

PHYSIKALISCHES GRUNDPRAKTIKUM

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Protokoll

«A2 - Elektronenstossversuch nach FRANCK-HERTZ»

Martin Wolf

<martin.wolf@hrz.tu-chemnitz.de>

Betreuer: Dr. Deyerl

Mitarbeiter: Martin Helfrich

Datum: 24.03.2006

8:00 Uhr bis 12:00 Uhr

Unterschrift, Martin Wolf

1 Aufgabenstellung

1. Stellen Sie die FRANCK-HERTZ-Kurve für Quecksilber auf dem Elektronenstrahloszillographen dar.
2. Bestimmen Sie die Anregungsenergie für Quecksilber und Neon aus der FRANCK-HERTZ-Kurve.

2 Theoretische Grundlagen

Die Atome oder Moleküle eines verdünnten Gases (Hg-Dampf) werden mit Elektronen beschossen und deren Energieverteilung vor und nach dem Stoß bestimmt. Sind die Stöße elastisch, so ändert sich diese Energieverteilung auf Grund des extremen Massenunterschiedes der Stoßpartner nach dem Stoß nicht. Bei unelastischen Stößen verlieren die Elektronen dagegen zum Teil ihre Energie, sie geben diese an die gestoßenen Atome ab, d.h., die Energieverteilung ändert sich diskret.

Elektronen, die aus der Katode (K) (vgl. Abbildung 1) austreten, werden in einer gasgefüllten Elektronenröhre durch ein elektrisches Feld (Beschleunigungsspannung U_B) zu einer gitterförmigen Anode (A) hin beschleunigt und stoßen dabei mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit den Gasatomen zusammen. Zum Detektor (D) gelangen von den durch die gitterförmige Anode geflogenen Elektronen jedoch nur die, deren Energie größer ist als das angelegte Gegenpotential (Gegenspannung U_G) und können als Detektorstrom I_D registriert werden.

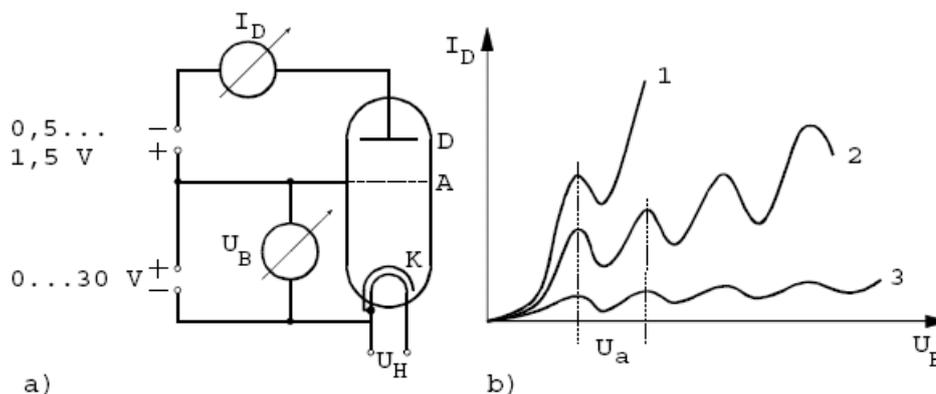


Abbildung 1: a) Schematischer Versuchsaufbau; b) FRANCK-HERTZ-Kurven

Durch Erwärmen der Röhre kann der Dampfdruck so eingestellt werden, dass die mittlere freie Weglänge der Elektronen klein gegenüber dem Abstand Katode-Anode wird. Bei elastischen Stößen von Elektronen und Atomen bzw. Molekülen wird praktisch keine Energie übertragen, da die Masse der Elektronen dazu viel zu gering ist. Haben die Elektronen

jedoch eine bestimmte, für jedes Atom/Molekül charakteristische Mindestenergie erreicht, so können sie bei einem Stoß das Atom bzw. das Molekül anregen. Die kinetische Energie der Elektronen wird dabei in innere Energie der Atome/Moleküle umgewandelt. Der Stoß wird dann als inelastisch bezeichnet. Ein angeregtes Atom/Molekül gibt die aufgenommene Energie kurze Zeit ($\sim 10^{-8}\text{s}$) später in Form eines Photons wieder ab.

Bei kontinuierlicher Erhöhung der Beschleunigungsspannung treten inelastische Stöße erstmals unmittelbar vor der Anode auf, da die Elektronen erst hier ihre maximale kinetische Energie erreichen. Nach dem Stoß reicht die Energie der Elektronen nicht mehr aus, um das Gegenpotential zu überwinden, der Detektorstrom sinkt dadurch stark ab. Bei weiterer Erhöhung von U_B verschiebt sich dieser Anregungsbereich zunehmend in Richtung Kathode, die Elektronen können auf dem Weg zur Anode wieder kinetische Energie aufnehmen, sodass der Detektorstrom wieder ansteigt. Bei genügend hoher Beschleunigungsspannung können dann die Elektronen das Atom bzw. das Molekül ein weiteres Mal kurz vor der Anode anregen und so fort.

Die $I_D(U_B)$ -Kennlinie der Röhre zeigt also periodische Schwankungen, wobei der Abstand (U_A) zwischen den Minima bzw. den Maxima der I_D -Werte der Anregungsenergie E_A der Atome bzw. Moleküle entspricht.

Die angeregten Atome gehen unter Lichtaussendung wieder in den Grundzustand über. Die Frequenz ν des abgestrahlten Lichtes kann mit Hilfe von Gleichung 1 bestimmt werden.

$$e \cdot U_A = E_A = h \cdot \nu \quad (1)$$

Für die Wellenlänge des emittierten Lichtes gilt dann:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot U_A} \quad (2)$$

3 Durchführung des Experimentes – Messwerte

Alle Messungen wurden mit dem CASSY-Messsystem vorgenommen. Die Messwerttabellen zeigen somit nur einen ausgewählten Teil aller aufgenommenen Messwerte. Auf Grund der hohen Zahl an Messwerten wurde in den Diagrammen darauf verzichtet die Messpunkte darzustellen, da sonst nur eine breite „Messpunktlinie“ zu sehen wäre.

3.1 FRANCK-HERTZ-Kurve von Quecksilber

Zunächst soll die FRANCK-HERTZ-Kurve für Quecksilber bei zwei verschiedenen Gastemperaturen aufgenommen werden. Die Tabellen 1 und 2 zeigen die dafür aufgenommenen Messwerte.

U_B/V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_D/\mu A$	0,63	0,70	0,80	0,83	0,83	0,80	0,80	0,80	0,88	1,10
U_B/V	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I_D/\mu A$	1,51	1,60	1,27	1,25	1,60	2,30	2,25	1,27	1,35	1,98
U_B/V	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$I_D/\mu A$	3,03	2,88	1,80	1,48	1,98	3,00	2,90	1,95	1,70	2,05
U_B/V	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$I_D/\mu A$	2,88	3,20	2,78	2,35	2,40	2,27	3,28	3,23	2,97	2,93

Tabelle 1: Messwerte – FRANCK-HERTZ-Kurve von Quecksilber bei $T = 130^\circ C$

U_B/V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_D/\mu A$	0,80	0,88	0,95	0,95	0,95	0,93	0,93	0,95	0,97	1,00
U_B/V	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I_D/\mu A$	1,02	1,05	1,05	1,07	1,32	1,77	1,25	1,05	1,23	1,77
U_B/V	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$I_D/\mu A$	2,27	1,40	1,10	1,30	2,05	2,67	1,77	1,20	1,50	2,20
U_B/V	31	32	33	34	35	36	37			
$I_D/\mu A$	2,80	1,93	1,35	1,55	2,27	2,67	1,80			

Tabelle 2: Messwerte – FRANCK-HERTZ-Kurve von Quecksilber bei $T = 154^\circ C$

3.2 FRANCK-HERTZ-Kurve von Neon

Neben der FRANCK-HERTZ-Kurve für Quecksilber soll nun auch diese für Neon aufgenommen werden. Die Messwerte sind in der Tabelle 3 zu sehen.

Dabei war bei hohen Beschleunigungsspannungen ($\approx 60\text{-}70\text{V}$) ein oranges Glühen und zwei dunkle Zonen zwischen der Kathode und der Anode zu beobachten, wobei sich jeweils beim Auftreten eines Minimums in der Messkurve eine helle und beim Auftreten eines Maximums eine dunkle Zone bildete. Dabei entstand das erste Leuchten ungefähr beim Auftreten des ersten Minimums in der Kurve an der Anode. Die Hell- und Dunkelzonen wanderten von der Anode hin zur Katode.

U_B/V	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$I_D/\mu\text{A}$	1,05	1,40	1,88	2,33	2,45	2,63	3,42	4,75	6,33	7,53
U_B/V	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
$I_D/\mu\text{A}$	8,80	8,88	7,72	6,30	5,28	5,90	7,45	9,32	11,20	13,32
U_B/V	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
$I_D/\mu\text{A}$	14,03	13,03	11,00	9,05	8,72	9,53	11,05	13,20	15,35	17,18
U_B/V	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
$I_D/\mu\text{A}$	17,68	17,13	16,13	15,32	14,95	15,40	16,38	17,90	19,32	19,90

Tabelle 3: Messwerte – FRANCK-HERTZ-Kurve von Neon bei $T = 26^\circ\text{C}$

4 Auswertung

4.1 FRANCK-HERTZ-Kurve von Quecksilber

In den Abbildungen 2 und 3 sind die FRANCK-HERTZ-Kurven von Quecksilber für die untersuchten Temperaturen zu sehen.

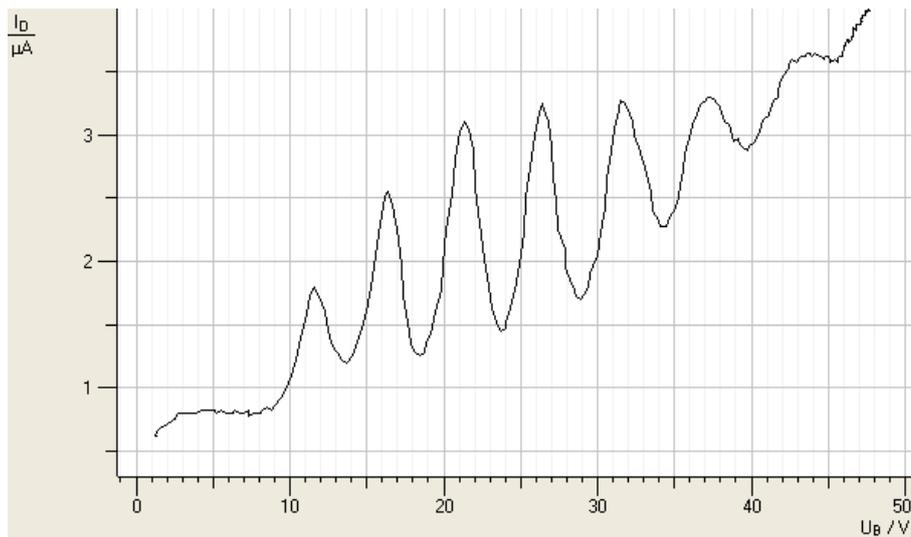


Abbildung 2: FRANCK-HERTZ-Kurve von Quecksilber bei $T = 130^\circ\text{C}$

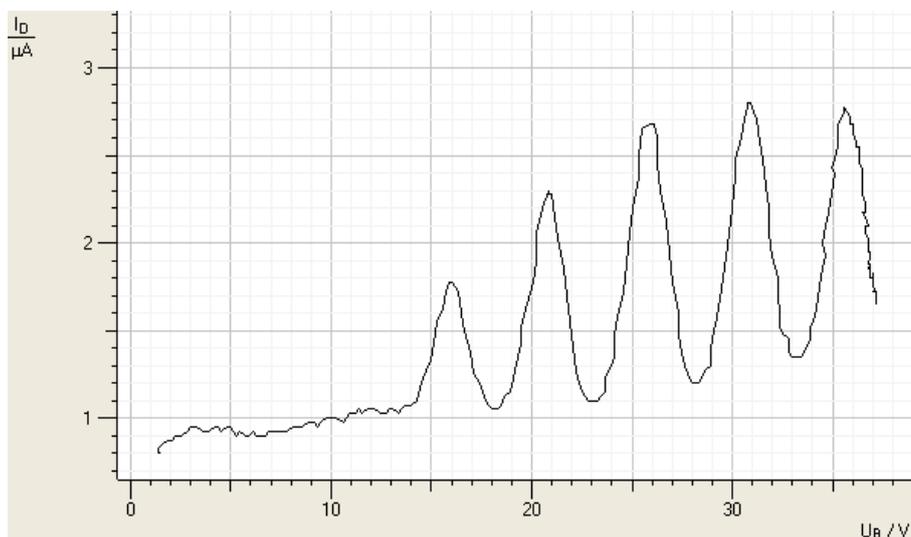


Abbildung 3: FRANCK-HERTZ-Kurve von Quecksilber bei $T = 154^\circ\text{C}$

Aus den Abbildungen 2 und 3 lässt sich nun mittels den deutlich erkennbaren Maxima die Anregungsenergie von Quecksilber bestimmen. Der mittlere Abstand der Maxima beträgt $\Delta U = 5,03\text{V}$. Daraus ergibt sich die Energie für diesen Übergang und die Wellenlänge der emittierten Strahlung zu:

$$E = 5,03\text{eV}$$

$$\lambda = 246,49\text{nm}$$

Dabei handelt es sich um den Übergang $^3P_1 \rightarrow ^1S_0$

4.2 FRANCK-HERTZ-Kurve von Neon

Die Abbildung 4 zeigt die FRANCK-HERTZ-Kurve von Neon bei Zimmertemperatur.

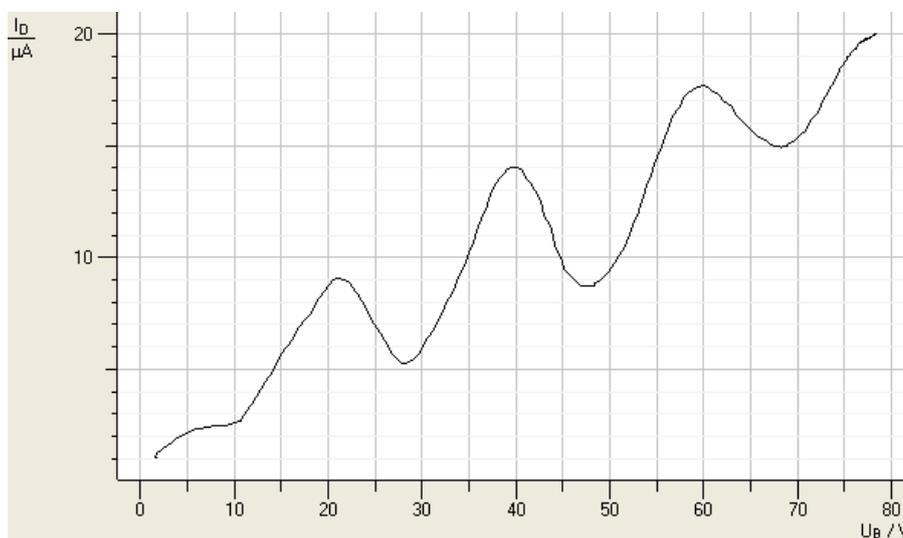


Abbildung 4: FRANCK-HERTZ-Kurve von Neon bei $T = 26^\circ\text{C}$

Aus der Abbildung 4 lässt sich nun mittels den deutlich erkennbaren Maxima die Anregungsenergie von Neon bestimmen. Der mittlere Abstand der Maxima beträgt $\Delta U = 19,5\text{V}$. Daraus ergibt sich die Energie für diesen Übergang und die Wellenlänge der emittierten Strahlung zu:

$$E = 19,5\text{eV}$$

$$\lambda = 63,58\text{nm}$$

Bei diesem Teilversuch wurde rötliches Leuchten und zwei Dunkelzonen beobachtet. Das rötliche Leuchten ist mit einem einfachen Rücksprung in den Grundzustand auf Grund der extrem kurzen Wellenlänge (Röntgenstrahlung) nicht zu erklären. Möglich ist, dass

der Übergang in den Grundzustand über mehrere strahlungslose und eine optische Stufe verläuft, wobei der entsprechende optische Übergang (oder auch mehrere) dann für die Aussendung des sichtbaren Lichtes verantwortlich wäre. Die beiden Dunkelzonen entstehen dadurch, dass die Elektronen zuerst in Richtung Anode beschleunigt werden. Wenn sie genügend Energie erhalten haben, um die Neon-Atome anzuregen, führen sie inelastische Stöße mit diesen aus und ein gewisser Bereich in der Röhre beginnt zu leuchten. Nach dem inelastischen Stoß müssen die Elektronen erst im elektrischen Feld eine gewisse Strecke zurücklegen, bis sie wieder ein Neonatom anregen können. Auf dieser Strecke stoßen sie nur elastisch mit den Neon-Atomen zusammen, sodass dort eine Dunkelzone entsteht. Das Entstehen von zwei Hell- und Dunkelzonen ist damit zu erklären, dass bei hohen Beschleunigungsspannungen die Elektronen auf dem kurzen Weg zur Anode zweimal die Möglichkeit haben, Neon-Atome anzuregen. Die Breite der Zonen kommt dadurch zu Stande, dass die Elektronen den Weg zur Anode nicht geradlinig, sondern durch die elastischen Stöße auf Zickzack-Bahnen (BRAUN'sche Bewegung) durchlaufen, sodass manche früher und manche später die entsprechende Energie, die sie zur Anregung der Neon-Atome brauchen, aufnehmen.

5 Zusammenfassung

5.1 Quecksilber

Die Energie des ersten angeregten Zustandes des Quecksilberatoms wurde in diesem Experiment zu $E = 5,03\text{eV}$ bestimmt. Der Literaturwert ist $4,9\text{eV}$, was mit diesem Experiment gut reproduziert werden konnte. Das hier emittierte Licht besaß eine Wellenlänge von $\lambda = 246,49\text{nm}$, das im ultravioletten Spektralbereich liegt und somit nicht sichtbar war.

5.2 Neon

Die Anregungsenergie von Neon wurde in diesem Experiment zu $E = 19,5\text{eV}$ bestimmt. Die zugehörige Wellenlänge beträgt dabei $\lambda = 63,58\text{nm}$. Da trotzdem rötliches Leuchten beobachtet wurde, traten beim Rückspringen der angeregten Elektronen des Neons, wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, Anregungszwischenstufen auf.