

Physikalisches Anfängerpraktikum (P2)

P2-55: Franck-Hertz-Versuch

Auswertung

Matthias Faulhaber

Karlsruhe, den 16.12.2009

Durchführung: 16.12.2009

1 Franck-Hertz-Versuch mit Quecksilber-Röhre

1.1 Aufbau der Quecksilberröhre

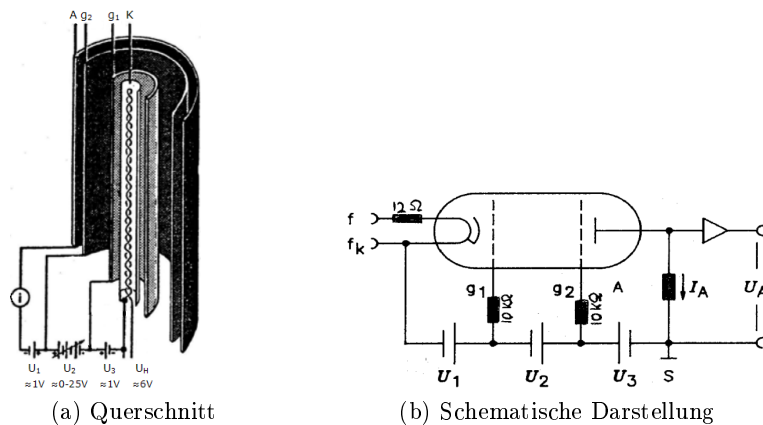


Abbildung 1: Aufbau einer Franck-Hertz-Röhre mit Quecksilber

In diesem ersten Aufgabenteil verwendete ich eine Quecksilberröhre, wie sie in meiner Vorbereitung beschrieben und in den Abbildungen 1a und 1b dargestellt ist.

1.2 Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve

Nachdem ich mich mit dem Aufbau der Apparatur und bekannt gemacht habe, begann ich, die Röhre auf 170°C vorzuheizen. Anschließend zeichnete ich mithilfe von Picoscope bei Temperaturen von 170°C, 160°C, 150°C, 140°C und 120°C die Franck-Hertz-Kurve auf. Dazu betrachtete ich zunächst die Kurve, die bei Anlegen einer Sägezahnspannung an U₂ entsteht. Die endgültige Messung zeichnete ich unter Verwendung der einmalig ansteigenden Spannungsrampe auf.

Um Schwankungen auszugleichen, berechne ich den mittleren Wert der ersten Anregungsenergie für jede Messung zu $\bar{E} = \bar{U} \cdot e = \sum_{n=2}^N \frac{\Delta U_n}{N-1} \cdot e$, und vergleiche ihn anschließend mit dem theoretisch erwarteten Wert von $E_{\text{theo}} = 4,9\text{V}$. Dabei entspricht N der Anzahl der beobachteten Maxima und ΔU_n der Spannungsdifferenz zwischen zwei Maxima.

Bei diesem Versuch außerdem zu beachten ist, dass sich der Spannungswert des ersten erkennbaren Peaks aus mehreren Spannungen zusammensetzt:

$$U_{\text{Peak 1}} = U_K - U_1 + \bar{U} \quad \Rightarrow \quad U_K = U_{\text{Peak 1}} + U_1 - \bar{U} \quad (1)$$

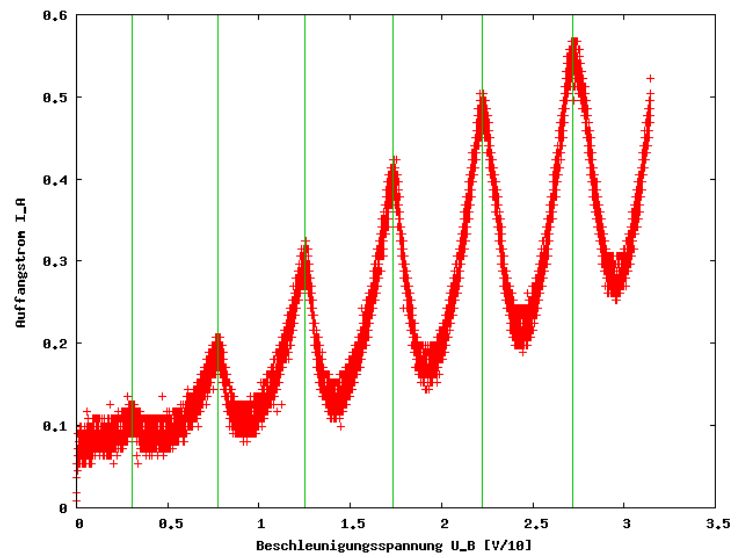
Die Heizspannung bezeichne ich im Folgenden mit U_H , sie war jedoch nicht ablesbar und wird deshalb nur mit "maximal" und "vermindert" angegeben. Die prozentuale Abweichung des ermittelten Werts \bar{E} vom erwarteten Wert $E_{\text{theo}}=4,9\text{V}$ wird mit $\Delta\bar{E}$ angegeben.

$$\begin{aligned}\vartheta &= 170 \text{ } ^\circ\text{C} \\ U_1 &= 3,79 \text{ V} \\ U_3 &= 0 \text{ V} \\ U_H &= \text{max}\end{aligned}$$

n	U_n [V]	E_n [eV]	ΔE
1	3,06		
2	7,72	4,66	4,90 %
3	12,50	4,78	2,42 %
4	17,34	4,83	1,33 %
5	22,23	4,90	0,10 %
6	27,19	4,96	1,14 %

$$\begin{aligned}\bar{E} &= 4,83 \text{ eV} \\ \Delta\bar{E} &= 1,52 \text{ \%} \\ U_K &= 2,03 \text{ V}\end{aligned}$$

(a) Messwerte



(b) Franck-Hertz-Kurve

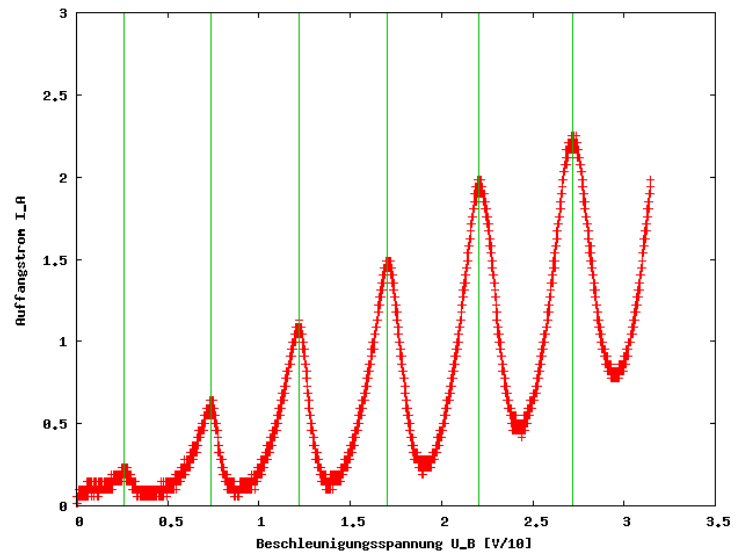
Abbildung 2: Messung bei $\vartheta=170^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\vartheta &= 160 \text{ } ^\circ\text{C} \\ U_1 &= 4,29 \text{ V} \\ U_3 &= 1,03 \text{ V} \\ U_H &= \text{max}\end{aligned}$$

n	U_n [V]	E_n [eV]	ΔE
1	2,63		
2	7,39	4,75	2,98 %
3	12,20	4,81	1,89 %
4	17,04	4,85	1,09 %
5	22,06	5,01	2,33 %
6	27,33	5,27	7,57 %

$$\begin{aligned}\bar{E} &= 4,94 \text{ eV} \\ \Delta\bar{E} &= 0,79 \text{ \%} \\ U_K &= 1,48 \text{ V}\end{aligned}$$

(a) Messwerte



(b) Franck-Hertz-Kurve

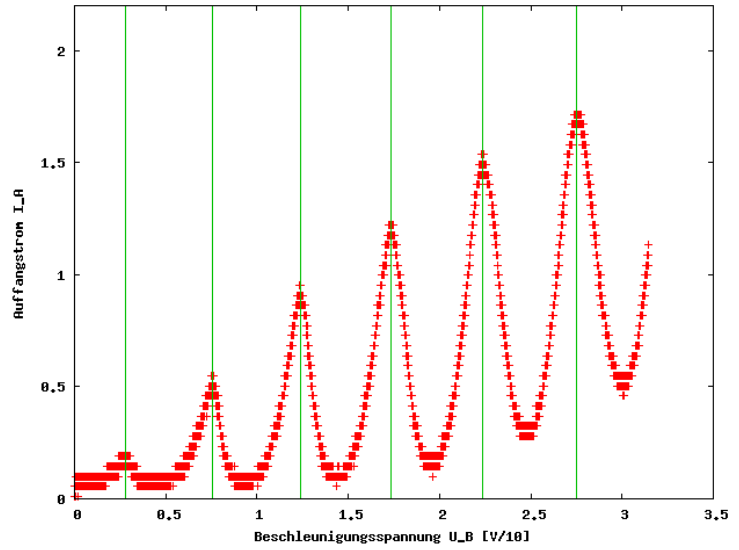
Abbildung 3: Messung bei $\vartheta=160^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\vartheta &= 150 \text{ } ^\circ\text{C} \\ U_1 &= 4,14 \text{ V} \\ U_3 &= 1,70 \text{ V} \\ U_H &= \text{max}\end{aligned}$$

n	U_n [V]	E_n [eV]	ΔE
1	2,77		
2	7,57	4,80	1,96 %
3	12,41	4,84	1,31 %
4	17,31	4,90	0,08 %
5	22,33	5,03	2,55 %
6	27,53	5,19	5,98 %

$$\begin{aligned}\bar{E} &= 4,95 \text{ eV} \\ \Delta\bar{E} &= 1,07 \text{ \%} \\ U_K &= 1,60 \text{ V}\end{aligned}$$

(a) Messwerte



(b) Franck-Hertz-Kurve

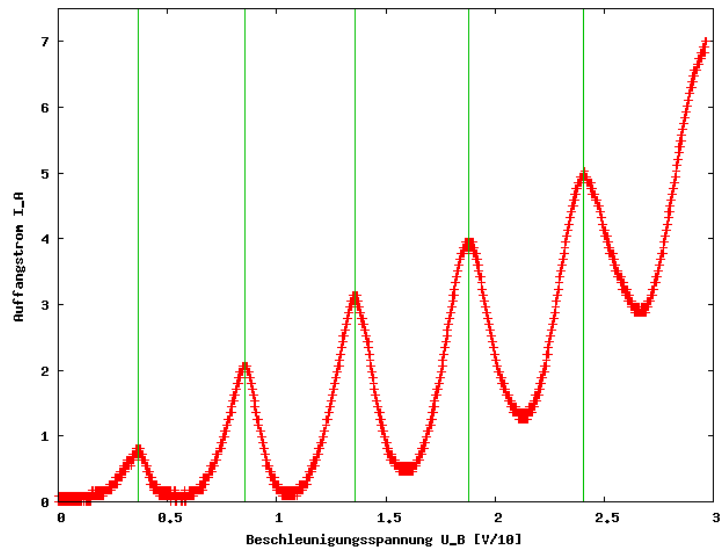
Abbildung 4: Messung bei $\vartheta=150^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\vartheta &= 140 \text{ } ^\circ\text{C} \\ U_1 &= 3,30 \text{ V} \\ U_3 &= 2,00 \text{ V} \\ U_H &= \text{max}\end{aligned}$$

n	U_n [V]	E_n [eV]	ΔE
1	3,68		
2	8,54	4,86	0,81 %
3	13,61	5,08	3,60 %
4	18,80	5,19	5,88 %
5	24,05	5,25	7,13 %

$$\begin{aligned}\bar{E} &= 5,09 \text{ eV} \\ \Delta\bar{E} &= 3,95 \text{ \%} \\ U_K &= 2,38 \text{ V}\end{aligned}$$

(a) Messwerte



(b) Franck-Hertz-Kurve

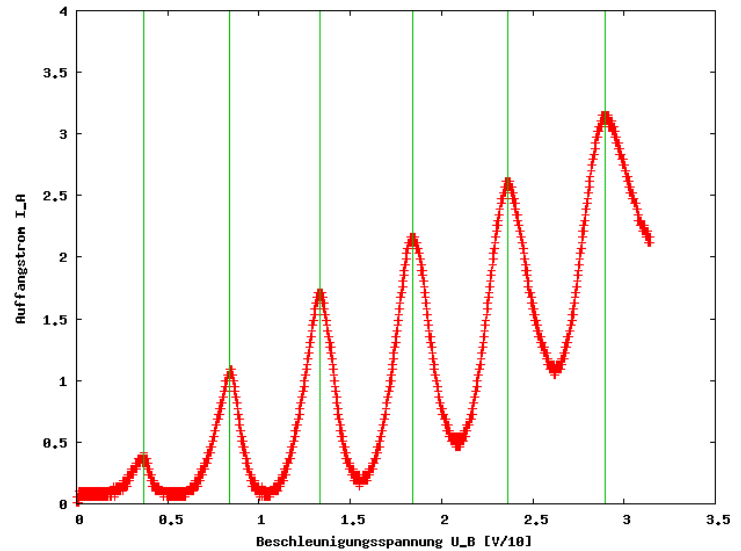
Abbildung 5: Messung bei $\vartheta=140^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \vartheta &= 120 \text{ } ^\circ\text{C} \\ U_1 &= 3,30 \text{ V} \\ U_3 &= 2,00 \text{ V} \\ U_H &= \text{max} \end{aligned}$$

n	U_n [V]	E_n [eV]	ΔE
1	3,68		
2	8,41	4,73	-3,38 %
3	13,35	4,93	0,69 %
4	18,42	5,08	3,60 %
5	23,64	5,21	6,37 %
6	28,95	5,31	8,40 %

$$\begin{aligned} \bar{E} &= 5,05 \text{ eV} \\ \Delta \bar{E} &= 3,14 \text{ \%} \\ U_K &= 2,42 \text{ V} \end{aligned}$$

(a) Messwerte



(b) Franck-Hertz-Kurve

Abbildung 6: Messung bei $\vartheta=120^\circ\text{C}$

Ich erhielt sehr gute Ergebnisse mit nur geringsten Abweichungen von den erwarteten Werten. Man erkennt jedoch, dass die Ergebnisse bei tieferen Temperaturen stärker abweichen, als die bei höheren Temperaturen. Die jeweilige Franck-Hertz-Kurve ist aber bei allen Teilversuchen gut erkennbar und lässt schön auf die Quantisierung der Energie rückschließen.

1.3 Raumladungsgesetz

Bei einer Temperatur von 150°C habe ich hier den Anodenstrom I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_2 gemessen. Durch logarithmische Auftragung erwartete ich, wie in der Vorbereitung beschrieben, das Raumladungsgesetz $I_A = \lambda \cdot U^{\frac{3}{2}}$ bestätigen zu können. Für die Regressionsgerade gilt:

$$\ln(I_A) = x \cdot \ln(U) + \ln(\lambda) \quad \Leftrightarrow \quad y = m \cdot x + c \quad (2)$$

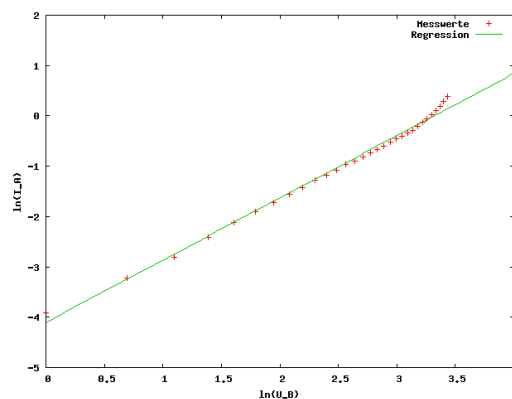


Abbildung 7: Messergebnis mit Regression zur Bestätigung des Raumladungsgesetzes

Es ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{aligned} \mathbf{m} &= \mathbf{1,23593 \pm 0,01842} & c &= -4,10409 \pm 0,04892 & \Rightarrow & \lambda = e^c \cdot 10^{-6} \text{ m} = 16,505 \text{ nm} \\ \mathbf{m_{theo}} &= \mathbf{1,5} & \Delta \mathbf{m} &= \mathbf{17,6\%} \end{aligned}$$

Die Abweichung von 17,6% gegenüber dem erwarteten Wert ist recht groß, liegt jedoch im tolerierbaren Bereich und das Raumladungsgesetz kann somit als bestätigt angesehen werden.

1.4 Ionisierungsarbeit von Quecksilber

In diesem Versuchsteil sollte die Ionisierungsenergie von Quecksilber auf zwei verschiedene Arten bestimmt werden. Zum Einen wurde der Anodenstrom gemessen, welcher bei eintretender Ionisation einen starken Anstieg aufweist. Zum Anderen zeichnete ich mithilfe von Picoscope eine Franck-Hertz-Kurve auf, die das erste Anregungsniveau noch erkennen lässt, bei der Ionisierungsenergie jedoch einen charakteristischen "Abriss" aufweist. Dazu wurde das Gegenfeld so weit erhöht, bis nur noch Hg^+ -Ionen ankommen konnten und sämtliche Elektronen zur Anode gelenkt wurden.

1.4.1 Methode A: Anodenstrom

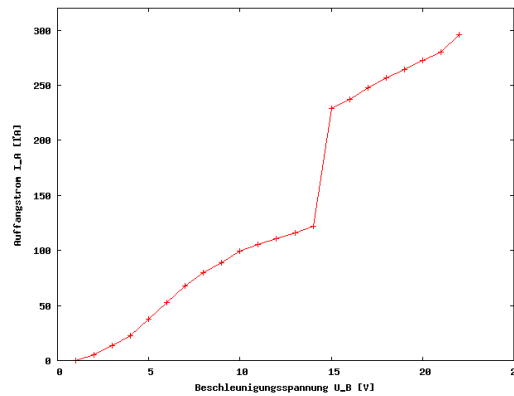


Abbildung 8: Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber mit Methode A

Man erkennt sehr gut den sprunghaften Anstieg des Anodenstroms zwischen den Messpunkten $U_{A1}=14\text{V}$ und $U_{A2}=15\text{V}$. Um die Ionisierungsenergie E_{Ion} zu ermitteln, berücksichtigen wir noch die in Kapitel 1.2 gemessene Kontaktspannung von $U_{K_{120^\circ\text{C}}}=2,42\text{V}$ bei $\vartheta = 120^\circ\text{C}$ und rechnen:

$$E_{\text{Ion}} = \frac{U_{A1} + U_{A2}}{2} - U_{K_{120^\circ\text{C}}} \cdot e = 12,08\text{eV} \quad (3)$$

$$E_{\text{Ion}}^{\text{theo}} = 10,44\text{eV} \quad \Delta E_{\text{Ion}} = 15,71\%$$

Der ermittelte Wert weist wieder eine gewisse Abweichung vom erwarteten Wert auf.

Mögliche Fehler sind durch die Spannungsquelle, sowie das Strommessgerät und Picoscope und natürlich durch die alternde Franck-Hertz-Röhre bedingt.

1.4.2 Methode B: Franck-Hertz-Kurve mit starkem Gegenfeld

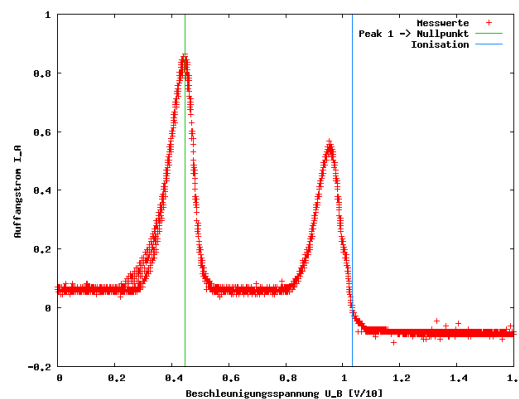


Abbildung 9: Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber mit Methode B

Betrachtet man nun zunächst den ersten Peak und verschiebt den Nullpunkt der x-Achse so, dass sein Wert dem Mittelwert der Anregungsenergien $\bar{E}_{150^\circ\text{C}} = 4,95\text{eV}$ bei 150°C aus Abschnitt 1.2 entspricht, so erhält man für die Ionisierungsenergie:

$$E_{Ion} = E_{150^\circ\text{C}} + (U_{Ion} - U_{Peak1}) \cdot e = (4,95 + 5,86)\text{eV} = 10,81\text{eV} \quad (4)$$

$$E_{Ion}^{theo} = 10,44\text{eV} \quad \Delta E_{Ion} = 3,51\%$$

1.5 Emissionslinien bei brennender Gasentladung

Hier habe ich mithilfe eines Taschenspektroskops die Emissionslinien einer brennenden Gasentladung beobachtet. Zu erkennen waren fünf Spektrallinien: rot, gelb, grün, blau und violett. Dabei ist die rote Linie auf die rot glühende Kathode zurückzuführen. Die Gasentladung leuchtete, mit bloßem Auge betrachtet, in einem blassen Blau.

2 Höhere Anregungsenergien

Ziel dieses Versuchsteils war es, höhere Anregungen des Quecksilbers zu erreichen. Wie in der Vorbereitung beschrieben, wurde dazu die Temperatur in der Röhre auf 120°C gesenkt und das Gitter G_1 zur Beschleunigung der Elektronen verwendet.

Es ergab sich folgendes Messergebnis:

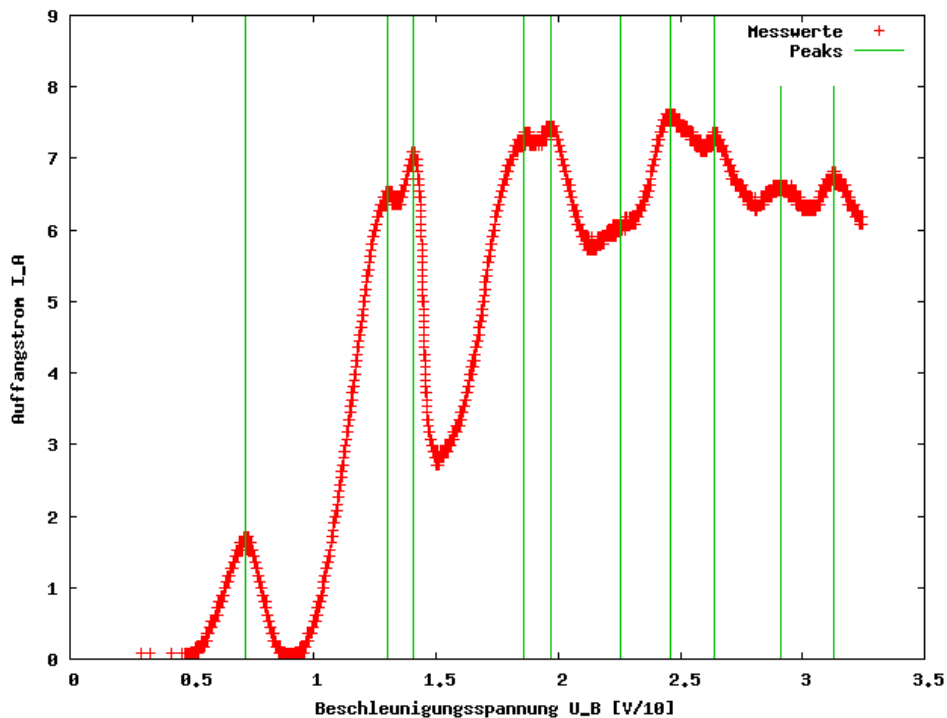


Abbildung 10: Höhere Anregungsenergien von Quecksilber

Betrachtet man nun den ersten Peak als den der ersten Anregung, so kann für ihn die in Abschnitt 1.2 ermittelte Energie von $\bar{E}_{120^\circ\text{C}} = 5,05\text{eV}$ angenommen werden. Dadurch ergibt sich hier eine Kontaktspannung von $U_K = 2,15\text{V}$. Erwartet wurde außerdem eine erste Anregungsenergie von $E_1^{theo} = 4,9\text{eV}$ und eine zweite von $E_2^{theo} = 6,7\text{eV}$. Da die Peaks im erhaltenen Diagramm bei Spannungswerten liegen, die aus Linearkombinationen von U_{E_1} und U_{E_2} hervorgehen, entspricht der zweite Peak gerade einer zweimaligen Anregung des ersten Niveaus und erst der dritte Peak einer einmaligen Anregung sowohl des ersten als auch des zweiten Niveaus. Dadurch ergibt sich für die zweite Anregungsenergie ein Wert von $E_2 = (U_{Peak3} - U_{E_1(120^\circ\text{C})} - U_K) \cdot e = 6,87\text{eV}$. Vom erwarteten Wert $E_2^{theo} = 6,7\text{eV}$ weicht dieser um $\Delta E_2 = 2,49\%$ ab.

Die im Folgenden dargestellten Messergebnisse sind bereits sämtlich um die Kontaktspannung $U_K=2,15\text{V}$ korrigiert.

Peak	E_{Peak} [eV]	f_1	f_2	E_{LK} [eV]	σ_{ELK}	$E_{\text{LK}}^{\text{theo}}$ [eV]	$\sigma_{E_{\text{Peak}}}^{\text{theo}}$	$\sigma_{E_{\text{LK}}}^{\text{theo}}$
1	5,05	1	0	5,05	0,00 %	4,90	3,04 %	3,04 %
2	10,86	2	0	10,11	6,97 %	9,80	9,79 %	3,04 %
3	11,92	1	1	11,92	0,00 %	11,60	2,69 %	2,69 %
4	16,44	3	0	15,16	7,75 %	14,70	10,56 %	3,04 %
5	17,54	2	1	16,97	3,24 %	16,50	5,94 %	2,79 %
6	20,42	4	0	20,21	1,02 %	19,60	4,03 %	3,04 %
7	22,42	3	1	22,03	1,74 %	21,40	4,54 %	2,85 %
8	24,26	2	2	23,84	1,73 %	23,20	4,37 %	2,69 %
9	26,95	4	1	27,08	0,50 %	26,30	2,40 %	2,88 %
10	29,11	3	2	28,89	0,74 %	28,10	3,47 %	2,75 %

Hierbei entsprechen f_1 und f_2 den Faktoren, mit denen E_1 und E_2 linear kombiniert wurden. Das Kürzel "LK" steht für "Linearkombination" und kennzeichnet diejenigen Werte, welche durch Linearkombination von E_1 und E_2 ermittelt wurden, bzw. deren Fehler.

Die ermittelten Werte entsprechen unter nur geringen Abweichungen den Erwartungen. Lediglich der bei Peak 4 gemessene Wert weicht in der Messung stark vom linear kombinierten Messwert und sehr stark vom erwarteten linear kombinierten Wert ab.

3 Franck-Hertz-Versuch mit Neon-Röhre

Abschließend sollte noch die Anregung von Neon demonstriert und die mittlere Anregungsenergie, wie in der Vorbereitung beschrieben, bestimmt werden. Wie erwartet konnte man sehr gut erkennen, wie bei Erhöhung der anliegenden Beschleunigungsspannung nacheinander mehrere rot leuchtende Fronten (insgesamt vier) entstanden und sich von der Anode zur Kathode bewegten. Das Oszilloskop gab uns folgendes Bild aus:

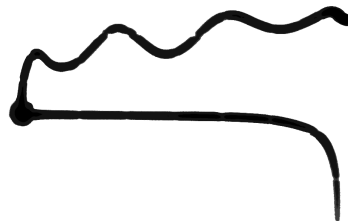


Abbildung 11: Foto der Franck-Hertz-Kurve von Neon
(Kontrast erhöht, Helligkeit vermindert, Negativ)

Unter Berücksichtigung der Einstellungen des Oszilloskops erhielten wir folgende Spannungsdifferenzen, gemessen jeweils von Maximum zu Maximum:

$$U_{\text{Peak1} \leftrightarrow \text{Peak2}} = 17,50\text{V} \quad U_{\text{Peak2} \leftrightarrow \text{Peak3}} = 24,00\text{V}$$

Aus deren Mittelwert und der in der Aufgabenstellung gegebenen Kontaktspannung von $U_K=2,5\text{V}$ ergibt sich die mittlere Anregungsenergie von Neon zu:

$$U_{\text{mittl. Anr.}} = \frac{U_{\text{Peak1} \leftrightarrow \text{Peak2}} + U_{\text{Peak2} \leftrightarrow \text{Peak3}}}{2} - U_K = 18,25\text{V} \quad \Rightarrow \mathbf{E_{\text{mittl. Anr.}} = 18,25\text{eV}}$$

$$E_{\text{mittl. Anr.}}^{\text{theo}} = 18,6\text{eV} \quad \Delta E_{\text{mittl. Anr.}} = 1,88\%$$

Das Messergebnis entspricht den Erwartungen und weicht nur sehr gering vom Literaturwert ab.