressionsgerade:  $\ln(I) = 1.57 \cdot \ln(U) - 0.56$  [ $\ln(\mu A)$ ]  
mit der Steigung von etwa  $\frac{3}{2}$ .

Die ungleichmäßige Verteilung der Messwerte kommt von der logarithmischen Auftragung, da die Messwerte linear verteilt waren. Es ist bereits hier erkennbar, dass das Raumladungsgesetz nicht für beliebige Anodenspannungen gilt.

#### 1.4. Ionisierungsarbeit von Hg.

**1.4.1. Anodenstrom.** Wir messen den Anodenstrom  $I_A$  punktweise bei  $T = 140$  °C in Abhängigkeit von der Anodenspannung  $U_A$ . In der Auftragung von  $I_A$  über  $U_A$  sollten an den Stellen der Ionisierung Steigungsänderungen der Geraden auftreten. Durch die Ionisierung der Hg-Atome wandern die  $Hg^+$ -Ionen zur Kathode, während die neuen freien Elektronen zum Anodenstrom beitragen. Mit jeder weiteren Ionisierung ändert sich die Steigung des Anodenstroms über der Anodenspannung erneut.



Anodenstrom  $I_A$  über Anodenspannung  $U_A$

Die Wertebereiche wurden aufgrund von Sprüngen der differentiellen Steigung ( $m = \frac{I_n - I_{n-1}}{U_n - U_{n-1}}$ ) gewählt.

Ausgleichsgeraden der Form  $I_A(U_A) = m \cdot U_A + c$ :

Bereich $U_A$ [V]	Steigung $m$ [ $\frac{\mu A}{V}$ ]	y-Achsenabschnitt $c$ [ $\mu A$ ]
[0,10]	$5.52295 \pm 0.2454$	$-2.9788 \pm 1.458$
[11,21]	$7.22482 \pm 0.2245$	$-20.9737 \pm 3.549$
[22,32]	$7.83261 \pm 0.4928$	$-48.6234 \pm 13.67$

Die punktweise Messung lässt auf eine Ionisierungsenergie von ca. 10eV schließen. Dies ist nah am Literaturwert von ca. 10,44 eV für die einfache Ionisierung von Hg.

1.4.2. *Auffängerstrom.* Zunächst sollte der Auffängerstrom mit steigendem  $U_A$  ansteigen, da mehr freie Elektronen unterwegs sind. Sobald die Elektronen ausreichen beschleunigt sind, reicht ihre Energie aus zur Ionisation der Hg-Atome zu  $Hg^+$ -Ionen. Das heißt der Auffängerstrom sinkt schlagartig, weil die  $Hg^+$ -Ionen zum Auffänger gelangen und dort durch ihre Neutralisation einen Gegenstrom verursachen. Danach steigt der Strom weiter an aufgrund von immer mehr Ladungsträgern. Dieser Prozess kann in höheren Energieniveaus in Form eines weiteren Einbruchs des Auffängerstroms erneut auftreten.

Die Aufnahme mit dem X/Y-Schreiber (Anhang zu 1.4) ist alles andere als aussagekräftig, denn man erkennt keine Einbrüche des Auffängerstroms. Außerdem steigt zwischen 3 und 5V der Auffängerstrom schlagartig an. Dies würde einer Ionisierungsenergie von ca. 5eV entsprechen und widerspricht dem Ergebnis aus der punktweisen Messung.

1.5. **Emissionslinien.** Diesen Versuchsteil beobachten wir bei der Nachbargruppe, da die Franck-Hertz-Röhre besser aufgebaut ist. Sie hat planparallele Anoden und Kathoden. Deshalb ist die Glühemission wesentlich stärker ausgeprägt und besser zu sehen, da die Elektroden nicht im Weg sind. Hier beobachten wir mit dem Taschenspektroskop ein Linienspektrum. Das Spektrum beinhaltet von links nach rechts die Spektrallinien orange bis rot, gelb, grün, türkis/hellblau und violett. Die sehr lichtschwache türkis/hellblaue Linie ist nur zu erkennen, wenn der Spalt des Spektroskops etwas weiter geöffnet ist. Die erste Linie ist eher ein kleiner kontinuierlicher Abschnitt von orange bis rot und kommt von der Glühemission des Metall-

Glühfadens. Somit sind die anderen vier Spektrallinien auf die Ionisation zurück zu führen.

Wir haben zum Vergleich ein kontinuierliches Spektrum, das Tageslicht, mit dem Spektrometer angeschaut. Das Spektrum der Leuchtstoffröhren im Versuchsraum ist wiederum ein Linienspektrum.

## 2. ENERGIE DER NÄCHSTHÖHEREN ANREGUNG VON HG

Wir nehmen bei  $T=125^\circ\text{C}$ ,  $U_{\text{Heizung}} = 4,1\text{V}$ ,  $U_1 = 0\text{V}$  und  $U_3 = 0,5\text{V}$  eine „optimale“ Franck-Hertz-Kurve auf. Die optimalen Betriebsbedingungen für eine größere Wahrscheinlichkeit von höher angeregten Zuständen ist auch abhängig von der Größe des Stoßraumes. Man verwendet deshalb das 1.Gitter als Beschleuniger-Anode und setzt beide Gitter auf das gleiche Potential.

Zu erst haben wir die Kontaktspannung für  $125^\circ\text{C}$  bestimmt. Wir nehmen an, dass  $U_{\text{kontakt}} \sim T$  ist. Mit Hilfe einer Regressionsgerade  $U_{\text{kontakt}} = -0,018 \cdot \frac{\text{V}}{\text{C}} \cdot T + 1,095\text{V}$  durch die bei 1.2 bestimmten Kontaktspannungen kann man den Wert für  $T=125^\circ\text{C}$  bestimmen:  $U_{\text{kontakt}} = -1,2\text{V}$

Wir verwenden jedoch andere Kontaktspannungen, da die Messwerte sonst nur auf sehr unwahrscheinliche Energien fallen. Durch die Erniedrigung der Heizspannung von  $U_{\text{Heiz}} = 6,2\text{V}$  auf  $4,1\text{V}$  haben die emittierten Elektronen weniger kinetische Energie. Wir erhalten dadurch eine Verschiebung der Kontaktspannung (negativer).

Wir orientieren uns am ersten sehr wahrscheinlichen Peak von  $4,89\text{eV}$  und setzen in unseren Messreihen den ersten Peak auf ca.  $4,9\text{eV}$ . Daraus ergibt sich eine Kontaktspannung  $U_{\text{Kontakt}} = -2,2\text{V}$  bei  $T=125^\circ\text{C}$  und  $U_{\text{Kontakt}} = -1,5\text{V}$  bei  $T=120^\circ\text{C}$ .

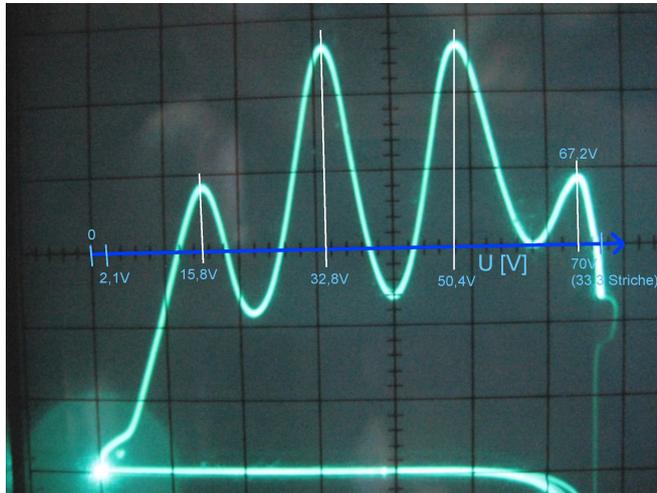
Vergleich von den theoretisch berechneten Energien mit den experimentell bestimmten Werten:

Übergänge	Energie [eV]	Wahrscheinlichkeit	experimentelle Werte [eV]
$a := 6^1S_0 \rightarrow 6^3P_0$	4,67	niedrig	
$b := 6^1S_0 \rightarrow 6^3P_1$	4,89	hoch	4,9
$c := 6^1S_0 \rightarrow 6^3P_2$	5,46	niedrig	
$d := 6^1S_0 \rightarrow 6^1P_1$	6,70	hoch	
$a + a$	9,34	sehr niedrig	
$a + b$	9,56	mittel – niedrig	
$b + b$	9,78	hoch	
$a + c$	10,13	sehr niedrig	
$b + c$	10,35	mittel – niedrig	
Ionisation	10,44	hoch	10,2 und 10,6
$c + c$	10,92	sehr niedrig	
$a + d$	11,37	mittel – niedrig	
$b + d$	11,59	hoch	11,2
$c + d$	12,16	mittel – niedrig	12,1
$d + d$	13,4	hoch	
$b + b + b$	14,67	hoch	15,8
$a + b + d$	16,26	mittel	16,1
$b + b + d$	16,48	hoch	16,8
$c + d + b$	17,05	mittel	16,9
$d + d + b$	18,29	hoch	
$c + d + d$	18,86	mittel - niedrig	18,9
$b + b + b + b$	19,56	hoch	19
$d + d + d$	20,1	mittel – hoch	
$b + b + b + d$	21,37	hoch	21,5
$b + b + d + d$	23,18	hoch	23,6 und 22,7
$b + b + b + b + b$	24,45	hoch	
$b + d + d + d$	24,99	hoch	
$b + b + b + b + d$	26,2	hoch	26
$d + d + d + d$	26,8	hoch	26,8

Hierzu verwenden wir die Franck-Hertz-Kurven bei  $T=125^\circ\text{C}$  (Anhang zu 2.) und bei  $T=120^\circ\text{C}$  (Anhang zu 1.2). Die Kurve aus 1.2 weist nämlich ebenfalls mehrere Nebenmaxima von höher angeregten Zuständen auf. Die Tabelle mit den Messwerten befindet sich ebenfalls im Anhang.

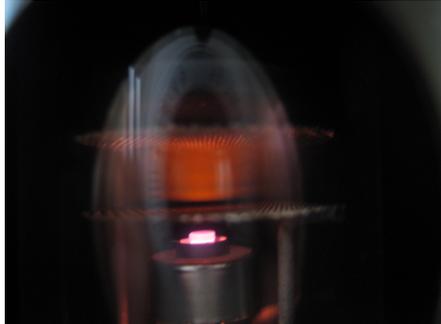
In 1.2 bestimmt man die erste Anregungsenergie unter der Annahme, dass die Stoßkombination  $b$ ,  $b+b$ ,  $b+b+b$  usw. ist. Warum die Kombination  $b+b$  hier nicht aufzutreten scheint, ist daher verwunderlich. Möglicherweise überlagern sich auch die  $2b$  Anregung und die Ionisation.

## 3. NEON-FRANCK-HERTZ-RÖHRE



*Franck-Hertz-Kurve der Neon-Röhre*

Wir betrachten die Maxima, weil man schwer sagen kann wo genau die Anregungsenergie in den absteigenden Teilen der Kurve tatsächlich liegt. Die mittlere Energie für die hauptsächliche Anregung beträgt  $E_{\text{mittel}} = 17,1\text{eV}$  und liegt nah am Bereich der Literaturwerte für die erste bis vierte Anregungsenergie:  $E_1 = 16,57\text{eV}$ ,  $E_2 = 16,62\text{eV}$ ,  $E_3 = 16,66\text{eV}$  und  $E_4 = 16,79\text{eV}$ .



*Leuchtschichten im Stoßraum der Neon-Franck-Hertz-Röhre*

Es sind hier 3 rote Leuchtschichten zu erkennen, das heißt die Elektronen werden stark genug beschleunigt um drei mal inelastisch zu stoßen. Das Leuchten entsteht durch die Emission von Licht, wenn die Neon-Gasatome wieder in ihren energetischen Grundzustand zurückkehren. Im Gegensatz zu der Hg-Franck-Hertz-Röhre emittieren die Neon-Gasatome im sichtbaren Bereich. Der Abstand zwischen den Leuchtschichten entspricht der mittleren freien Weglänge der freien Elektronen.