

Auswertung Franck-Hertz-Versuch

Marcel Köpke & Axel Müller (Gruppe 30)

26.04.2012

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabe 1	3
1.1 Aufbau der Schaltung	3
1.2 Erste Anregungsstufe von Quecksilber	3
1.3 Raumladungsgesetz	8
1.4 Ionisierungsarbeit	9
1.4.1 Anodenstrom über Anodenspannung	9
1.4.2 Oszillograph	11
1.5 Emissionslinien	12
2 Aufgabe 2 (Zweite Anregungsstufe)	13
3 Aufgabe 3 (Neon)	15

1 Aufgabe 1

1.1 Aufbau der Schaltung

Die Schaltung wurde wie in der Vorbereitung beschrieben aufgebaut, kalibriert und diskutiert.

1.2 Erste Anregungsstufe von Quecksilber

Die Franck-Hertz-Kurve wurde bei 170, 160, 150, 140 und 120°C aufgenommen. Mit abnehmender Temperatur zeigten sich jedoch weniger Maxima, weil die Quecksilbergas-konzentration mit der Temperatur sank, sodass weniger unelastische Stöße bei gleicher Stoßelektronenenergie zustande kamen. Die Anregungsenergie ergibt sich aus den gemittelten Differenzen der Maxima.

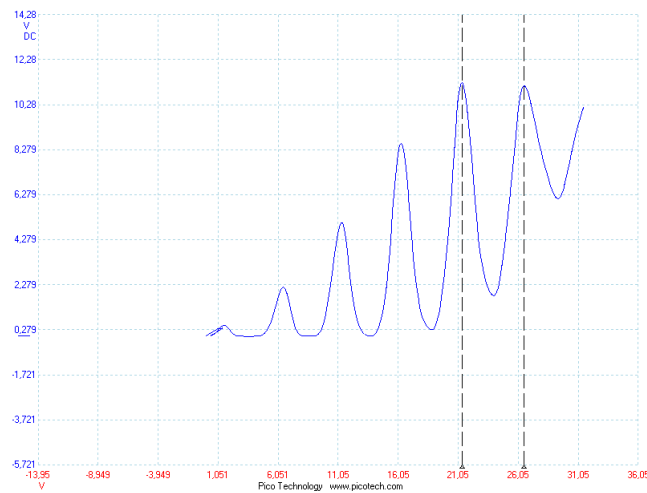


Abbildung 1.1: 170°C

$U_2[V]$	$\Delta U_2[V]$
1,541	
	4,944
6,485	
	4,895
11,380	
	4,910
16,290	
	5,070
21,360	
	5,180
26,540	

Tabelle 1.1: Messergebnisse bei 170°C

Durch die Mittelung der ΔU_2 ergibt sich die Anregungsspannung:

$$\Delta \bar{U}_2 = 5,00V$$

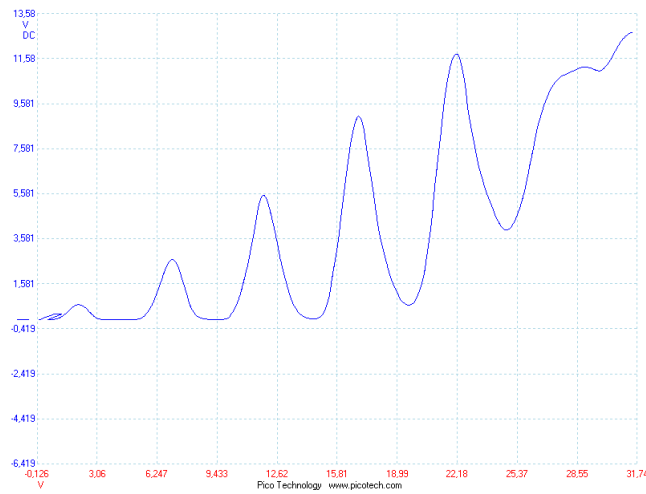


Abbildung 1.2: 160°C

$U_2[V]$	$\Delta U_2[V]$
2,087	
	4,946
7,033	
	4,837
11,870	
	5,070
16,940	
	5,200
22,140	

Tabelle 1.2: Messergebnisse bei 160°C

Durch die Mittelung der ΔU_2 ergibt sich die Anregungsspannung:

$$\Delta \bar{U}_2 = 5,013V$$

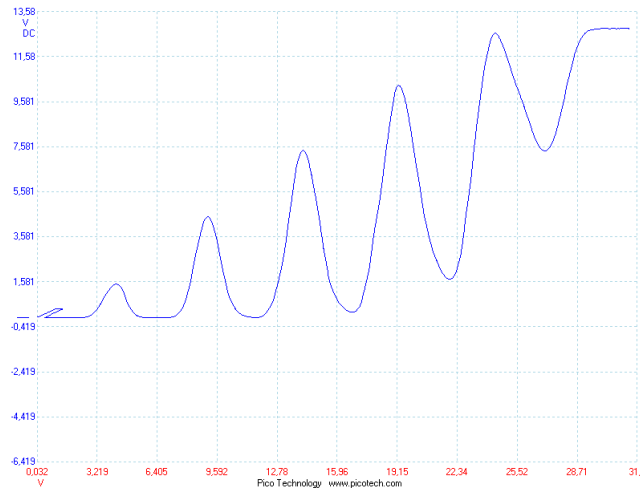


Abbildung 1.3: 150°C

$U_2[V]$	$\Delta U_2[V]$
4,213	
	4,894
9,107	
	5,043
14,150	
	5,090
19,240	
	5,092
24,332	

Tabelle 1.3: Messergebnisse bei 150°C

Durch die Mittelung der ΔU_2 ergibt sich die Anregungsspannung:

$$\Delta \bar{U}_2 = 5,030V$$

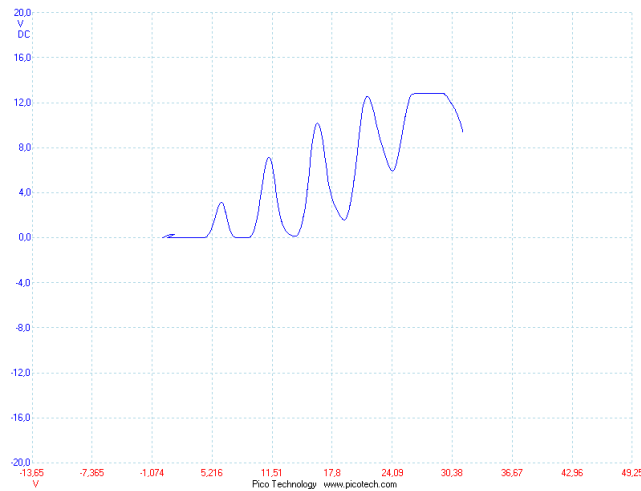


Abbildung 1.4: 140°C

$U_2[V]$	$\Delta U_2[V]$
6,185	
	4,985
11,170	
	5,080
16,250	
	5,220
21,470	

Tabelle 1.4: Messergebnisse bei 140°C

Durch die Mittelung der ΔU_2 ergibt sich die Anregungsspannung:

$$\Delta \bar{U}_2 = 5,095V$$

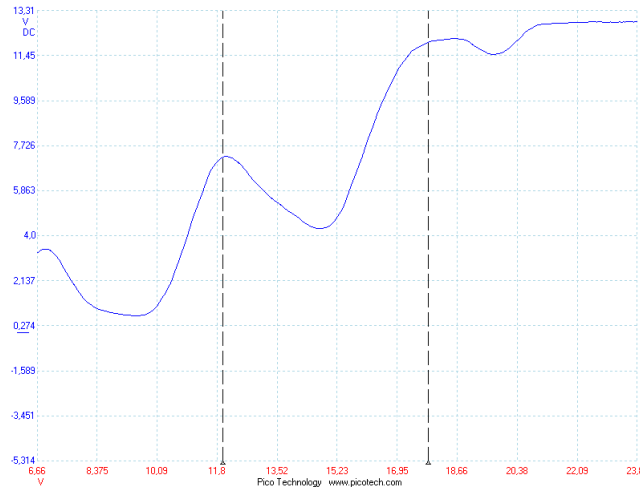


Abbildung 1.5: 120°C

$U_2[V]$	$\Delta U_2[V]$
6,890	
	5,070
11,960	
	5,880
17,840	

Tabelle 1.5: Messergebnisse bei 120°C

Durch die Mittelung der ΔU_2 ergibt sich die Anregungsspannung:

$$\Delta \bar{U}_2 = 5,475V$$

Als Mittelwert aller Messungen erhalten wir somit für die Anregungsenergie:

$$E_1 = 5,123eV$$

Dies entspricht einer Abweichung von 4,55% des Literaturwerts (4,89eV). Diese Abweichung ist auf Messungenauigkeiten, wie etwa das Ablesen der Maxima und allgemeine Ungenauigkeiten in der Spannungsmessung, zurückzuführen. Wie man an den Abbildungen sehen kann, variiert der Punkt des ersten Maximums von Messung zu Messung stark. Dies liegt daran, dass U_2 nicht die tatsächliche Beschleunigungsspannung ist. Diese setzt sich nämlich zusammen aus:

$$U_B = U_1 + U_2 + U_k$$

wobei U_k die Thermokontaktspannung ist. Sie entsteht durch unterschiedliche Austrittsarbeiten von Anode und Kathode und ihren unterschiedlichen Temperaturen. Bei hoher Temperatur kann das Austrittspotential leichter überwunden werden, sodass zwischen Anode und Kathode ein Potentialunterschied entsteht. Bei unterschiedlichen Materialien ist die Austrittsarbeit allgemein verschieden, sodass hier eine Kontaktspannung resultiert. Insgesamt also die Thermokontaktspannung U_k .

$$U_k = U_B - U_1 - U_2$$

Für U_B wird die oben ermittelte Anregungsspannung verwendet, da sich bei dieser das erste Maximum zeigen sollte. Berechnet man obige Gleichung für alle Temperaturen erhält man:

Temperatur	U_k [V]
170°C	-1,718
160°C	-1,744
150°C	-1,790
140°C	-1,702
120°C	-1,917

Tabelle 1.6: Thermo-Kontakt-Spannungen

Man sieht also, dass die Thermokontaktspannung den beschleunigenden Spannungen U_1 und U_2 entgegengesetzt ist, wirkt demnach abbremsend.

1.3 Raumladungsgesetz

Das Gegenfeld wurde nun so eingestellt, dass möglichst wenig Elektronen die Anode erreichen. Damit konnte ein Strom am zweiten Gitter gemessen werden, der das Raumladungsgesetz aus der Vorbereitung erfüllen sollte:

$$I_2 = \lambda \cdot U_2^{\frac{3}{2}}$$

Die Messung ergab folgenden Zusammenhang:

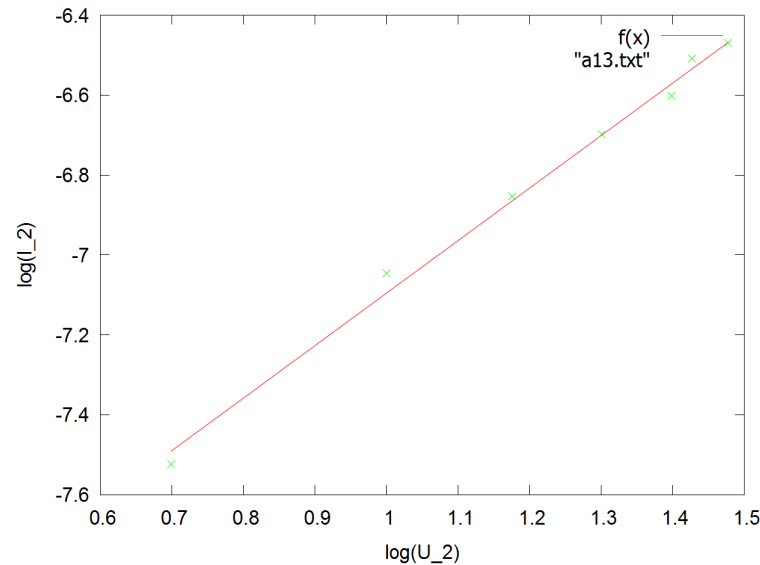


Abbildung 1.6: $U_2^{\frac{3}{2}}$ – Abhängigkeit

Die Messwerte wurden logarithmisch aufgetragen, wodurch sich folgende Geradengleichung ergibt

$$\log(I_2) = \log(\lambda) + \frac{3}{2}\log(U_2)$$

Die obige Gerade besitzt die Steigung

$$a = 1,31$$

und den y-Achsenabschnitt:

$$b = -8,41$$

Berechnet man λ über die im Vorprotokoll angegebene Formel erhält man:

$$\lambda = 18,87nm \iff \log(\lambda) = -7,72$$

Wie man sieht bestätigt sich annähernd das $\frac{3}{2}$ -Potenzgesetz und die freie Weglänge. Es stellt sich jedoch keine Franck-Hertz-Kurve ein, da die Elektronen keine Gegenfeld überwinden müssen und somit jedes Elektron zum Strom beiträgt.

1.4 Ionisierungsarbeit

1.4.1 Anodenstrom über Anodenspannung

Auch hier wurde durch ein hohes Gegenfeld, das Gitter g_2 als Anode verwendet. Zusätzlich wurden g_1 und g_2 auf das selbe Potential gelegt, sodass g_1 das Beschleunigungsgitter ist und die Elektronen nach g_1 in jedem Fall kein Gegenfeld erfahren. Außerdem wurde die Temperatur auf 120°C eingestellt, damit die Quecksilbergaskonzentration möglichst

klein ausfällt. Nun haben wir punktwise den Anodenstrom für verschiedene Beschleunigungsspannungen gemessen:

$U_2[\text{V}]$	$I_2[\mu\text{A}]$
3	0,050
6	1,990
9	9,600
10	24,920
11	32,950
12	38,960
13	41,490
14	46,570
15	52,420
16	64,280
17	74,700
18	82,330
21	95,040
24	117,260
27	142,880
30	170,860

Tabelle 1.7: Messerte

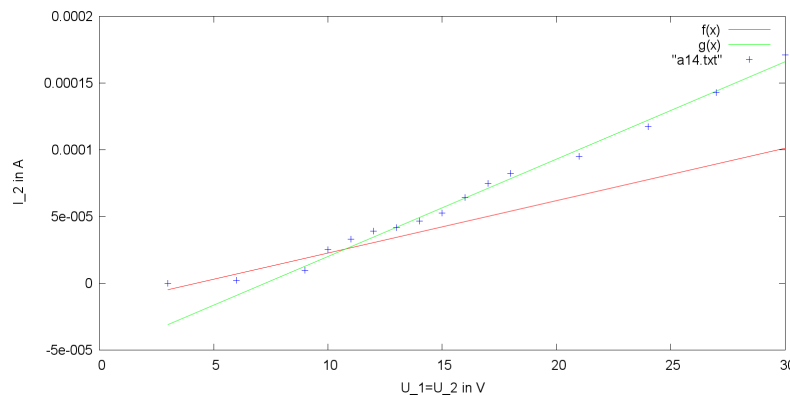


Abbildung 1.7: Ionisierung

Im Bereich von etwa 10V ist ein deutlicher Anstieg erkennbar, der auf die Ionisierung der Quecksilberatome hinweist. Dies liegt in der Umgebung des Literaturwerts von 10,44V.

Legt man durch die ersten 4 Messpunkte (also vor dem Anstieg) eine Ausgleichsgerade

$f(x)$ und durch die restlichen eine Ausgleichgerade $g(x)$ so erhält man:

$$f(x) = 3,059 \cdot 10^{-6} \frac{A}{V} \cdot x - 1,227 \cdot 10^{-5} A$$

$$g(x) = 7,192 \cdot 10^{-6} \frac{A}{V} \cdot x - 5,068 \cdot 10^{-5} A$$

Der Schnittpunkt beider Geraden liegt bei 9,292 V. Allerdings kann hier nicht direkt auf die Ionisierungsarbeit geschlossen werden, da die Thermo-Kontakt-Spannung noch nicht berücksichtigt wurde. Aus vorherigen Messungen ist uns die Thermo-Kontakt-Spannung der Konstellation Glühkathode-Auffängeranode bekannt. Jedoch wissen wir nichts über die Thermo-Kontaktspannung der Konstellation Glühkathode-Gitter2. Daher ist hier nur eine grobe Abschätzung der Ionisierungsarbeit auf

$$E_I \approx 10\text{eV}$$

möglich!

1.4.2 Oszillograph

Mit dem gleichen Versuchsaufbau wie zuvor, aber mit schwächerem Gegenfeld, wurde erneut die Ionisierungsspannung gemessen. Das Gegenfeld wurde so eingestellt, dass der Strom an der Auffängeranode solange unterdrückt wurde, bis sich Ionisierung einstellte. Dadurch treten nun positive Ionen im Gasraum auf. Diese kommen auch in den Bereich der Auffängeranode und bewirken dort einen Strom mit entgegengesetztem Vorzeichen im Vergleich zum Elektronenstrom (Peak). Zudem kommt es zu einer Abschwächung des Gegenfeldes, wodurch sich aber kein zusätzlicher Elektronenstrom an der Auffängeranode einstellt, da die Elektronen ihre Energie durch Stoßionisation verlieren. Steigt nun jedoch die Beschleunigungsspannung weiter an bricht der Strom an der Auffängeranode wieder zusammen, da nun wieder Elektronen das Gegenfeld überwinden können und den Ionenstrom (hervorgerufen durch positive Ionen im Anodenraum) kompensieren.

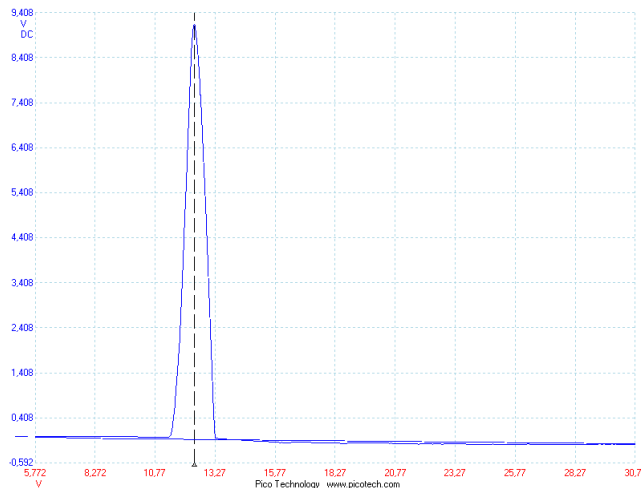


Abbildung 1.8: Ionisierungsenergie

Der Peak liegt bei 12,39V. Zieht man davon die Thermokontaktspannung bei 120°C ab, erhält man in guter Übereinstimmung mit der Literatur für die Ionisierungsenergie:

$$E_I = 10,443eV$$

1.5 Emissionslinien

Wir zündeten nun das Quecksilbergas und beobachteten mit einem Spektroskop das sichtbare Linienspektrum. Wir erkannten folgendes Farbspektrum:

Beobachtete Linie	Vergleich mit theoretischem Wert
gelb	579nm
hellgrün	546nm
blaugrün	493nm
blau	436nm
violett	405&408nm

Tabelle 1.8: Farbspektrum

Die verschiedenen Wellenlängen kommen dadurch zustande, dass Ionen auf «verschiedenen Wegen» in ihren Grundzustand zurückfallen. Elektronen werden eingefangen und wandern über optisch erlaubte Energiezustände auf das Grundorbital zurück, dabei wird Licht bestimmter Wellenlängen emittiert, je nachdem, welche Orbitale nacheinander durchlaufen werden.

Der 10 kΩ-Widerstand beeinflusst die Messung nicht, weil an ihnen, wie in der Vorbereitungsmappe beschrieben, im Normalfall nur eine sehr kleine Spannung abfällt.

2 Aufgabe 2 (Zweite Anregungsstufe)

Es wurden die gleichen Bedingungen wie in Aufgabe 1.4 geschaffen. Zudem wurde der Kathodenstrom verringert, um ein Zünden des Quecksilbergases zu verhindern. Wir erhielten folgende Messkurve:

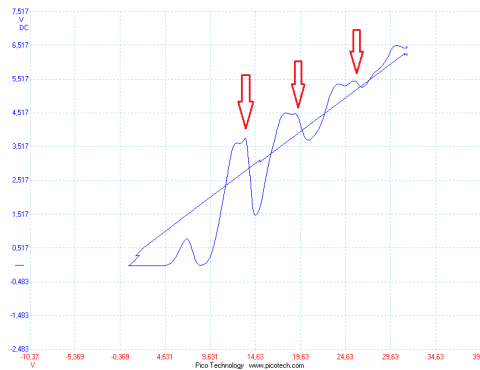


Abbildung 2.1: Messkurve

Man sieht ein, von zwei Anregungsenergien überlagertes, Schaubild. Allerdings ist zu bemerken, dass womöglich das erste Maximum der zweiten Anregungsstufe zu gering ausgeprägt ist und deshalb «verschluckt» wurde. Die Pfeile markieren die Maxima der zweiten Anregungsstufe. Bestimmt man nun wieder die Stellen der Maxima und korrigiert diese um die Thermo-Kontaktspannung bei 120°C erhält man U_B :

	U_B [V]
1.Maximum	5,063
2.Maximum	10,303
3.Maximum	11,613
4.Maximum	15,893
5.Maximum	17,193
6.Maximum	21,753
7.Maximum	23,673

Tabelle 2.1: Messwerte

Da die Anregungsenergie der 1. Stufe geringer ist als diejenige der 2. muss das erste Maximum der 1. Anregungsstufe zugeordnet werden. Offensichtlich ist auch, dass die Abstände der Maxima 2+3, 4+5 und 6+7 zu gering sind um Abstände ein und derselben

Anregungstufe zu sein, denn aus unseren Voruntersuchungen wissen wir, dass beide Anregungsstufen einen Mindest-Maxima-Abstand von ungefähr 5 V haben. Offensichtlich ist auch, dass das 3. Maximum nicht der 1. Anregungstufe zugeordnet werden kann, da dies im Kontrast zu unseren Voruntersuchungen einen Anregungsenergie von $E = 6,550\text{eV}$ (Stichwort: Maxima-Abstand) bedeuten würde.

Daher ist nur eine Schlussfolgerung möglich:

- 1. Anregungsstufe: Maximum 1, 2, 4 und 6
- 2. Anregungsstufe: Maximum 3, 5 und 7

Das tatsächlich «erste» Maximum der 2. Anregungsstufe muss daher wie oben bereits erwähnt «verschluckt» worden sein.

Ermitteln wir nun wieder die Abstände der Maxima und nehmen noch den Absolutwert des 1. Maximums (für Anregungsstufe 1) hinzu ergeben sich also folgende Werte:

	$E_1[\text{eV}]$	$E_2[\text{eV}]$
Wert 1	5,063	5,580
Wert 2	5,240	6,480
Wert 3	5,590	—
Wert 4	5,860	—

Tabelle 2.2: Anregungsspannungen

Gemittelt erhält man:

$$E_1 = 5,438\text{eV}$$

$$E_2 = 6,030\text{eV}$$

Man sieht, dass die Messung für E_1 vom zuvor bestimmten Resultat abweicht, was damit zu begründen ist, dass sich bei der Temperatur von 120°C Messungenauigkeiten einstellen. Für E_2 gibt die Literatur einen Wert von $6,70\text{eV}$ an. Die hohe Abweichung von 10% war zu erwarten, da bereits in der Aufgabenstellung erwähnt wurde, dass die Messung der zweiten Anregungsstufe kaum möglich ist.

3 Aufgabe 3 (Neon)

Wie auch zuvor beim Quecksilber bestimmten wir die erste Anregungsstufe und erhielten in guter Übereinstimmung mit der Literatur:

$$E_1 = 18,67eV$$

Auch beobachteten wir qualitativ bei Erhöhung der Beschleunigungsspannung das Auftauchen und die Verlagerung von Leuchtschichten (gezündetes Ionengas). Wie in der Vorbereitung beschrieben, hat das Heizen keinen Sinn, denn Neon ist bei Raumtemperatur bereits gasförmig.