

Praktikumsprotokoll

Franck- Hertz- Versuch

André Schendel, Silas Kraus
Gruppe DO-20

21. Mai 2012

1 1.Anregung

1.1 Aufbau

Die Röhre wurde entsprechend der Anleitung in der Vorbereitungshilfe aufgebaut und aufgeheizt. Um grob die günstigsten Spannungswerte für das Raumladungsgitter (U_1) und das Gegenfeld (U_3) zu finden, wurde an die Beschleunigungsspannung U_2 ein Sägezahnsignal angelegt und der Kurvenverlauf am Computer mittels der Software Picoscope beobachtet.

Wie sich zeigte, ist dieses schnell oszillierende Signal nicht zur quantitativen Messung geeignet, da das System eine gewisse Zeit braucht, um in einen stationären Zustand zu gelangen: ionisierte Atome sind massereich und ordnen sich deshalb verhältnismäßig langsam. Auch der angeregte Zustand der Atome dauert einige Mikrosekunden an. Deshalb ist die Sägezahnspannung nur zur Grobeinstellung der Umgebungsparameter geeignet. Die eigentliche Messung wurde mit einer langsamen, linearen Rampe durchgeführt.

1.2 Messung der 1.Anregung

Bei den Temperaturen 166° , 159° , 151° , 140° , 120° [C] wurden mit einer linearen Einmalrampe Franck- Hertz- Kurven aufgenommen. Je nach Temperatur mussten die Spannung U_1 am Raumladungsgitter und die Gegen- spannung U_3 neu eingestellt werden, um einen deutlichen Kurvenverlauf zu erhalten. Je höher U_1 , desto mehr e^- werden von der Kathode abgelöst und desto ausgeprägter wird die Kurve. Wenn der Strom der am Auffänger ankommenden e^- zu groß wird, muss durch Erhöhung von U_3 gegengehalten werden, da das Messgerät nur einen begrenzten Strom aufnehmen kann.

Zur eigentlichen Beschleunigungsspannung U_2 kommen auch noch die Spannung am Raumladungsgitter U_1 sowie die Thermo- und Kontaktspannung hinzu.

Raumladung entsteht, wenn die Elektronen aus der Kathode austreten. Sie bilden zunächst eine negativ geladene Wolke um die Kathode herum, die das Austreten weiterer Elektronen erschwert. Das Hilfsgitter in Kathodennähe "saugt" diese Wolke ab und setzt somit die Raumladung herab. Die dazu benötigte Spannung U_1 addiert sich zu U_2 .

Die **Kontaktspannung** entsteht durch die verschiedenen Materialien von Kathode und Anode. Jedes Material hat eine spezifische Austrittsarbeit W , die benötigt wird, um Elektronen herauszulösen. Dieselbe Menge Energie wird wieder freigegeben, wenn die Elektronen wieder in das Material eintreten. Werden e^- aus einem Material A herausgelöst und treten dann in ein Material B mit $W_A > W_B$ ein, so behalten sie die überschüssige Energie in Form von Bewegung: Es entsteht eine Kontaktspannung zwischen den beiden Materialien.

Schließlich entsteht durch die Temperaturunterschiede zwischen Glühkathode und Anode auch eine **Thermo- spannung**, da Elektronen in einem heißen Material durch die Brownsche Molekularbewegung eine höhere Geschwindigkeit haben und leichter herausgelöst werden können.

Diese 3 Faktoren ergeben einen Offset des 1. Maximums. Deshalb wurden nach der Messung die Differenzen zwischen den einzelnen Maxima bestimmt und daraus der Mittelwert genommen. Dieser Wert kann nun vom 1. Maximum abgezogen werden und ergibt den Offset, der in unserem Fall negativ war.

Die Ergebnisse sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

Tabelle 1: Messwerte für die Anregungsenergien bei unterschiedlichen Temperaturen

M 1 – T=166°		M 2 - T=191°		M 3 – T=151°		M 4 – T=140°		M 5 T=120°	
$U_2^{Peak}[V]$	Differenz	$U_2^{Peak}[V]$	Differenz	$U_2^{Peak}[V]$	Differenz	$U_2^{Peak}[V]$	Differenz	$U_2^{Peak}[V]$	
1.588		1.565		2.226		2.241		4.536	
6.152	4.564	6.103	4.538	6.924	4.698	7.001	4.760	9.457	4.921
10.960	4.808	10.990	4.887	11.830	4.906	11.900	4.899	14.610	5.153
15.780	4.820	15.800	4.810	16.830	5.000	17.000	5.100	19.700	5.090
20.690	4.910	20.810	5.010	21.820	4.990	22.140	5.140		
25.720	5.030	25.880	5.070	26.800	4.980	27.240	5.100		
30.690	4.970	30.860	4.980						
Mittelwert	4.850	Mittelwert	4.883	Mittelwert	4.915	Mittelwert	4.998	Mittelwert	5.055
U_{TK}	-1.988	U_{TK}	-1.942	U_{TK}	-1.811	U_{TK}	-1.743	U_{TK}	-1.481

Der Mittelwert aus allen Differenzwerten ergab:

$$U_{1.Anregung} = 4.925V$$

Der Literaturwert für die 1. Anregung von Quecksilberatomen ist angegeben als 4.9eV, es ergibt sich also eine Abweichung von 0.025eV oder 0.51% zum Literaturwert. Damit kann die Messung als sehr genau beurteilt werden.

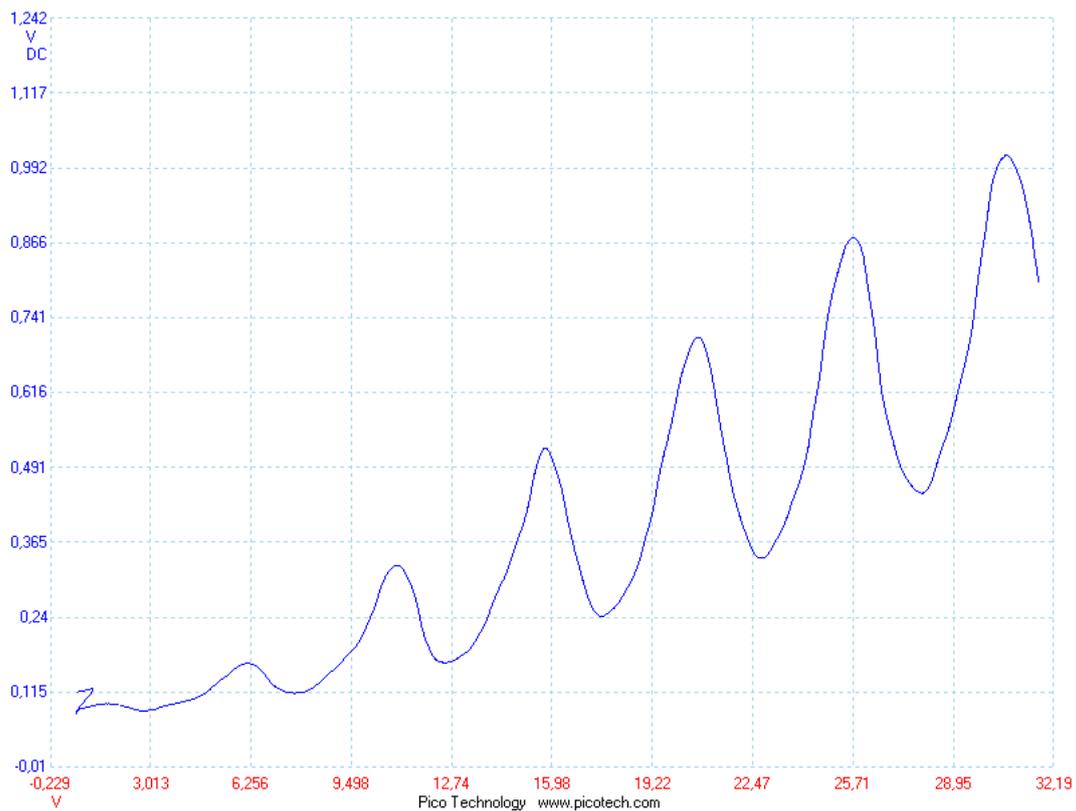


Abbildung 1: Franck- Hertz- Kurve bei $T = 166^{\circ}C$; $U_1 = 5.26V$; $U_3 = 0V$

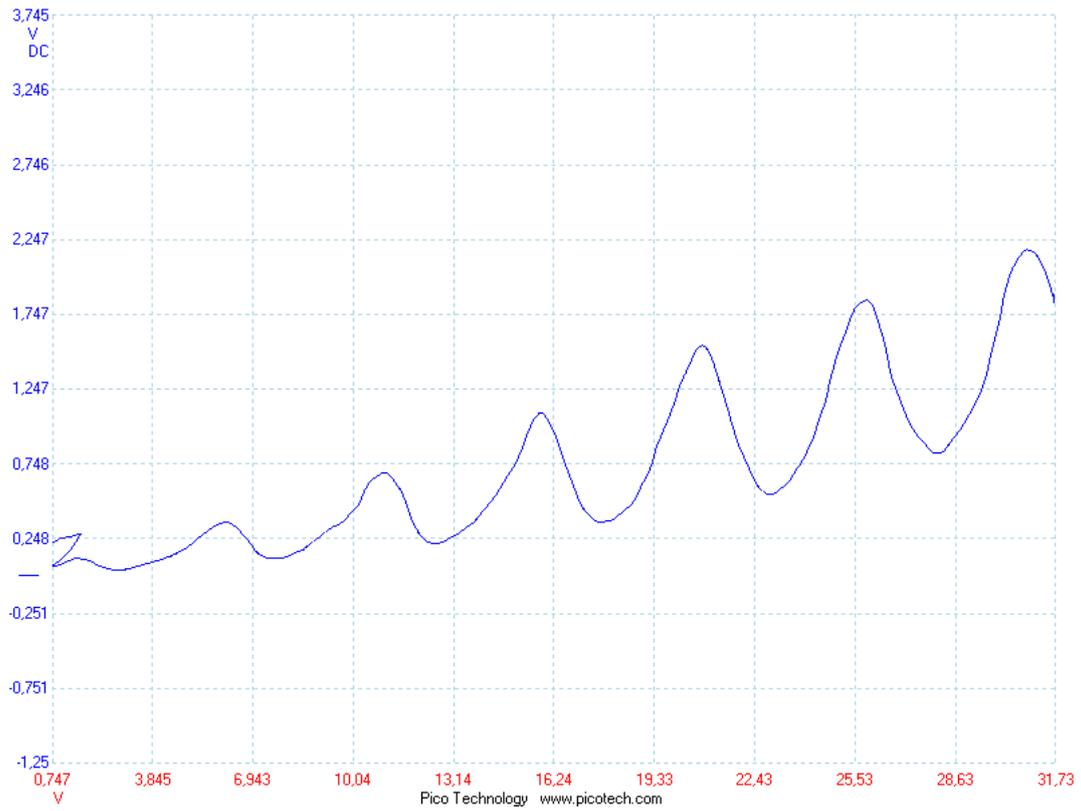


Abbildung 2: Franck- Hertz- Kurve bei $T = 159^{\circ}C$; $U_1 = 5.26V$; $U_3 = 0.24V$

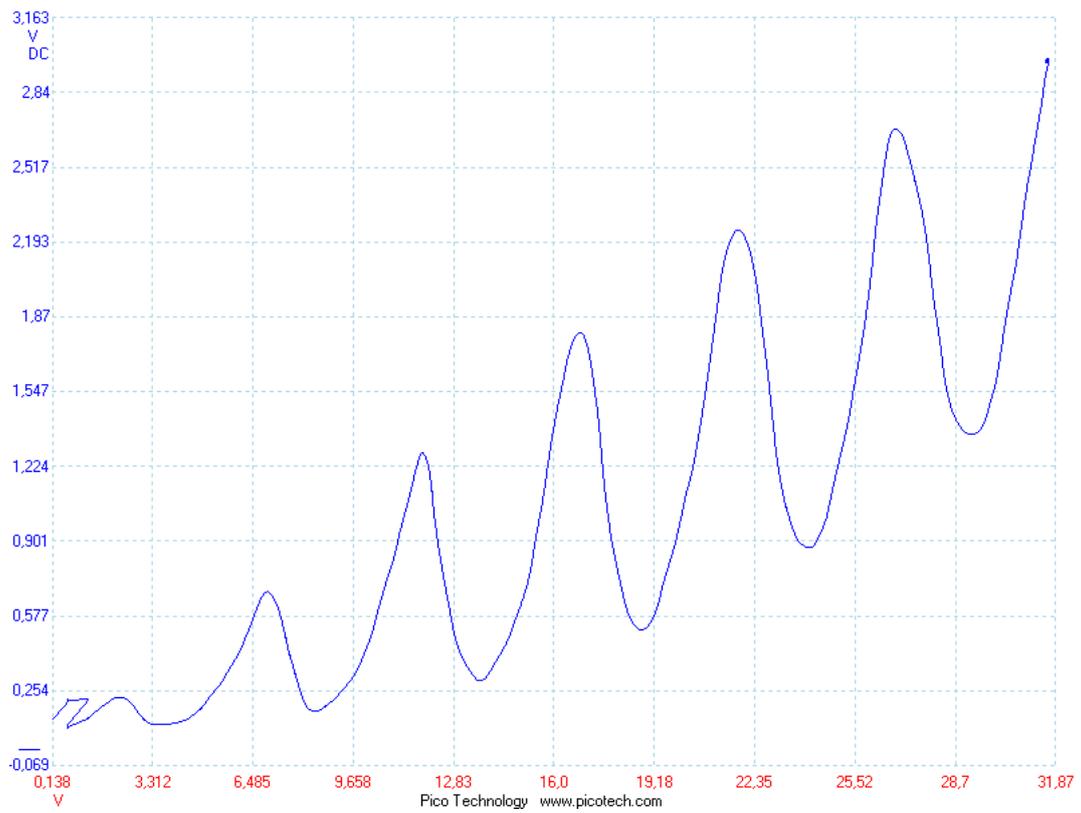


Abbildung 3: Franck- Hertz- Kurve bei $T = 151^{\circ}C$; $U_1 = 4.5V$; $U_3 = 0.44V$

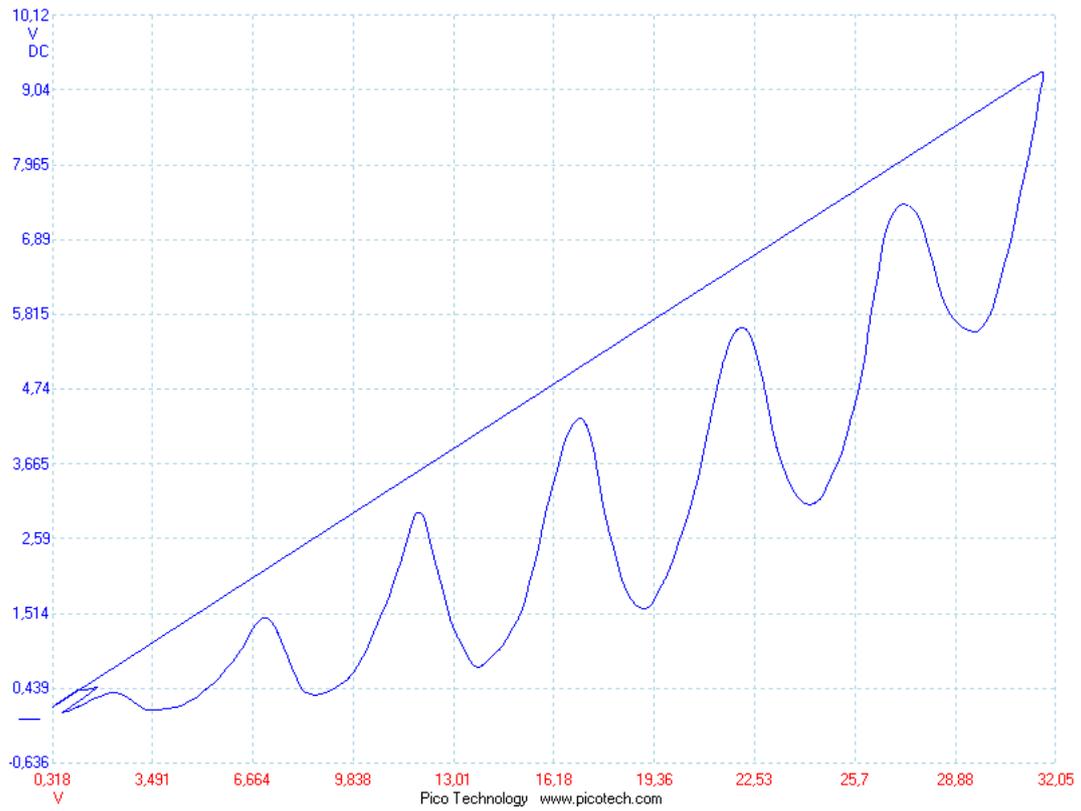


Abbildung 4: Franck- Hertz- Kurve bei $T = 140^{\circ}C$; $U_1 = 4.5V$; $U_3 = 0.44V$

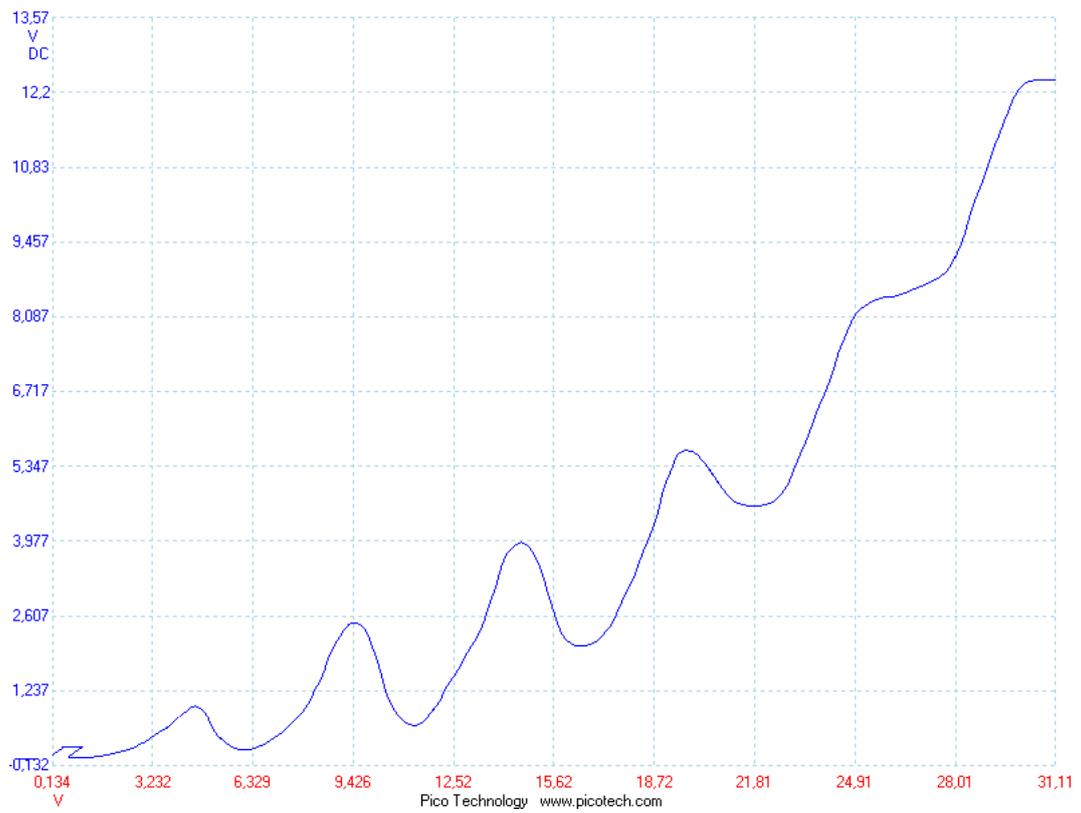


Abbildung 5: Franck- Hertz- Kurve bei $T = 120^{\circ}C$; $U_1 = 2.0V$; $U_3 = 1.31V$

1.3 Anodenstrom

Als nächstes sollte bei 150°C mittels eines empfindlichen Strommessinstruments die Anodenstromkurve aufgenommen werden. Da der Anodenstrom durch

$$I = \lambda \cdot U^{\frac{3}{2}}$$

von der Beschleunigungsspannung abhängig ist, lässt sich dieser Term durch Logarithmieren in

$$\ln I = \ln \lambda + \frac{3}{2} \ln U$$

überführen. Die ermittelten Daten lassen sich nun leicht in einen Graphen auftragen, um den linearen Zusammenhang zwischen Anodenstrom und Beschleunigungsspannung zu verdeutlichen.

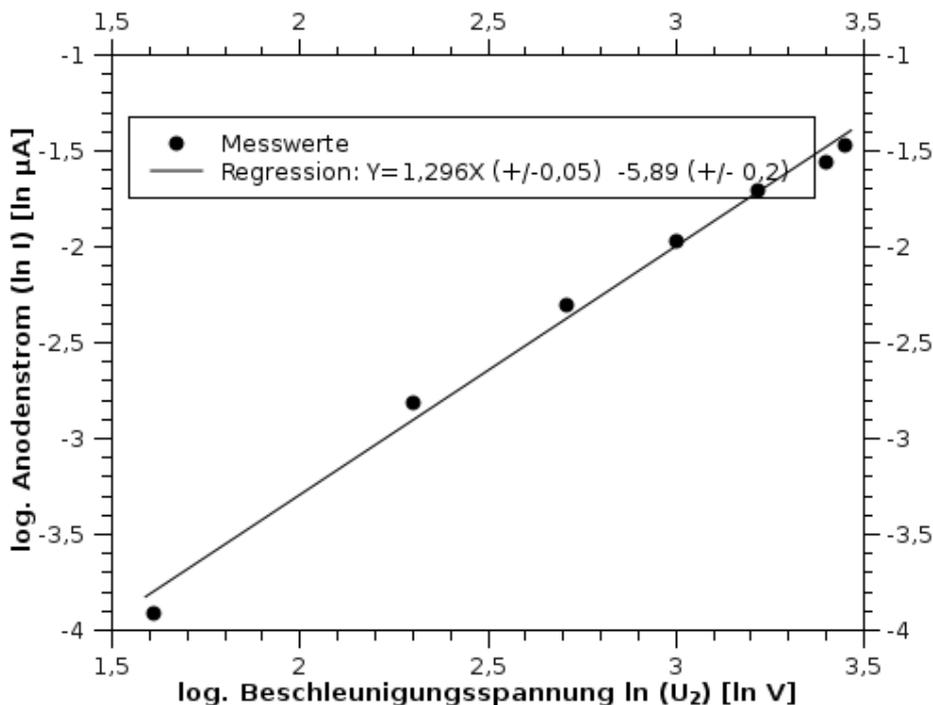


Abbildung 6: Doppelt logarithmische Auftragung des Anodenstroms über der Beschleunigungsspannung

Die Regressionsgerade ergab eine Steigung von knapp 1.3 , was nicht ganz dem Erwartungswert von $\frac{3}{2} = 1.5$ entspricht. Dennoch ist der Zusammenhang gut zu erkennen.

Hinweis: Da eine lineare Regression durch logarithmisch aufgetragene Werte mit dem Plotprogramm nicht möglich war, wurden die Messwerte zuerst logarithmiert und dann linear aufgetragen.

Es ist auch deutlich zu erkennen, dass - wie in der Praktikumsvorbereitung erwähnt - die Stromkurve keinen Franck-Hertz-Verlauf aufweist, da noch kein Gegenfeld zwischen Anode und Kathode angelegt wurde und somit auch die Elektronen, die Stoßenergie verloren haben, die Anode erreichen.

1.4 Ionisierungsarbeit

Im Weiteren sollte die Ionisierungsenergie auf zwei Arten bestimmt werden:

a) Durch Messung des Anodenstroms in Abhängigkeit von der Anodenspannung

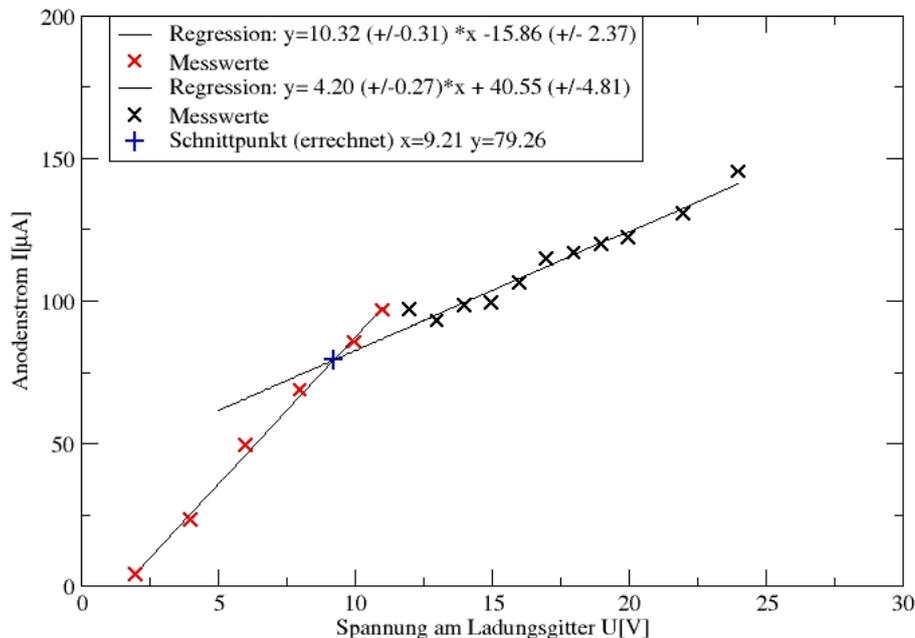


Abbildung 7: Anodenstrom über Anodenspannung aufgetragen

Dem Graphen ist leicht zu entnehmen, dass ab einer Anodenspannung von ca. 11V der Anodenstrom nicht mehr linear ansteigt, hier setzt nämlich die Ionisierung der Quecksilberatome ein, was den Anstieg des Anodenstroms vermindert. Berücksichtigt man noch den Offset von 1.5V, der von der Kontaktspannung zwischen den Elektroden, der Thermospannung und der Spannung am Raumladungsgitter herrührt, so ergibt sich eine Ionisierungsenergie von etwa 9.5eV .

Verglichen mit dem Literaturwert der Ionisierungsenergie von 11.43eV stellt der gemessene Wert eine Abweichung von 16.9% dar. Begründet liegt dies darin, dass der aus der Regressionskurve bestimmte Offset schon einen gewissen Fehler aufweist. Außerdem konnte der Punkt, an dem die Ionisierung startet, aufgrund der zu groß gewählten Messintervalle nicht exakt bestimmt werden.

Schließlich war auch die Messung selbst nur recht ungenau durchführbar, da der angezeigte Anodenstrom bei gehaltener Beschleunigungsspannung kontinuierlich abfiel. Eine Erklärung hierfür war weder uns noch dem Tutor bekannt.

b) Durch Plotten des Auffängerstroms unter Zuhilfenahme des Oszillographen.

Der Auffängerstrom wurde über eine Spannungsmessung durch den Oszillographen bestimmt.

Der zweite Peak des Graphen stellt die Ionisierung des Quecksilbers dar, der erste ist nur eine einfache Anregung. Berücksichtigt man wieder den Offset von 1.5V, der auch von diesem Graphen übernommen wurde, so ergibt sich durch den zweiten Peak bei etwa 12.5V eine Ionisierung bei 11eV, was einer Abweichung von 5.5% zum Literaturwert entspricht und damit doch deutlich genauer ist als die erste Messung, da hier keine Regressionsgerade benötigt wurde und der Punkt der Ionisierung auch genau bestimmt werden konnte.

[Quelle Literaturwert der Ionisierungsenergie: http://www.uniterria.de/rutherford/tab_iiong.htm]

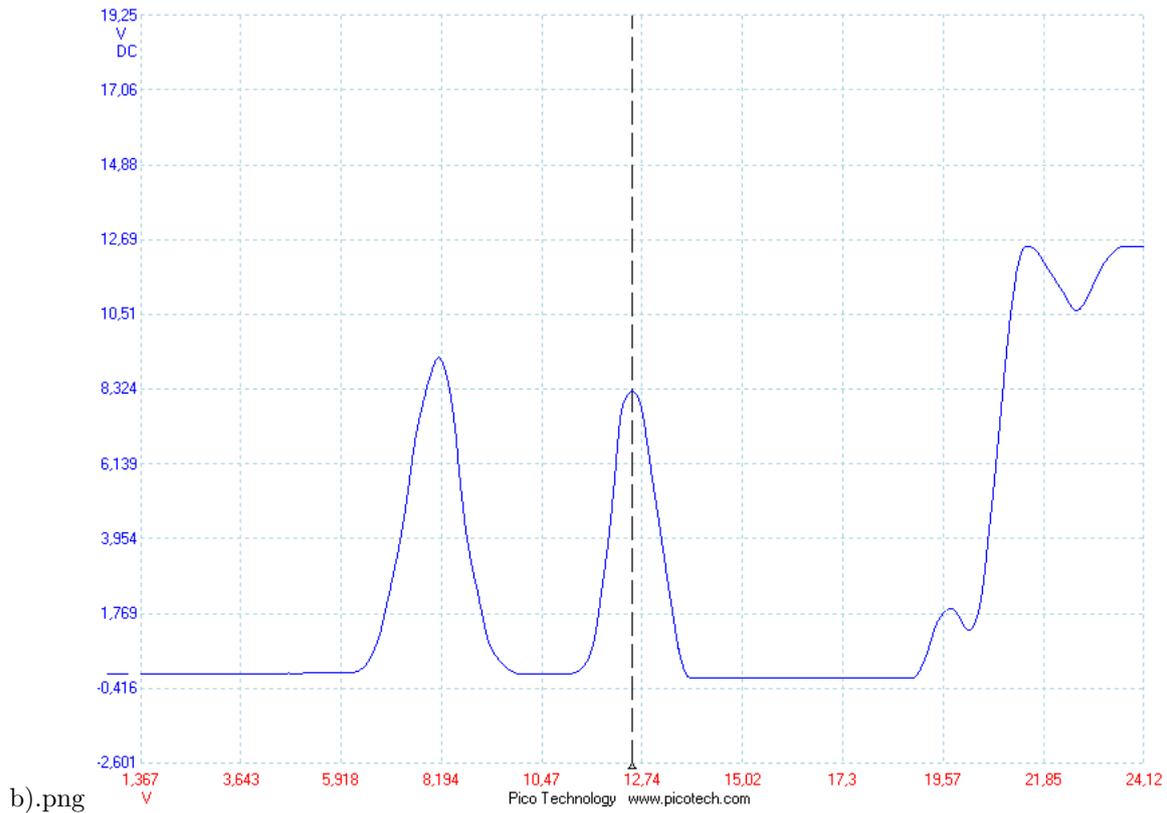


Abbildung 8: Auffängerspannung über die Beschleunigungsspannung

1.5 Quecksilberspektrum

Eine permanente Gasentladung (siehe auch Versuchsvorbereitung) wurde in der Röhre gezündet. Die Leucht- schicht, in der die Ionisierung stattfand, war deutlich zu sehen. Sie bildete einen bläulichen Lichtkegel von der Kathode ausgehend zur Gitteranode hin. Dieser Lichtkegel wurde durch ein Taschenspektrometer betrachtet. Es war sehr deutlich das für Quecksilber typische Spektrum zu sehen:

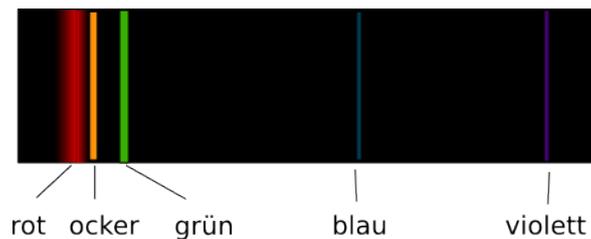


Abbildung 9: beobachtetes Spektrum der Quecksilbergasentladung (schematisch)

Da jede Wellenlänge Photonen einer bestimmten Energie entspricht, lässt sich aus diesem diskreten Spektrum qualitativ folgern, dass die Elektronen im Atom sich auf diskreten Schalen befinden. Die bei Abregung emittierten Photonen haben je nach Art des Übergangs eine definierte Energie, welche sich in der Wellenlänge des Lichtes manifestiert.

2 2.Anregung

In Aufgabe 2 sollte die zweitniedrigste Anregungsenergie der Quecksilberatome bestimmt werden. Dafür wurde eine Aufbau analog zu Aufgabenteil 1.4 verwendet, damit durch den verkürzten Beschleunigungsraum die Wahrscheinlichkeit für frühe Stöße und somit für Anregungen unterhalb der zweiten Anregungsstufe reduziert wird.

Die ermittelten Daten wurden dann direkt vom Oszillographen dargestellt.

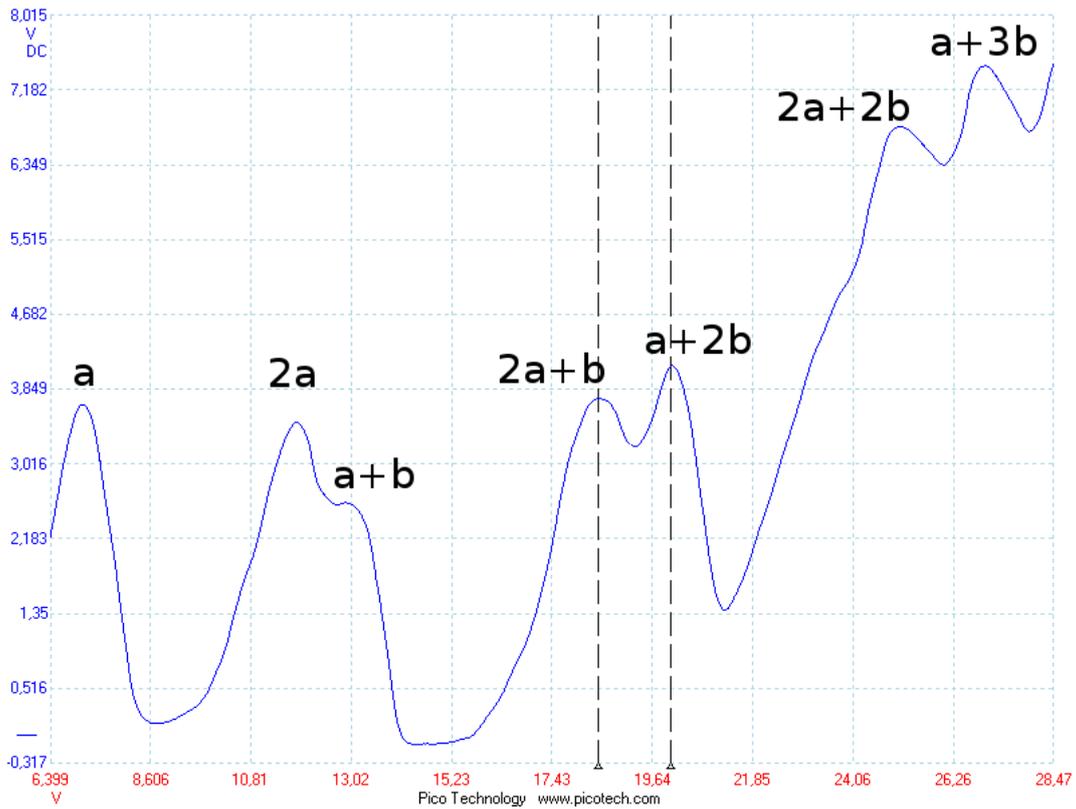


Abbildung 10: Anregungen bei steigender Beschleunigungsspannung

Jeder Peak im Graphen gibt eine Linearkombination aus dem ersten (=a) und dem zweiten (=b) Anregungszustand wieder. Unter Berücksichtigung des gemittelten Wertes für den ersten Anregungszustand aus Aufgabe 1.2 und der Annahme, dass der erste Peak der Peak dem ersten Anregungszustand entspricht kann hier erneut die Themokontaktspannung von 2,18V bestimmt werden. Dies ist notwendig, da sich im Vergleich zu Aufgabenteil 1.2 der Versuchsaufbau geändert hat.

Durch Vergleich der Spannungsdifferenzen ist es möglich die auftretenden Linearkombinationen zu bestimmen und daraus dann auf die Energie, die für die Anregung des zweiten Anregungszustandes nötig ist, zurück zu schließen werden. Es ergibt sich ein gemittelter Wert von 6,38eV, welcher einer Abweichung von 4,78% zum Literaturwert von 6,7eV (Quelle: Literatur zum Praktikum im Internet unter <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/p2/p2-index.html>) darstellt.

Peak	1	2	3	4	5	6	7
Beschleunigungsspannung $U_{\text{Besch}}[\text{V}]$	7.11	11.81	12.91	18.49	20.08	25.09	26.96
Aus A 1.2 => 1. Anregung [eV] bei 4,93 => $U_{\text{TK}}[\text{V}] = 2,18$							
$U_{\text{kor}}[\text{V}] = U_{\text{Besch}}[\text{V}] - U_{\text{TK}}[\text{V}]$	4.93	9.63	10.73	16.31	17.90	22.91	24.78
Anregungszustand 1 [4,925eV]	1	2	1	2	1	2	1
Anregungszustand 2	0	0	1	1	2	2	3
Energie für die 2. Anregung [eV]			5.80	6.46	6.49	6.53	6.62
Energie für die 2. Anregung [eV] gemittelt:	6.38						

Abbildung 11: Messergebnisse für den 2. Anregungszustand

3 Neonröhre

Um einen Eindruck von der Reproduzierbarkeit des Versuchs mit anderen Elementen zu bekommen, wurde in einem Demonstrationsversuch die Franck- Hertz- Kurve einer Neonröhre am Oszilloskop aufgenommen. (*Ouhh! Shiny buttons!*) Dabei konnten in der Röhre bei zunehmender Beschleunigungsspannung bis zu 3 räumlich getrennte Leuchtschichten beobachtet werden, in denen die Atome angeregt wurden und danach Photonen emittierten.

Die Franck- Hertz- Kurve war etwas schwierig einzustellen, schließlich ließen sich jedoch folgende Werte für die

ersten beiden Peaks ablesen:

Maximum	U_{Beschl}
-	0 V
1	18 V
2	38 V

Der Offset durch Kontakt- und Thermospannung war im Aufgabenblatt als ca. 2.5V angegeben. Damit ergibt sich zwischen 0 und 1. Max bzw. zwischen 1.Max und 2. Max jeweils eine Differenz von ungefähr 20 V. Mittelwertrechnungen machen bei nur 2 Werten wenig Sinn. Die hauptsächliche Anregungsenergie von Neon wurde also bei ca. 20 eV gemessen. Der Literaturwert liegt im Mittel zwischen 18.5 V und 19 V. Es wurde also ein wenig zu hoch gemessen. Allerdings handelte es sich hierbei mehr um eine qualitative Messung.