



SS/WS 20.12./.....

Praktikum: (P1/P2) (Mo/Di/Mi/Do) Gruppe-Nr: 02

Name: Koppenhöfer Vorname: Martin

Name: Eisenhardt Vorname: Sebastian

Versuch: Frank-Hertz-Versuch (mit/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: Malte Langenhorst Durchgeführt am: 2.7.2012

Abgabe am: 04. JULI 2012

Rückgabe am: .....

Begründung:

2. Abgabe am: .....

Ergebnis: (+ / 0 / -)

Fehlerrechnung: ja / nein

Datum: 10.07.2012

Handzeichen: M.L.

Bemerkungen:



**Versuch P2-53,54,55:**

**Franck-Hertz-Versuch**

**Raum F1-13**

Der Franck-Hertz-Versuch (1913/14) ist eine wesentliche experimentelle Stütze für die Bohrsche Atomtheorie (1913). Allerdings wurde der Versuch zunächst nicht mit dieser Zielsetzung ausgeführt und einige Ergebnisse ihrer Elektronenstoßversuche wurden von James Franck und Gustav Hertz anfangs sogar falsch interpretiert. Die Experimente waren aber so ausgezeichnet, daß Franck und Hertz im Jahre 1925 dafür den Nobelpreis erhielten. Auf den ersten Blick erscheint der Versuch sehr einfach. Beim genaueren Hinsehen wird jedoch klar, wieviel experimentelle und gedankliche Sorgfalt nötig ist, um zu verlässlichen Ergebnissen zu kommen. Der Aufgabentext enthält Fragen, über die Sie sich schon bei der Vorbereitung Gedanken machen sollen.

**1.1 Bauen Sie die Schaltung der Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre mit dem Betriebsgerät auf. Diskutieren Sie die Schaltung in allen wesentlichen Einzelheiten.** Eine Prinzipschaltplanskizze finden Sie als Figur 3 in der Vorbereitungshilfe. Für die Beschleunigungsspannung an der Anode kann wahlweise eine Sägezahnspannung (0-30V) zur oszillographischen Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve, eine lineare Rampe für die Aufzeichnung der Kurve als Einmalereignis mit dem Speicheroszillographen oder eine über ein Potentiometer einstellbare Gleichspannung für eine punktweise Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve verwendet werden. Die im Schaltplan eingezeichneten Widerstände zwischen den Röhrenelektroden und ihren Anschlußbuchsen sind im Röhrengehäuse (Ofen) fest eingebaut.

**1.2 Messen Sie die Energie für die niedrigste beobachtbare Anregung von Quecksilber durch Elektronenstoß. Bestimmen Sie außerdem die Größe der Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode.** Schalten Sie die Kathodenheizung ein (Lassen Sie sie eingeschaltet, solange die Röhre heiß ist!) und heizen Sie dann mit der Ofenheizung die Röhre auf etwa 170°C auf. Die Kontrolleuchte wird grün, wenn die Solltemperatur erreicht wird. **Vermeiden Sie, die Röhre jemals über 190°C zu erhitzen.** Ermitteln Sie durch oszillographische Beobachtung bei verschiedenen Temperaturen (etwa 170, 160, 150, 140, 120°C) die günstigsten Betriebsbedingungen (Kathodenheizung, Spannung am Raumladungsgitter, Gegenspannung). Begründen Sie qualitativ den Einfluß dieser Parameter auf die Form der Franck-Hertz-Kurve. Nehmen Sie jeweils die optimale Franck-Hertz-Kurve mit Hilfe des Speicheroszilloskops auf. Beachten Sie die Unterschiede zwischen den Bildern bei durchlaufender Rampe und beim Einmalvorgang. Diskutieren Sie das Zustandekommen der typischen Franck-Hertz-Kurve. Bestimmen Sie aus den aufgezeichneten Daten (Eichung der x-Achse!) die Energie für die niedrigste beobachtbare Anregung von Quecksilber durch Elektronenstoß.

**1.3 Nehmen Sie bei etwa 150°C mit Hilfe eines empfindlichen Strommeßinstruments in der Anodenleitung eine Anodenstromkurve  $I_{g2} = f(U_{g2})$  auf. Überprüfen Sie durch geschickte Auftragung die erwartete  $U^{3/2}$ -Abhängigkeit (Raumladungsgesetz).** Warum zeigt die Anodenstromkurve keinerlei 'Franck-Hertz-Form'?

**1.4 Bestimmen Sie aus diesen Graphen die Ionisierungsarbeit von Quecksilber auf zwei Arten:**

- (a) Messen Sie mit dem Multimeter den Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung und
- (b) Plotten Sie den Auffängerstrom mit Hilfe des Oszillographen.

Stellen Sie für Stoßionisation günstige Betriebsbedingungen ein. Um deutliche Effekte zu erhalten, muss das Raumladungsgitter  $G_1$  anstatt des Anodengitters  $G_2$  verwendet werden (wie bei Aufgabe 2).

**1.5 Beobachten Sie mit einem Taschenspektroskop die im Bereich des sichtbaren Lichts liegenden Emissionslinien bei brennender Gasentladung.** Lassen Sie eine ständige Gasentladung zünden. Es besteht dabei keine Gefahr für die Apparatur. Der 10k $\Omega$ -Widerstand in der Anodenleitung begrenzt den Strom. Hätte man eigentlich den Spannungsabfall an diesem Widerstand bei den vorangegangenen Aufgaben berücksichtigen müssen?

**2. Bestimmen Sie die Energie für die nächsthöhere Anregung von Quecksilber.** Benutzen Sie die Schaltung gemäss 1.4, so daß die Wahrscheinlichkeit für das Erreichen und für die Beobachtbarkeit höherer Anregungsenergien erheblich vergrößert wird (siehe S.6 der Vorbereitungshilfe). Suchen Sie günstige Betriebsbedingungen auf (oszillographische Beobachtung) und drucken Sie eine Franck-Hertz-Kurve, aus der Sie auf die zweitniedrigste Anregungsenergie schließen können. Die Struktur dieser Kurve wird im

Wesentlichen nur durch Linearkombinationen der beiden niedrigsten Anregungsenergien bestimmt. Weitere Anregungsenergien sind bestenfalls schwach angedeutet. Das Ergebnisbild ist ähnlich zu aber nicht identisch mit Bild 7 in der Vorbereitungshilfe, das mit einer ganz anderen Röhre gewonnen wurde. Hg-Franck-Hertz-Röhren weisen erhebliche Fertigungstoleranzen auf und altern sehr unterschiedlich. Es ist deshalb möglich, daß bei den drei Franck-Hertz-Versuchen unterschiedlich gut ausgeprägte Kurven erreicht werden. Besonders deutlich werden die Unterschiede bei dieser Aufgabe. Nötigenfalls müssen Sie hier die Ergebnisse einer Nachbargruppe für die Auswertung benutzen.

### 3. Bestimmen Sie die mittlere Energie für die hauptsächliche Anregung von Neon durch Elektronenstoß aus einer oszillographisch dargestellten Franck-Hertz-Kurve.

„Mittlere“ steht hier, weil es sich um eine Gruppe von Niveaus handelt, die in einem etwa 0,5 Elektronenvolt breiten Energiebereich liegen. Das zugehörige emittierte Licht ist rot. Bei Erhöhung der Beschleunigungsspannung kann man die Vermehrung und die Verlagerung von Leuchtschichten im Beschleunigungs- und Stoßraum beobachten. Eine spezielle Röhre mit indirekter Kathodenheizung und planparalleler Elektrodenanordnung sowie mit Neon-Füllung wird benutzt. Die Kontaktspannung zwischen BaO-Kathode und Metallanode mindert die angelegte Spannung um etwa 2,5V. Die Schaltung entspricht der der Hg-Röhre. Die Ne-Röhre ist für alle drei Franck-Hertz-Versuche zusammen nur einmal vorhanden. Es wird aber nur wenig Zeit für diesen Teilversuch benötigt, weil die Schaltung fertig aufgebaut ist und Wartezeiten für das Aufheizen oder Abkühlen entfallen. Hätte bei dieser Röhre das Heizen einen Sinn? Was würde sich dabei ändern und was nicht? Wenn ein besonderes Interesse daran besteht, können auch hier Kurven mit dem Speicheroszilloskop aufgezeichnet werden. Die Röhre soll nicht in modifizierten Schaltungen (wie bei Aufgabe 2) betrieben werden.

#### Zubehör:

**Koaxiale Franck-Hertz-Tetrode:** mit einem Tropfen Quecksilber im Innern (max. Heizstrom der indirekt geheizten BaO-Kathode: 0,4A, Abstand K-G<sub>1</sub>: ca. 0,5mm, K-G<sub>2</sub>: ca. 6mm), eingebaut in einen Heizofen mit einstellbarem Thermostat, Sichtfenstern, NiCr-NiThermofühler, Schutzwiderständen und Anschlussbuchsen..

**Betriebsgerät zur Franck-Hertz-Röhre:** bis zum erlaubten Grenzwert einstellbare Heizspannung für die Kathode (6.4 V), bis 5V einstellbare Gleichspannung für das Raumladungsgitter, deren Minuspol mit einem Pol der Heizstromquelle verbunden ist, eine bis 30V einstellbare Gleichspannung, eine lineare Rampe bis 30 V und eine bis 30V Spitzenwert Sägezahnspannung alternativ als Beschleunigungsspannung  $U_B$ ; bis 10V einstellbare Gleichspannung für das Gegenfeld. Ausgabebuchsen für  $U_B/10$  und  $U_A$ , eine dem Auffängerstrom proportionale Spannung ( $1V \approx 1nA$ ).

**USB-Oszilloskop (Picoscope) mit Computer;**

**Tischmultimeter** (GW-Instek GDM-8245);

**Taschenspektroskop** mit Stativ;

**Franck-Hertz-Tetrode mit Neon-Füllung** (mit Lichtschutzgehäuse, Sichtfenster, Sockelplatte mit Anschlußbuchsen, 10k $\Omega$ -Schutz-R in der Anodenleitung, maximaler Anodenstrom 5 $\mu$ A, planparallele Elektroden, K-A-Abstand ca. 7mm) und **Betriebsgerät** (regelbarer Heizstrom; wahlweise Gleich- oder Sägezahnspannung, einstellbar bis 70V, für die Beschleunigung; einstellbare Sägezahnspannung für die X-Ablenkung des Oszillographen; Verstärker für den Auffängerstrom); **Zusatzbetriebsgerät** (feste Gleichspannung für das Raumladungsgitter, auch Steuergitter genannt; bis 10V einstellbare Gleichspannung für das Gegenfeld).

#### Literatur:

Hermann (Hsg.): Dokumente der Naturwissenschaft, Abt. Physik, Band 9, *Die Elektronenstoßversuche von Franck und Hertz* (Orig.texte)

DeGroot, Penning: Handb.d.Phys. (Hsg. Geiger/Scheel), Band 23/1 (1933), Kap.2, (Übersichtsartikel)

Haken, Wolf: *Atom- und Quantenphysik*, Kap. 'Anregung von Quantensprüngen durch Stoß'

Finkelburg: *Einf. in die Atomphysik*, Kap. 'Anregung von Quantensprüngen durch Stöße'

Schpolski: *Atomphysik*, Band 1, Kap. 'Energieniveaus der Atome'

dtv-Atlas zur Atomphysik, Abschnitt 'Meßmethoden / Messung von Anregungsenergien'

Fa. NEVA: 'Franck-Hertz-Versuch mit Neon' (am Platz vorhanden)

Jüngst: Vorbereitungshilfe zum Franck-Hertz-Versuch

# Physikalisches Praktikum P2

## Vorbereitung zum

# Franck-Hertz-Versuch

### (P2-53)

Sebastian Eisenhardt, Martin Koppenhöfer - Gruppe Mo-2

2. Juli 2012

## 1 Einführende Versuche

In den folgenden Versuchen werden wir zeigen, dass Atome (im Gegensatz zum klassischen Modell der Elektronenhülle) nur diskrete Energieniveaus besitzen. D.h., dass sie nur bestimmte Energiedifferenzen zwischen zwei Niveaus (bspw. durch Elektronenstoß) aufnehmen bzw. abgeben können. Im Gegensatz zu anderen Experimenten erfolgt der Nachweis nicht optisch.

### 1.1 Versuchsaufbau und Beobachtung

Die Versuchsröhre ist prinzipiell wie in Abb. 1 aufgebaut. Sie ist mit gasförmigen Quecksilber bei geringem Druck gefüllt und besitzt eine Elektronen emittierende Kathode. **G1** ist ein anodisch, grobmaschiges Gitter, welches den Zweck erfüllt, die Raumladung im Bereich der Kathode zu verringern und die Elektronen in Richtung von **G2** zu beschleunigen. Wir regeln dadurch den Elektronenstrom. **G2** ist eine feinmaschigere Anode, die die Elektronen weiter beschleunigt. Da sie zusammen mit dem negativen Auffänger **A** ein Gegenfeld aufbaut, kann **G2** nur von Elektronen höherer Energien passiert werden. Diese Elektronen werden im Gegenfeld abgebremst. Besitzen sie genügend Energie, so können sie auf **A** auftreffen und einen messbaren Strom  $I_A$  verursachen.

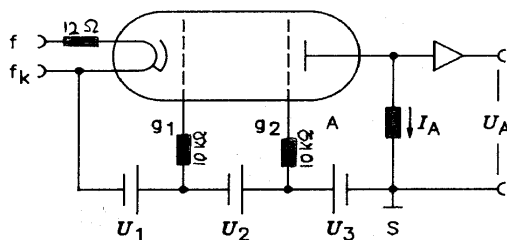


Abbildung 1: Aufbau der Franck-Hertz-Röhre. (aus: [2], S.2)

Im Raum zwischen **G1** und **G2** kommt es bei Elektronen und Hg-Atomen nun zu inelastischen und elastischen Stößen miteinander, bei denen die Elektronen diskrete Anteile bzw. kaum Energie an die Atome abgeben. Die Energie der Elektronen wird dabei durch die angelegte Beschleunigungsspannung  $U$  beeinflusst. Für niedrige Spannungen stoßen die Elektronen lediglich elastisch, da sie noch nicht genügend Energie zur Anregung der Gasatome besitzen. Aufgrund steigender Energien können immer mehr Elektronen **A** erreichen und man misst so mit wachsendem  $U$  einen steigenden Strom  $I_A$ . Überschreitet die Spannung jedoch einen gewissen Punkt, so können die Atome angeregt werden, wodurch die Elektronen einen diskreten Anteil ihrer Energie verlieren und **A** durch das Gegenfeld nicht mehr erreichen können. Als Folge bricht  $I_A$  ein und wächst erst wieder bei höheren  $U$  an, bis die Elektronen genügend Energie besitzen um ein weiteres mal einen inelastischen Stoß auszuführen.

## 1.2 Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve

Trägt man nun  $I_A$  über  $U$  auf (s. Abb. 2), so erkennt man zwischen den Maxima gleichmäßige Abstände  $\Delta U$ . Hierdurch kann auf die Abstände der Energieniveaus des Quecksilbers geschlossen werden. Zur Bestimmung der Kontaktspannung  $U_{\text{Kontakt}}$  zwischen Kathode und Anode bestimmen wir  $\Delta U$  und subtrahieren es von der Spannung  $U_1$  bei der das erste Maximum auftritt:

$$U_{\text{Kontakt}} = U_1 - \Delta U$$

Um die wahren Anregungsenergien von Quecksilber zu berechnen, müssen alle aufgenommenen Beschleunigungsspannungen um die Kontaktspannung korrigiert werden.

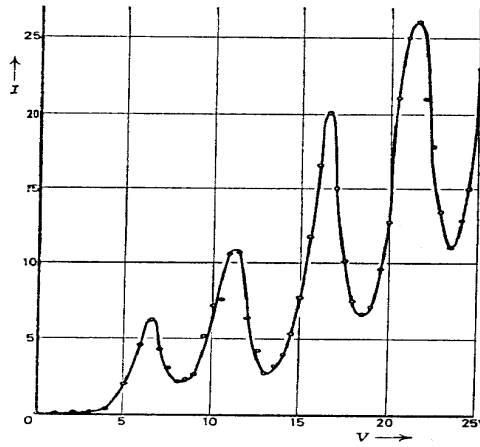


Abbildung 2: Auftragung von  $I_A$  über  $U$ . (aus: [2], S.1)

Quecksilber ist bei Raumtemperatur flüssig (Siedepunkt  $356,6\text{ °C}$ )<sup>1</sup>, d.h. die Röhre muss geheizt werden um gasförmiges Quecksilber zu erzeugen. Um den Versuchsaufbau jedoch nicht zu hoher Temperatur auszusetzen ist die Röhre teilvakuiert. Dadurch sinkt die Siedetemperatur und es gehen mehr Quecksilber-Moleküle in die gasförmige Phase über. Die erhöhte Temperatur verkürzt ebenfalls die mittleren Weglänge  $\lambda$  der Elektronen zwischen zwei Atomstößen infolge der stärkeren Molekularbewegung der Atome, wie man an Fig. 5 in [2] erkennen kann. Es gilt:

$$\lambda = \frac{kT}{p\sigma}$$

wobei  $T$  die Temperatur,  $p(T)$  der Dampfdruck von Quecksilber bei  $T$  und  $k$  die Boltzmannkonstante sind.  $\sigma$  entspricht der Querschnittsfläche eines Quecksilberatoms welche laut [2]  $\sigma \approx 8 \cdot 10^{-16}\text{ cm}^2$  beträgt.

Bei Raumtemperatur wäre  $\lambda$  so groß, dass keine Stöße stattfinden würden, bei zu hohen Temperaturen (ca.  $200\text{ °C}$ ) jedoch zu kurz, sodass zuviele elastische Stöße das Messergebnis beeinflussen würden. Die Messungen finden daher im Temperaturbereich zwischen  $120$  und  $170\text{ °C}$  statt. Durch oszillographische Betrachtung können wir eine Feinjustierung der Einstellungsparameter (Spannungen an Kathodenheizung, G1 und der Gegenspannung) anhand der Form der Franck-Hertz Kurve durchführen.

Die oszillographische Betrachtung der Franck-Hertz-Kurve findet durch Anlegen einer Sägezahnspannung als Beschleunigungsspannung statt.

## 1.3 Messung des Anodenstroms $I_{g2}$

Wir wollen den Zusammenhang zwischen Beschleunigungsspannung  $U$  und dem Anodenstrom  $I_{g2}$  über das (modifizierte) Raumladungsgesetz überprüfen. Hierzu nehmen wir bei  $T = 150\text{ °C}$   $I_{g2}$

<sup>1</sup>aus: [4], Anhang Periodensystem (physikalische Eigenschaften)

über ein empfindliches Strommessinstrument auf. Es soll gelten:

$$I_{g2} \approx \lambda U^{\frac{3}{2}}$$

Da die Elektronen zur Anode G2 hin beschleunigt werden und dort vor allem die langsamen Elektronen auftreffen, würde ein Kurvenverlauf, der der Franck-Hertz-Kurve ähnelt (Gegenfeld), keinen Sinn machen.

#### 1.4 Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Die Energie, die das beschleunigte Elektron benötigt, um ein Atom zu ionisieren (laut [2] 10,44 eV), liegt um einiges höher als die benötigte Energie zur Anregung. Daher muss das Elektron vor einem ersten Stoß hinreichend beschleunigt werden, weswegen wir das Raumladungsgitter G1 mit einer hohen Spannung zur Beschleunigung verwenden. Die positiven Ionen entstehen nun in Kathodennähe sowie im Gegenfeld. In Kathodennähe setzen sie die Raumladung weiter herab, sodass mehr Elektronen nachfließen. Diese treffen teilweise auf G2 und verursachen dort den zu messenden, steigenden Anodenstrom.

Im Gegenfeld werden die positiven Ionen dagegen zu A hin beschleunigt und verursachen dort einen dem Elektronenstrom entgegengesetzten Auffängerstrom. Über diesen lässt sich die Ionisierungsarbeit ebenfalls bestimmen.

Führt man einen Ionisationsversuch durch, so kommt es gleichzeitig zu einer Anregung von äußeren Hüllenelektronen, die beim Rückfall in den Grundzustand Photonen emittieren. Das entstehende Spektrum lässt sich nun weiter analysieren.

#### 1.5 Beobachtung der Emissionslinien der brennenden Gasentladung

Mit einem Taschenspektroskop betrachten wir die entstandenen Emissionslinien. Laut [2] sollen Wellenlängen im Bereich von 405 (violett) bis 579 nm (gelb) sichtbar sein, deren Überlagerung ohne Spektroskop betrachtet fahlblau erscheinen.

Zur Begrenzung des höheren Anodenstromes infolge der Gasentladung sind Schutzwiderstände mit 10 kΩ geschaltet. Da wir jedoch nur mit Strömen aus einzelnen Teilchen hantieren, ist die an den Widerständen abfallende Spannung i.A. vernachlässigbar.

## 2 Bestimmung der nächsthöheren Anregungsenergie

Um hinreichende Energien der Elektronen zu erreichen, verwenden wir analog zu Aufgabe 1.3 die kurze Strecke zwischen Kathode und G1 zur Beschleunigung und den Raum zwischen G1 und G2 (beide auf gleichem Potential) als vergleichsweise langen Stoßraum, damit trotz geringer Atomdichte genügend inelastische Stöße stattfinden. Die Beschleunigungsspannung darf dabei nicht zu hoch sein, damit keine Gasentladung gezündet wird. Anhand der aufgenommenen Franck-Hertz-Kurve lässt sich dadurch die nächsthöhere Anregungsenergie bestimmen.

## 3 Bestimmung der mittleren Energie $\bar{E}$

Hierzu verwenden wir eine Neon-Röhre und nehmen erneut eine Frank-Hertz-Kurve auf. Da Neon bereits bei Raumtemperatur gasförmig ist, ist ein weiteres Aufheizen der Röhre nicht nötig. Bei zusätzlichem Aufheizen würde man lediglich die Stoßwahrscheinlichkeit zwischen Elektronen und Atomen erhöhen.

Wir erwarten mehrere Energieniveaus, die laut [1] innerhalb eines Intervalls von 0,5 eV liegen sollen. Die einzelnen Niveaus werden daher nicht gut auflösbar sein, sodass wir aus der Kurve als Anregungsenergie eine mittlere Energie  $\bar{E}$  abschätzen.

## Literatur

- [1] **Aufgabenstellung** zum Franck-Hertz-Versuch auf <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/p2/p2-versuchsanleitungen/Franck-Hertz.pdf> abgefragt am 15.6.2012.
- [2] **Vorbereitungshilfe** zum Franck-Hertz-Versuch auf <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/p2/p2-versuchsanleitungen/Franck-Hertz-Vorbereitungshilfe.pdf> abgefragt am 15.6.2012.
- [3] **Literatur** zum Franck-Hertz-Versuch auf <http://cms-ka.fzk.de/praktikum-restricted/Physiker-Literatur/P2/Lit-Franck-Hertz.pdf> abgefragt am 15.6.2012.
- [4] **Hering, Martin, Stohrer**: Physik für Ingenieure, 10. Auflage.
- [5] **Haken, Wolf**: Atom- und Quantenphysik, 8. Auflage.

2.7.2012

Aufg. 1)

Parameter:

$T = 165^{\circ}\text{C}$

Sägezahnsp.  $\frac{10\text{ms}}{\text{div}}$

Einmal  $\frac{2\text{s}}{\text{div}}$

$U_{\text{Methode}}$	$U_1 (3U_{\text{gr}})$	$U_{3\text{g}}$	<del>Lampe</del>	Auffänger Maximalstrom	
$U$	6,37 V	5,31 V	4,00 V	$\hat{=} 12\text{V}$	
Peaks	1: 6,7 V	2: 11,7 V	3: 16,7 V	4: 21,8 V	5: 27,1 V

0: 1,7 V  
 ↑ eigentlicher Erster Peak

$T = 155^{\circ}\text{C}$

$U$	6,38 V	4,08 V	2,44 V		
Peaks	1: 2,7 V	2: 7,7 V	3: 12,7 V	4: 17,6 V	5: 22,7 V
					6: 28,1 V

150  
140  
120  
 (oberschaltbar von 12V  $I_A$ )

$T = 150^{\circ}\text{C}$

$U$	6,4 V	3,68 V	3,07 V		
Peaks	1: 3,2 V	2: 8,2 V	3: 13,2 V	4: 18,3 V	5: 23,4 V

$T = 140^{\circ}\text{C}$

$U$	6,41 V	2,24 V	3,97 V		
Peaks	1: 4,8 V	2: 10,0 V	3: 15,1 V	4: 20,4 V	5: 25,4 V

$T = 120^{\circ}\text{C}$

$U$	4,38 V	5,31 V	3,11 V		
Peaks	1: 1,8 V	2: 7,1 V	3: 12,2 V	4: 18,2 V	

↑ sehr breit



1.3	$I_{g2}$ in $\mu A$	$I_{g2}$ in $\mu A$	$U_{g2}$ in V
	0,16	+ 0,32	0
	0,39	0,67	2,5
	0,68	1,12	5,0
	1,06	1,64	7,5
	1,62	2,35	10,0
	2,38	3,43	12,5
	3,45	5,3	15,0
	4,44		17,5
	7,45		20,0
	9,20		22,5
	10,57		25,0
	12,03		27,5
	13,68		30,0

$$T = 151^{\circ}C$$

$$U_1 = 5,31V \leftarrow \text{berücksichtigen bei Kondition + U<sub>th</sub> Kontakt}$$

$$U_3 = 0V$$

$$U_{Kth} = 6,41V$$

Mögl. Fehler:

Unterer Messbereich des Messgeräts: Starke Schwankungen im  $\mu A$  Bereich nach oben und unten ohne Veränderung der Parameter!

1.4/a)	$I_{g2}$ in $\mu A$	$U_{g2}$ in V
	0	0
	0,01	2,5
	0,14	5,0
	0,17	7,5
	1,09	10,0
	1,20	10,2
	1,27	10,4
	1,40	11,0
	1,45	12,5
	1,80	15,0
	3, <del>34</del> 17	17,5
	3,35	20,0
	5,04	22,5
	6,45	25,0
	8,15	27,5
	12,00	30,0
	1,34	10,6

$$T = 150^{\circ}C$$

$$U_1 = 0$$

$$U_3 = 0$$

$$U_{Kth} = 6,37V$$

b) Peak:  $I_{th} = 12,0V$

$$T = 121^{\circ}C$$

$$U_1 = 0V$$

$$U_3 = 4,21V$$

$$U_{Kth} = 6,44V$$

1.5

Türkisblau

Farfolge: Rot - ~~Orange~~ - ~~gelb~~ - Grün - ~~Schwarz~~ - Violett

Schritt begrusst

2.

Peaks

$$1: 6,2V$$

150°

$$2: 11,5V$$

$$3: 16,6V$$

$$4: 18,1V$$

$$5: 21,4V$$

$$6: 22,9V$$

$$7: 24,8V$$

$$8: 28,3V$$

$$9: 29,9V$$

3.

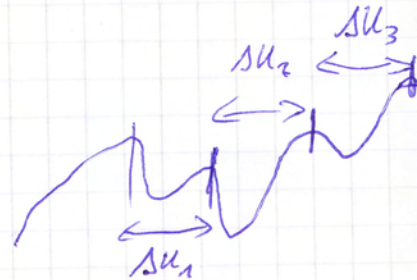
Signalbreite x - Achse: 70V

7 Kästchen

$$\Delta U_1 = 17V \quad (1,7 \text{ Kästchen})$$

$$\Delta U_2 = 19V$$

$$\Delta U_3 = 16V$$



# Physikalisches Praktikum P2

## Auswertung zum

### Franck-Hertz-Versuch

#### (P2-53)

Sebastian Eisenhardt, Martin Koppenhöfer  
(Montag-02)

2. Juli 2012

## 1 Einführende Versuche

### 1.2 Messung der niedrigsten Anregung von Quecksilber

In der dieser Aufgabe nahmen wir Franck-Hertz Kurven für unterschiedliche Temperaturen  $T$  auf, wobei wir die Auffängerspannung  $U_A$  über die Beschleunigungsspannung  $U_B$  auftrugen. Zunächst ermittelten wir die optimalen Spannungsparameter bei der jeweiligen Temperatur durch Anlegen einer Sägezahnspannung und nahmen die Kurve schlussendlich beim Durchlaufen einer Spannungsrampe auf. Über  $U_1$  regelten wir den Elektronenfluss aus dem kathodennahen Bereich und somit die Steigung der Franck-Hertz Kurve. Über die Gegenfeldspannung  $U_3$  konnten wir die Höhe der Franck-Hertz-Peaks einstellen. Unsere Messkurven zeigt Abbildung 1.2.

Die auftretenden Peaks vermaßen wir mittels *Picoscope 6* und errechneten daraus die jeweiligen Abstände  $\Delta U$  zwischen den Peaks. Durch Mittelwertbildung erhielten wir die mittlere Spannungsdifferenz  $\overline{\Delta U}$  ihre Varianz  $\sigma(\overline{\Delta U})$ . Sie entsprechen den Zahlenwerten der Anregungsenergie  $\overline{E}$  in eV.

Die Thermokontaktspannung  $U_{th}$  ermittelten wir über folgenden Zusammenhang:

$$U_{th} = n \cdot \overline{\Delta U} - U_B - U_{A,n}$$

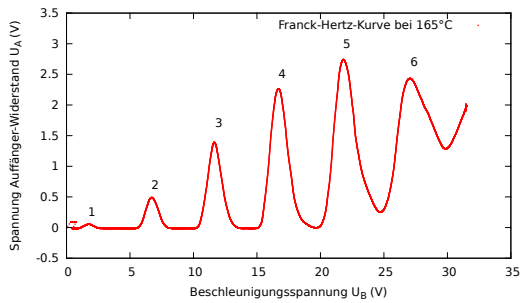
wobei wir jeweils den  $n$ -ten Peak und dessen Auffängerspannung  $U_{A,n}$  betrachten. Schlussendlich bildeten wir erneut den Mittelwert  $\overline{U_{th}}$  und die zugehörige Varianz  $\sigma(\overline{U_{th}})$ .

#### Mittlere Anregungsenergie $\overline{E}$ , Mittlere Thermokontaktspannung $\overline{U_{th}}$

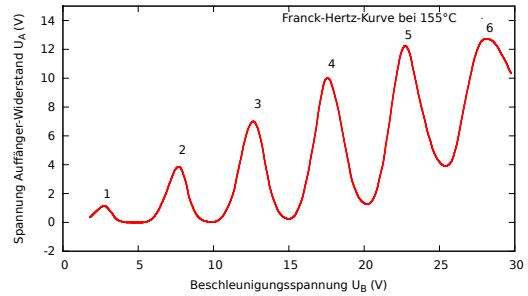
Temperatur $T$ (°C)	$\overline{E} \pm \sigma(\overline{E})$ (eV)	$\overline{U_{th}} \pm \sigma(\overline{U_{th}})$ (V)
121	$5,47 \pm 0,47$	$-1,47 \pm 0,25$
140	$5,15 \pm 0,13$	$-1,93 \pm 0,07$
150	$5,05 \pm 0,06$	$-1,79 \pm 0,04$
155	$5,08 \pm 0,19$	$-1,55 \pm 0,15$
165	$5,08 \pm 0,13$	$-1,81 \pm 0,11$

Literaturwert  $E_{Lit} = 4,89 \text{ eV}$  (aus: Vorbereitungshilfe zum Franck-Hertz-Versuch, S. 1)

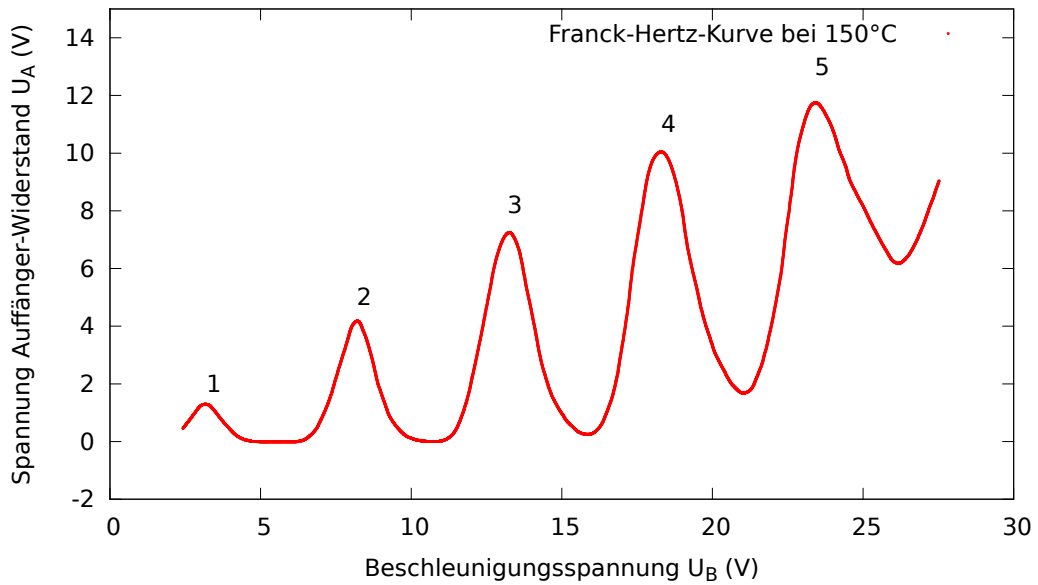
Unsere Werte für  $\overline{E}$  stimmen etwa mit dem Literaturwert überein, wobei die Genauigkeit mit höheren  $T$  zunimmt. Dies liegt daran, dass wir dort bis zu sechs Peaks vermessen konnten. Auffällig ist der im Vergleich zu den übrigen Werten große Fehler bei  $T = 121 \text{ °C}$ . Dieser resultiert daraus,



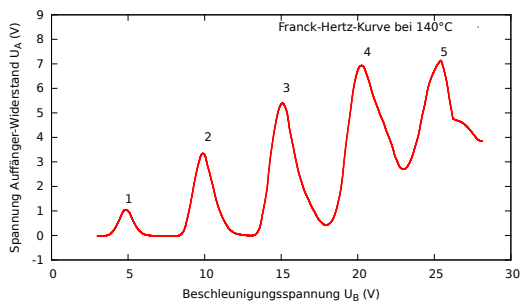
(a)  $T = 165\text{ }^{\circ}\text{C}$



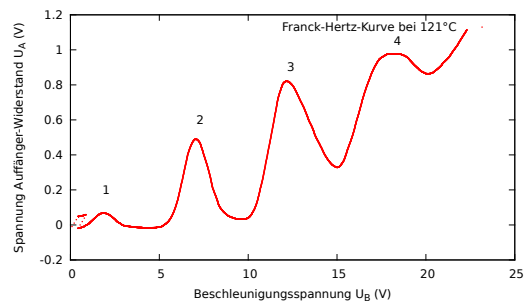
(b)  $T = 155\text{ }^{\circ}\text{C}$



(c)  $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$



(d)  $T = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$



(e)  $T = 121\text{ }^{\circ}\text{C}$

Abbildung 1: Franck-Hertz Kurven bei verschiedenen Temperaturen

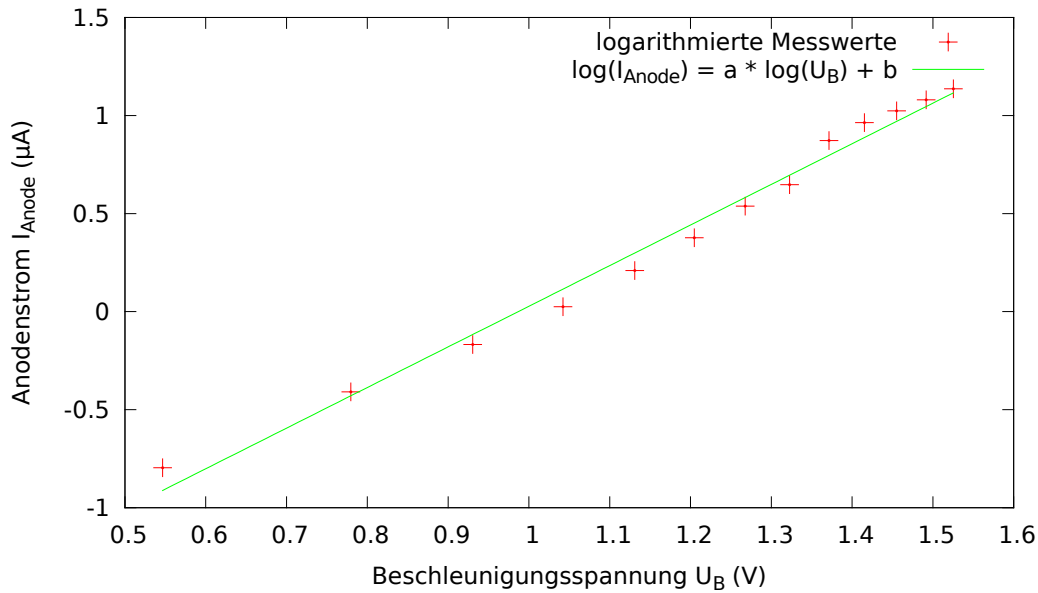


Abbildung 2: Zur Demonstration der Linearität des Raumladungsgesetzes

dass wir bei dieser Kurve lediglich vier Peaks vermessen konnten und somit eine höhere statistische Streuung für  $\Delta U$  vorliegt. Zunächst waren die Peaks der Kurve nur schlecht erkennbar, da sie sich kaum hervorhoben. Der Grund dafür war, dass die mittlere freie Weglänge infolge der niedrigeren Temperatur gestiegen war. Dadurch kam es zu weniger Stößen der Elektronen mit den Quecksilberatomen, sodass mehr Elektronen den Auffänger erreichen konnten und dadurch der dort ankommende „Grundstrom“ anstieg und sich die Peaks nur schwach hervorhoben. Wir regelten für diesen Versuch daher die Kathodenheizspannung  $U_{\text{kath}}$  von  $\approx 6,4\text{ V}$  auf  $4,38\text{ V}$  zurück. So gelangten wieder weniger Elektronen zum Auffänger, sodass die Peaks klarer getrennt waren. Trotz dieser Optimierung konnte das Maximum des vierten Peaks nur sehr ungenau bestimmt werden (vgl. Abbildung 1.2). Die Differenz zwischen drittem und viertem Peak weicht daher besonders stark von den übrigen Differenzen ab, was die hohe Varianz verursacht.

Die Genauigkeit der von uns ermittelten  $\overline{U}_{\text{th}}$  können wir aufgrund eines fehlenden Literaturwerts nicht einschätzen. Auffällig ist, dass der Verlauf der Thermokontaktspannung keinen Zusammenhang mit der Temperatur zu haben scheint. Die Größenordnung der Werte und ihre geringen Varianzen erscheinen jedoch sinnvoll.

### 1.3 Überprüfung des Raumladungsgesetzes

Mit Hilfe eines empfindlichen Strommessgeräts an der Anodenzuleitung ermittelten wir den Anodenstrom  $I_{\text{Anode}}$  in Abhängigkeit von  $U_B$ . Als Temperatur wählten wir nach Aufgabenstellung  $T = 150\text{ }^\circ\text{C}$ . Um das Gesetz  $I \propto U_B^{3/2}$  zu demonstrieren führten wir eine lineare Regression nach folgender Formel durch:

$$\log I = \frac{3}{2} \log U_B + \log \lambda$$

Unsere logarithmierten Messwerte und den linearen Fit zeigt Abbildung 2. Man erkennt, dass unsere Messwerte leicht von der Gerade abweichen. Dies liegt daran, dass das von uns verwendete Strommessgerät in seinem unteren Messbereich betrieben wurde und daher die Anzeige infolge der geringen Ströme (wenige  $\mu\text{A}$ ) stark schwankte. Mitunter dauerte es sehr lange, bis es sich auf einen festen Wert eingependelt hatte. Teilweise konnte sogar eine erneute Stichprobenmessung bei gleichen Bedingungen unsere zuerst gemessenen Werte nicht reproduzieren.

Dennoch können wir die Linearität des Raumladungsgesetzes aufgrund des annähernd linearen Verlaufs unserer Messwerte bestätigen.

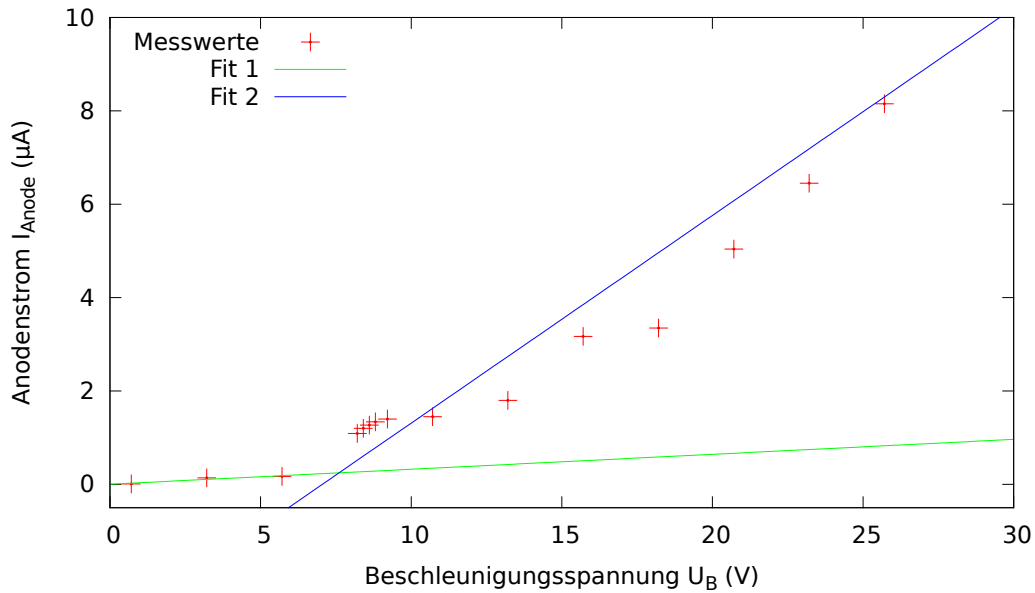


Abbildung 3: Zur Bestimmung der Ionisierungsarbeit über den Anodenstrom

#### 1.4 Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Um genügend hohe Energien der Elektronen zur Ionisation des Quecksilbers einzustellen, änderten wir die Schaltung wie in der Vorbereitung beschrieben ab, sodass das Gitter G1 als Beschleunigungsgitter verwendet wurde. Anschließend bestimmten wir die günstigsten Betriebsbedingungen. Die Ermittlung der Ionisierungsarbeit sollte dabei auf zwei Arten erfolgen.

Bei der Bestimmung über die Abhängigkeit zwischen Anodenstrom  $I_{\text{Anode}}$  und der um  $U_{\text{th}}$  korrigierten Beschleunigungsspannung  $U_B$  wählten wir  $T = 150^\circ\text{C}$ , die Gegenfeldspannung  $U_3 = 0\text{ V}$  und  $U_{\text{kath}} = 6,37\text{ V}$ . Unsere Messwerte und zwei lineare Regressionen zeigt Abbildung 3. Durch den Schnittpunkt der beiden Regressionsgeraden können wir nun die Ionisierungsarbeit  $W_{\text{Ion}}$  als Anstiegspunkt des Anodenstromes bestimmen.

##### **Ionisierungsarbeit $W_{\text{Ion}}$**

$$W_{\text{Ion}} = 7,52\text{ eV}$$

$$W_{\text{Ion,Lit}} = 10,44\text{ eV}$$

Der von uns ermittelte Wert stimmt dabei nicht mit dem Literaturwert<sup>1</sup>  $W_{\text{Ion,Lit}}$  überein. Dies liegt an der oben angesprochenen ungenügenden Messgenauigkeit unseres Strommessgeräts im unteren Messbereich.

Weiterhin bestimmten wir  $W_{\text{Ion}}$  über die Auftragung der Spannung  $U_A$  am Auffänger-Widerstand über die um  $U_{\text{th}}$  korrigierte Spannung  $U_B$ . Wir wählten  $T = 120^\circ\text{C}$ ,  $U_3 = 4,21\text{ V}$  und  $U_{\text{kath}} = 6,44\text{ V}$ . Unsere Messwerte zeigt Abbildung 4. Man erkennt, dass sich zwei Peaks ausbilden. Sie repräsentieren die auf dem Auffänger auftreffenden Elektronen, die eine zu niedrige Energie besitzen um die Quecksilberatome zu ionisieren und lediglich inelastisch stoßen. Der erste Peak lag oberhalb von 12 V, was den Messbereich unseres Messgeräts überstieg und zum Abschneiden des Peaks führte. Die Kurve ähnelt bis zum zweiten Peak dem typischen Franck-Hertz Verlauf. Sobald die Elektronen jedoch genügend Energie besitzen, ionisieren sie die Quecksilberatome im Stoßraum und können infolge der hohen Energieabgabe und Rekombination mit Ionen das Gegenfeld nicht mehr

<sup>1</sup>aus: Vorbereitung zum Franck-Hertz-Versuch

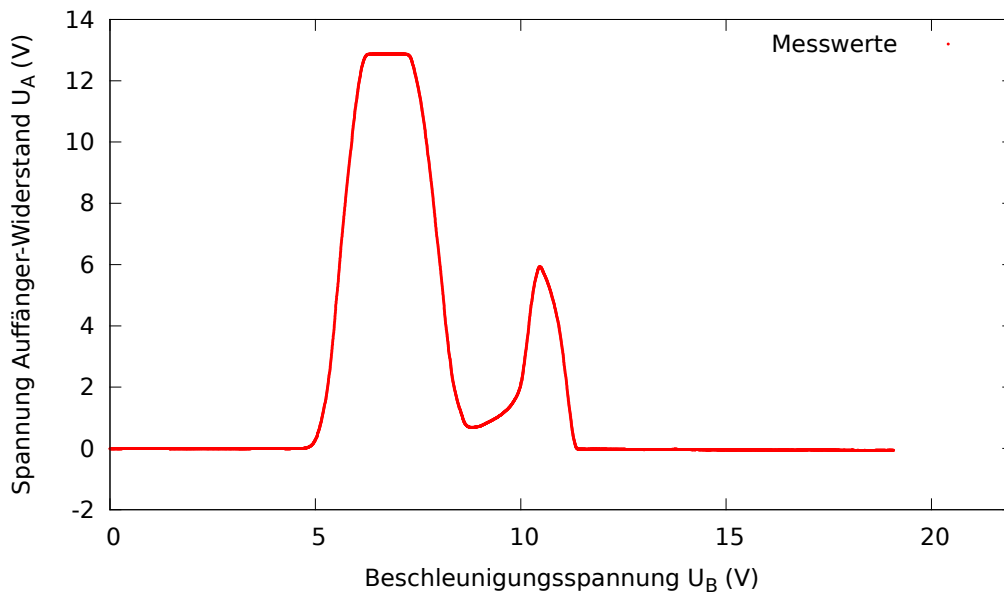


Abbildung 4: Zur Bestimmung der Ionisierungsarbeit über die Auffängerspannung

durchlaufen. Der Auffängerstrom bricht ein, was ab der Spitze des zweiten Peaks in Abbildung 4 der Fall ist.

**Ionisierungsarbeit  $W_{\text{Ion}}$**

$$W_{\text{Ion}} = 10,47 \text{ eV}$$

$$W_{\text{Ion,Lit}} = 10,44 \text{ eV}$$

Der ermittelte Wert stimmt sehr gut mit dem Literaturwert überein, was diese Methode bei den gegebenen Gerätschaften als geeigneter zur Bestimmung der Ionisierungsarbeit erscheinen lässt.

## 1.5 Spektrum der Gasentladung

Mit einem Taschenspektrometer überprüfen wir nun auf optischem Wege die diskreten Energieniveaus des Quecksilbers. Mit bloßem Auge betrachtet leuchtete die Gasentladung fahlblau. Im Spektrometer waren fünf scharf begrenzte Linien zu beobachten. Sie lagen bei den Farben rot, gelb, grün, türkisblau und violett. Damit wurden unsere Erwartungen aus der Vorbereitung bestätigt. Die blaue und violette Linie waren sehr schwach zu erkennen, da die Empfindlichkeit des menschlichen Auges in diesen Frequenzbereichen stark abnimmt. Da wir ein Linienspektrum und kein kontinuierliches Spektrum wie bei Glühlicht beobachteten, entsteht das Licht der Quecksilber-Gasentladung bei optischen Übergängen zwischen verschiedenen genau festgelegten angeregten Zuständen der Elektronenhülle. Die Beobachtung steht somit im Einklang mit dem Franck-Hertz-Versuch.

## 2 Bestimmung höherer Anregungsniveaus von Quecksilber

Als nächstes bestimmten wir die Energie des nächsthöheren Anregungszustandes von Quecksilber. Dazu verwendeten wir die Franck-Hertz-Röhre analog zu Aufgabe 1.4, d.h. wir nutzten G1 als Beschleunigungsgitter und legten G2 auf dasselbe Potential, um einen feldfreien Stoßraum zu erhalten. Mit dem Oszilloskop beobachteten wir den Strom durch die Auffängerelektrode A (Spannungsabfall  $U_A$ ) in Abhängigkeit von der an G1 anliegende Beschleunigungsspannung. Unsere

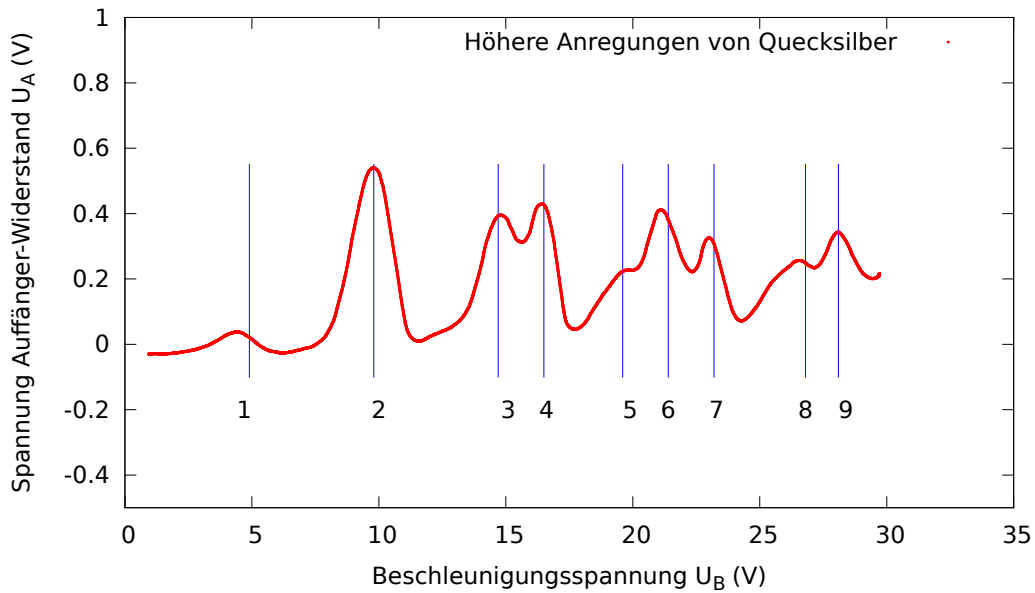


Abbildung 5: Höhere Anregungszustände bei Quecksilber

Franck-Hertz-Kurve zeigt Abbildung 5. Die Messung fand bei  $T = 150^\circ\text{C}$  statt, daher korrigierten wir unsere Beschleunigungsspannung um die in Aufgabe 1.2 ermittelte Thermokontaktspannung  $U_{\text{thermo},150} = -1,79\text{V}$ . Die in Abbildung 5 erkennbaren neun Peaks  $p_i$  lassen sich durch Linearkombinationen  $p_i = \lambda_i a_1 + \mu_i a_2$  der beiden untersten Anregungsniveaus  $a_1 = 4,9\text{eV}$  und  $a_2 = 6,7\text{eV}$  erklären:

$i$	$p_i^{\text{exp}}$ (eV)	$\lambda_i$	$\mu_i$	$p_i^{\text{theo}}$ (eV)
1	4,41	1	0	4,9
2	9,71	2	0	9,8
3	14,81	3	0	14,7
4	16,31	2	1	16,5
5	19,61	4	0	19,6
6	21,11	3	1	21,4
7	23,01	2	2	23,2
8	26,51	0	4	26,8
9	28,11	3	2	28,1

Die experimentellen Werte weichen stets leicht von den theoretischen ab. An der Grafik erkennt man jedoch, dass die Peaks 2, 3 und 5 sehr gut mit den entsprechenden Vielfachen der Anregungsenergie  $a_1$  von Quecksilber übereinstimmen. Peak 1 weicht stark hin zu kleineren Energien ab. Die Peaks 6, 7 und 8 liegen ebenfalls ein wenig unterhalb der theoretisch zu erwartenden Werte. Peak 8 ist das einzige reine Vielfache von  $a_2$ . Diese Abweichungen lassen sich durch folgende Messunsicherheiten erklären:

- Die Messung der Peaks mit *Picoscope* war nur grob möglich, da der Messcursor mit der Maus nur in  $0,2\text{V}$ -Schritten bewegt werden konnte.
- Die Thermokontaktspannung ist nur auf  $\pm 0,04\text{V}$  bekannt. Ein Abweichung vom exakten Wert der Thermokontaktspannung verschiebt das gesamte Schaubild entlang der x-Achse.

Insgesamt zeigt unser Messergebnis jedoch deutlich, dass die gemessene Franck-Hertz-Kurve durch Überlagerung von zwei unterschiedlichen diskrete Anregungsenergien des Quecksilbers entstand.



### 3 Bestimmung der mittleren Anregungsenergie von Neon

Zuletzt untersuchten wir die Franck-Hertz-Kurve von Neon. Beim Neon lag der durch Elektronenstöße angeregte Übergang im optischen Bereich, daher konnten wir Leuchtentladungen in der Röhre beobachten. Bei niedrigen Beschleunigungsspannungen zeigte sich ein leuchtender Streifen kurz vor **G2**. An dieser Stelle hatten die Elektronen genügend kinetische Energie aufgenommen, um die Neon-Atome zum Leuchten anzuregen. Erhöhte man die Spannung, so wanderte diese Entladungszone weiter zur Kathode hin und es wurden weitere Leuchtringe sichtbar. Diese hatten einen konstanten Abstand voneinander, der dem Weg entsprach, den die Elektronen nach einem inelastischen Stoß im Feld durchlaufen mussten, um genügend Energie für den nächsten inelastischen Stoß aufzunehmen.

Anschließend schalteten wir in den oszillographischen Betrieb um und vermaßen die Franck-Hertz-Kurve am Oszilloskop. Die maximale Beschleunigungsspannung betrug 70 V. Die Abstände der vier beobachtbaren Peaks betragen:

$\Delta U_1$	17 V
$\Delta U_2$	19 V
$\Delta U_3$	16 V

Insgesamt ergibt sich damit eine mittlere Spannungsdifferenz:

$$\overline{\Delta U} \pm \sigma(\overline{\Delta U}) = (17,3 \pm 1,5) \text{ V}$$

Die mittlere niedrigste Anregungsenergie von Neon beträgt hiermit:

$$\overline{E} \pm \sigma(\overline{E}) = (17,3 \pm 1,5) \text{ eV}$$

Der Literaturwert <sup>2</sup>  $E_{\text{Lit}}$  liegt zwischen 18,4 und 19,0 eV. Der Vertrauensbereich unseres Messwerts deckt dies größtenteils ab.

---

<sup>2</sup>aus: Literatur zum Franck-Hertz-Versuch - Leybold Handblätter Physik - Franck-Hertz-Versuch an Neon, S.33