

**Physikalisches Anfängerpraktikum - P2**

**Frank-Hertz-Versuch**

**P2-54**

Auswertung von

**Tobias Renz** und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 10. Mai 2012



**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 Anfängerpraktikum - P2**

**Franck-Hertz-Versuch**  
**P2-55**

Versuchsvorbereitung von  
**Tobias Renz** und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 10. Mai 2012

## Einführung

Der Frank-Hertz-Versuch ist von großer Bedeutung, da er das bohrsche Atommodell stütze und für die Fortentwicklung der Quantenmechanik beitrug. James Frank und Gustav Hertz gelang es mit einem nicht-optischen Nachweis, die diskreten Anregungszustände in der Atomhülle zu beobachten. Konkret beschreibt der Frank-Hertz-Versuch den stufenweisen Energieverlust beim Durchgang von Elektronen durch Quecksilberdampf. Es kommt hierdurch zur Emission im ultravioletten Bereich ( $\lambda = 254nm$ ) des Quecksilbers.

Der Frank-Hertz-Versuch trug zum tieferen Verständnis der Materie bei und unterstützte das bohrsche Atommodell. Man konnte die Annahme experimentell nachweisen, dass Atome nur diskrete Energieniveaus besitzen. Es konnten nur diskrete Energien von Quecksilber Atomen umgesetzt werden. Im folgenden sind die drei wichtigen Postulate von Nils Bohr aufgeführt.

### 1. Bohrsches Postulat

Atome und Atomsysteme können nur in bestimmten (stationären) Zuständen existieren. Dabei emittieren, noch absorbieren sie Energie. Jedoch bewegen sich die Elektronen im Atom dabei auf diskreten Kreisbahnen mit den Energien  $E_n$ , die eine diskrete Folge bilden. Eine Energieänderung ist nur durch Absorption oder Emission elektromagnetischer Strahlung oder Stöße möglich, dabei kann nur in eine Energie dieser Zustände übergegangen werden. Zwischen Elektron und Kern, herrscht ein Gleichgewicht aus Coulomb- und Zentripetalkraft. Für die diskreten Energiewerte ergibt sich für das Niveau n:

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} = -13,6eV \cdot \frac{1}{n^2} \quad (1)$$

Das Elektron verliert auf dieser stationäre Bahn keine Energie.

### 2. Bohrsches Postulat

Bei einem Übergang von einem stationären Zustand in einen anderen emittieren oder absorbieren die Atome nur eine Strahlung (Photon) einer bestimmten Frequenz  $\nu$ . Die Energie des Photons entspricht gerade der Differenz der beiden Energieniveaus. Es ergibt sich für die Frequenz:

$$\nu = \frac{E_a - E_e}{h} = \frac{-13,6eV}{h} \left( \frac{1}{n_a^2} - \frac{1}{n_e^2} \right) \quad (2)$$

### 3. Bohrsches Postulat

Das dritte bohrsche Postulat besagt, dass der Drehimpuls eines Elektrons nur diskrete Werte annehmen kann. Diese werden durch die Quantenzahl n bestimmt. Der Drehimpuls des Elektrons ist dann:

$$L = n \frac{h}{2\pi} \quad (3)$$

# 1 Aufgabe 1

## 1.1 Aufbau

Wir verwenden eine Quecksilberöhre. Das Hg-Frank-Hertz-Rohr enthält ein zylindersymmetrisches System aus vier Elektroden. In der Mitte befindet sich die Kathode, welche indirekt über einen Heizdraht beheizt wird. Die indirekte Beheizung verhindert eine Potentialdifferenz längs von K. Die aus K austretenden Elektronen bilden eine Raumladungswolke und werden vom Raumladungsgitter  $G_1$  angezogen. Die Spannung  $U_1$  ist damit für die Anzahl der emittierten Elektronen verantwortlich. Anschließend werden die Elektronen durch die Beschleunigungsspannung  $U_2$  zum Beschleunigungsgitter  $G_2$  beschleunigt.

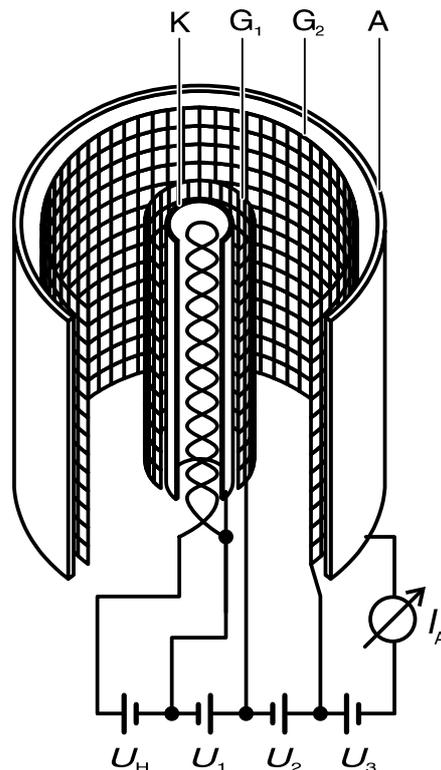


Abbildung 1: Schema des Frank-Hertz-Rohr

Dabei können die Elektronen während dem Flug mit Quecksilber Atomen kollidieren. Je nach Energie führen sie dabei dann elastische oder unelastische Stöße durch. Haben die Elektronen nach dem Stoß genügend Energie, so können sie noch bis zur Anode A gelangen. Zwischen ihr und  $G_2$  befindet sich nämlich ein Gegenfeld. Es wird dort der Strom (Auffängerstrom)  $I_A$  gemessen. Reicht die Energie nicht aus, so fließen sie nach Umkehr an der Anodenzuleitung ab. Diesen Vorgang nennt man Energiediskriminierung nach der Gegenfeldmethode.

Durch die Variation der Spannung  $U_2$  lässt sich die kinetische Energie der Elektronen erhöhen oder verringern. Wird  $U_2$  größer, so steigt auch die Energie der Elektronen und man misst einen Anstieg des Stroms  $I_A$ . Auf dem Weg durch das Frank-Hertz-Rohr bis zur Anode führen

die Elektronen nun elastische Stöße mit den Hg-Atomen durch. Steigt die Energie nun weiter an, so beobachtet man nach einem lokalen Maximum ein starkes Abfallen des Stromes  $I_A$ . Am Maximum spricht man von der kleinsten Anregungsenergie von Quecksilber. Diese liegt bei etwa 4,89V.

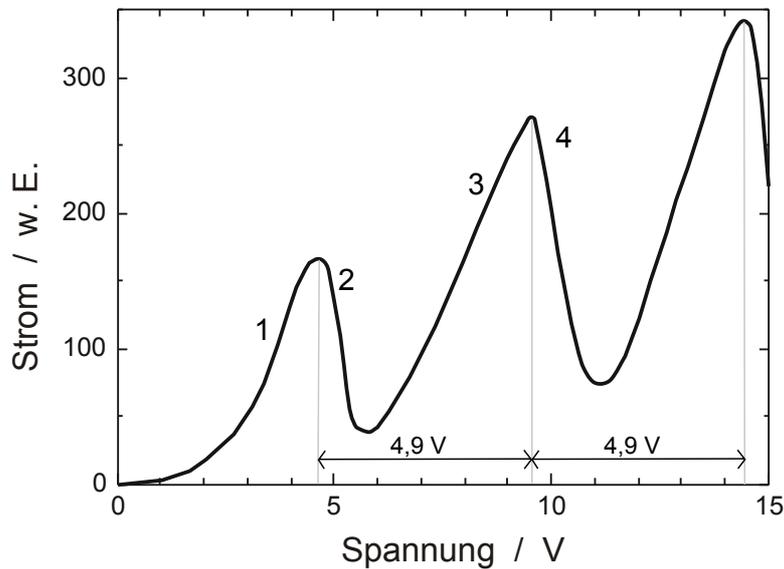


Abbildung 2: Franck-Hertz-Kurve

Ab dieser Spannung (Energie) können die Elektronen auch unelastische Stöße mit den Atomen des Quecksilberdampfes durchführen. Bei einem unelastischen Stoß ist der Energieübertrag weitaus größer als bei einem elastischen Stoß. Daher kommen nun nur noch wenige Elektronen gegen das Gegenfeld an. Nach einem Minimum gewinnen die Elektronen wieder genügend Energie um vermehrt zur Anode zu gelangen. Bis hin zu einem zweiten Maximum. Ab diesen reicht die Energie für einen zweiten unelastischen Stoß aus.

Dieser Vorgang wiederholt sich noch einige male. Die gemessene Kurve schaut dann bei Quecksilber in etwa wie in Abbildung 2 aus.

Vollständigkeitshalber nun noch kurz zur Prinzipschaltskizze der Franck-Hertz-Röhre, welche wir im Praktikum verwenden werden. Als Beschleunigungsspannung an der Annode, kann zwischen einer Sägezahnspannung, einer linearen Rampe oder einer Gleichspannung gewählt werden.

In der Schaltskizze ist links oben die Kathode zu erkennen, welche über die Spannung  $U_2$  geregelt wird. Analog zur 3D Skizze von oben bezeichnen hier  $g_1$  und  $g_2$  die beiden Gitter und A die Anode. Bei der Anode wird der Strom  $I_A$  gemessen. Wir werden die Beschleunigungsspannung  $U_2$  variieren.

Die Franck-Hertz-Röhre ist evakuiert. In ihr befindet sich Quecksilber, welches durch heizen (die Röhre befindet sich in einem Ofen mit variabler Temperatureinstellung) in die Gasphase

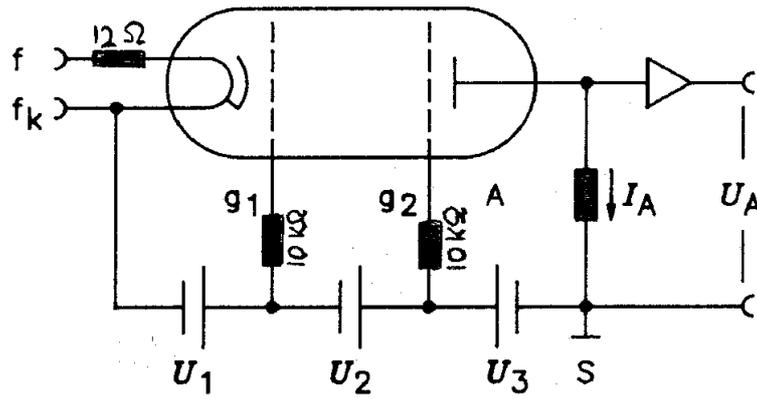


Abbildung 3: Frank-Hertz-Schaltsskizze

übergeht. Je höher die Temperatur, je mehr Hg-Atome sind in der Gasphase. Dabei steigt der Dampfdruck, also der Druck, welcher sich einstellt, wenn sich der Quecksilberdampf im thermodynamischen Gleichgewicht mit der kondensierten Phase befindet. Er wird im Bereich von 0°C bis 250°C sehr gut durch folgende Formel beschrieben.

$$p(T) = 8,7 \cdot 10^7 \cdot e^{-\frac{3110K}{T}} \text{ mbar} \quad (4)$$

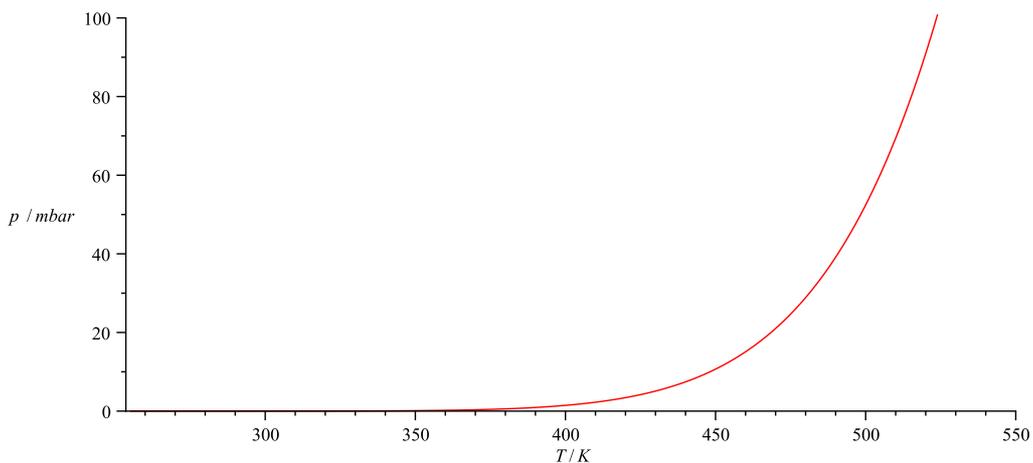


Abbildung 4: Dampfdruck

Die mittlere freie Weglänge der Elektronen sinkt jedoch bei steigender Temperatur. Aus der kinetischen Gastheorie erhält man folgende Beziehung.

$$\lambda = \frac{1}{n\sigma} = \frac{kT}{p(T)\sigma} \quad (5)$$

Dabei ist n die Anzahldichte und  $\sigma$  die Querschnittsfläche der Hg-Atome. Aus der Vorbereitungshilfe entnehmen wir den Wert von  $\sigma = 8 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$ . Des Weiteren ist k die Boltzmannkonstante und T die Temperatur.

Da die mittlere freie Weglänge bei Zimmertemperatur zu groß ist, kann sie durch ihre einfachen Temperaturabhängigkeit leicht verringert werden, bis die gewünschte Anzahldichte erreicht ist, bei der die Elektronen genügend Stöße mit den Hg-Atomen durchführen. Zu beachten ist jedoch, dass man die Temperatur nicht zu hoch einstellt, da dann zu viele elastische Stöße auftreten, welche die Messergebnisse zu stark beeinflussen.

## 1.2 Kleinste Anregungsenergie von Quecksilber

Zur Darstellung des Messstroms  $I_A$  in Abhängigkeit der eingestellten Beschleunigungsspannung  $U_2$ , verwenden wir das Speicheroszilloskop im XY-Betrieb. Zunächst soll bei verschiedenen Temperaturen zwischen 120°C und 170°C eingestellt werden und dabei die günstigste Betriebsbedingung herausgefunden werden. Diese hängt ab von Kathodenheizung, Spannung am Raumladegitter und der Gegenspannung.

Anschließend wird bei jeder Temperatur (170, 160, 150, 140 und 120°C) die optimale Frank-Hertz-Kurve aufgenommen. Hier sollen auch die Unterschiede bei durchlaufender Rampe und Einmalvorgang verglichen werden.

Nun soll die kleinste Anregungsenergie  $E_A$  von Quecksilber bestimmt werden. Diese kann mit den aufgezeichneten Kurven gut bestimmt werden. Dazu mitteln wir die Abstände zwischen den benachbarten Maxima  $\bar{U}_A$ . Dies funktioniert, da jedes Maximum nur bei einem vielfachen der Spannung des ersten Maximums ist.

Die Kontaktspannung  $U_K$  zwischen Kathode und Anode bestimmen wir durch:

$$U_K = U_{max1} + U_1 - \bar{U}_A \quad (6)$$

Ihre Ursache sind die unterschiedlichen Austrittsarbeiten der Kathode und Anode, sowie die Temperaturunterschiede an den Materialübergängen.

## 1.3 Raumladungsgesetz

Bei 150°C soll mit Hilfe eines empfindlichen Strommessinstruments in der Anodenleitung eine Anodenstromkurve  $I_2 = f(U_2)$  aufgenommen werden. Bei einer Vakuumdiode wird dies durch das Schottky-Langmuirsche Raumladungsgesetz beschrieben. Eine Anpassung unter Berücksichtigung der zusätzlich störenden Gasatome bringt:

$$I_A \approx \lambda \cdot U_2^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

Hierbei bezeichnet  $U_2$  die Beschleunigungsspannung und  $\lambda$  die mittlere freie Weglänge (Formel 5) der Elektronen zwischen Stößen mit den Hg-Atomen.

Es ist zu erwarten, dass die aufgezeichnete Kurve keine Frank-Hertz-Kurve ist, da der Strom bei der Anode, nicht jedoch beim Auffänger gemessen wird. So haben wir keine Energieseparation der Elektronen durch das Gegenfeld, sondern messen alle Elektronen, jeder Geschwindigkeit.

Durch logarithmisches auftragen der Messwerte, kann die  $U^{\frac{3}{2}}$  Abhängigkeit leicht gezeigt werden. Wir erwarten so eine Gerade der Steigung  $\frac{3}{2}$ .

## 1.4 Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Zur Ionisation der Hg-Atome müssen die Elektronen eine derart hohe Energie besitzen, dass sie Elektronen aus dem Hg-Atom herauszulösen. Die Energie für die einfache Ionisation beträgt 10,44eV.

Um so hohe Energien zu erreichen, muss sichergestellt sein, dass die Atome eine Ausreichend große Strecke, ohne Kollision, beschleunigen können. Dazu kann durch Temperatursenkung die mittlere freie Weglänge der Elektronen soweit erhöht werden, dass ihre Energie (im Mittel) vor der ersten Kollision zur Ionisation eines Quecksilber-Atoms ausreicht.

Um die Stoßwahrscheinlichkeit zu senken, soll das Raumladungsgitter  $G_1$ , anstatt des Anodengitters  $G_2$  verwendet werden.

Es soll nun die Ionisierungsarbeit von Quecksilber auf zwei verschiedenen Wegen bestimmt werden.

- a) Sobald die Ionisation auftritt ist ein steiler Anstieg des Anodenstroms zu beobachten, da bei der Ionisation positive Ionen erzeugt werden, welche in Kathodennähe die Raumladung senken. Mit einem Multimeter soll der Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung gemessen werden.
- b) Durch die positiven Ionen kommt es in der Nähe des Auffängers zu einem Strom in der Auffängerleitung mit umgekehrten Vorzeichen. Dieser soll mit Hilfe des Oszillographen geplottet werden.

## 1.5 Sichtbares Spektrum einer Gasentladung

Nun sollen wir die sichtbaren Emissionslinien einer Gasentladung mit einem Taschenspektrometer beobachten. Dazu wird eine ständige Gasentladung in der Frank-Hertz-Röhre geschaffen. Die Emissionslinien kommen dadurch zustande, dass sich die durch Ionisation erzeugten  $Hg^+$  Ionen wieder mit einem freien Elektron verbinden. Dabei kommen verschiedene Energieübergänge vor. Dabei werden Photonen mit der jeweiligen Energie, welche der Differenz der Elektronenschalen entspricht, freigesetzt. Laut Vorbereitungshilfe liegen die kräftigsten Emissionslinien von Quecksilber bei 405nm, 408nm, 436nm (violett), 493nm (blau), 546nm (grün) und 597nm (gelb). Ein  $10k\Omega$  Widerstand begrenzt den Strom in der Anodenleitung. Somit wird die Apparatur, auch bei ständiger Gasentladung, nicht beschädigt. In den vorigen Aufgabenteilen wurde dieser Widerstand nicht berücksichtigt. Dies war jedoch legitim, da der Gesamtwiderstand der Elektronenröhre bei den sehr kleinen Strömen sehr viel größer als der  $10k\Omega$  Widerstand ist.

## 2 Aufgabe 2: Nächsthöhere Anregungsenergie

Um die nächsthöhere Anregungsenergie von Quecksilber zu erreichen, müssen wir die Röhre ähnlich wie in Aufgabe 1.4 verwenden. Dabei wird die Röhre wieder in modifizierter Weise betreiben. Im Normalbetrieb kann das zweitniedrigste Anregungsniveau nicht erreicht werden, da die Energie nicht weit über die 4,9eV hinausreicht. Das bedeutet, dass diese Stöße von

viel größerer Wahrscheinlichkeit sind. Die Wahrscheinlichkeit für einen unelastischen Stoß ist proportional zu  $\frac{a}{\lambda}$  (mit  $a$ = Länge der Beschleunigungsstrecke). Somit werden nun  $a$  und der Gasdruck verringert. Dazu wird das Raumladungsgitter als Beschleunigungsgitter verwendet. Der Raum zwischen  $G_1$  und  $G_2$  dient als Stoßraum. Dabei befinden sich die beiden Elektrode  $G_1$  und  $G_2$  auf dem gleichen Potential. Außerdem wird die Temperatur (etwa 120°C) und die Heizspannung erniedrigt. Letzteres um eine Gasentladung zu vermeiden.

Nun wird wieder die Stromstärke am Oszilloskop in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung beobachtet. Der Verlauf wird nun jedoch nicht mehr so schön sein, da im Wesentlichen eine Linearkombination der beiden Anregungsniveaus von 4,89eV und 6,7eV zu beobachten sein wird.

### 3 Aufgabe 3: Frank-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre

Die Hg-Röhre wird durch eine Neon Röhre ersetzt. Der Vorteil hier ist, dass Neon schon bei Raumtemperatur gasförmig ist und somit das Heizen entfällt. Ein Heizen würde nur einen höheren Gasdruck erzeugen.

Nun soll die mittlere Anregungsenergie von Neon bestimmt werden. Da wir nur eine Gruppe von Energieniveaus in einem kleinen Bereich von 0,5eV beobachten können, ist es uns nicht möglich die exakte Energie zu bestimmen. Die Anregung wird mit dem Oszilloskop gemessen. Anschließend wird die mittlere Anregungsenergie analog zu Aufgabe 1.2 bestimmt.

Bei dem Versuch wird Licht im sichtbaren (rot) Bereich emittiert, dies kann beobachtet werden.

### 4 Quellen

- Vorbereitungsmappe zum Frank-Hertz-Versuch
- Abbildung 1 - Leybold Handblätter Physik
- Abbildung 2 - <http://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch>, 09.05.2012, 21:44Uhr
- Abbildung 3 - Vorbereitungsmappe

**Physikalisches Anfängerpraktikum - P2**

**Frank-Hertz-Versuch**

**P2-54**

Auswertung von

**Tobias Renz** und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 10. Mai 2012

# 1 Frank-Hertz-Kurven und niedrigste Anregungsenergie

## 1.1 Aufbau der Quecksilber-Frank-Hertz-Röhre

Zu Beginn des Versuches haben wir die Frank-Hertz-Röhre an die Spannungsquelle und Messinstrument nach Schaltskizze angeschlossen. Wobei die in der Schaltskizze eingezeichneten Widerstände bereits im Röhrengehäuse fest verbaut sind. Wir haben ein zusätzliches Spannungsmessgerät parallel zur Heizkathode geschaltet um die Heizspannung ( $U_H$ ) messen zu können. Dann haben wir die Kathodenheizung eingeschaltet und anschließend den Ofen auf maximale Temperatur gestellt.

## 1.2 Niedrigste Anregung von Quecksilber

In diesem Aufgabenteil soll die niedrigste beobachtbare Anregung von Quecksilber und die Kontaktspannung ( $U_{KT}$ ) zwischen Anode und Kathode berechnet werden.

Dazu nehmen wir Frank-Hertz Kurven bei verschiedenen Temperaturen auf. Bei jeder Temperatur mussten wir die Kathodenheizspannung ( $U_H$ ), die Spannung am Raumladungsgitter ( $U_1$ ) und die Gegenspannung ( $U_3$ ) so einstellen, dass wie eine optimale Frank-Hertz Kurve erhalten. Je größer die Heizspannung gewählt wurde, desto mehr Elektronen wurden an der Kathode herausgelöst. Bei den höheren Temperaturen hatten wir diese auf maximale Spannung gestellt um möglichst viele Elektronen zu erhalten. Bei geringeren Temperaturen mussten wir die Heizspannung etwas verringern, da bei geringerer Temperatur die Anzahl der Hg-Atome sinkt und somit auch die Wahrscheinlichkeit auf einen Stoß. Bei niedrigen Temperaturen wurden deshalb zu viele Elektronen detektiert und man konnte somit die höheren Peaks nicht mehr unterscheiden.

Über die Spannung  $U_1$  kann der Elektronenstrom und somit die Anzahl der Elektronen verändert werden, die mit den Hg-Atomen stoßen.

Mit der Gegenspannung kann die schärfe der Peaks verändert werden. Bei einer geringen Gegenspannung gelangen fast alle Elektronen zum Auffänger, erhöht man dieses Spannung erreichen nur noch weniger Elektronen den Auffänger. Mit der Gegenspannung kann man somit die schärfe der Peaks verändern, man verändert aber auch immer die Anzahl der detektierten Elektronen und somit die Höhe der Peaks.

Über die Einstellung dieser Parameter haben wir versucht optimale Frank-Hertz Kurven zu bekommen.

Um die Kurven aufnehmen zu können benutzen wir für die Beschleunigungsspannung  $U_2$  eine lineare Rampe, die von 0V bis ca. 30V Anstieg.

Eigentlich sollten wir bei einer höchsten Temperatur von  $170^\circ\text{C}$  auch eine Messung durchführen, mit unserem Ofen konnten wir aber nur eine maximale Temperatur von  $T_1 = 165^\circ\text{C}$  erreichen. Deshalb führten wir die erste Messreihe bei dieser Temperatur durch und die anderen bei den vorgegebenen Temperaturen ( $T_2 = 160^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 150^\circ\text{C}$ ,  $T_4 = 140^\circ\text{C}$ ,  $T_5 = 120^\circ\text{C}$ ).

Im folgenden sind nun unsere aufgenommenen Franck-Hertz Kurven dargestellt.

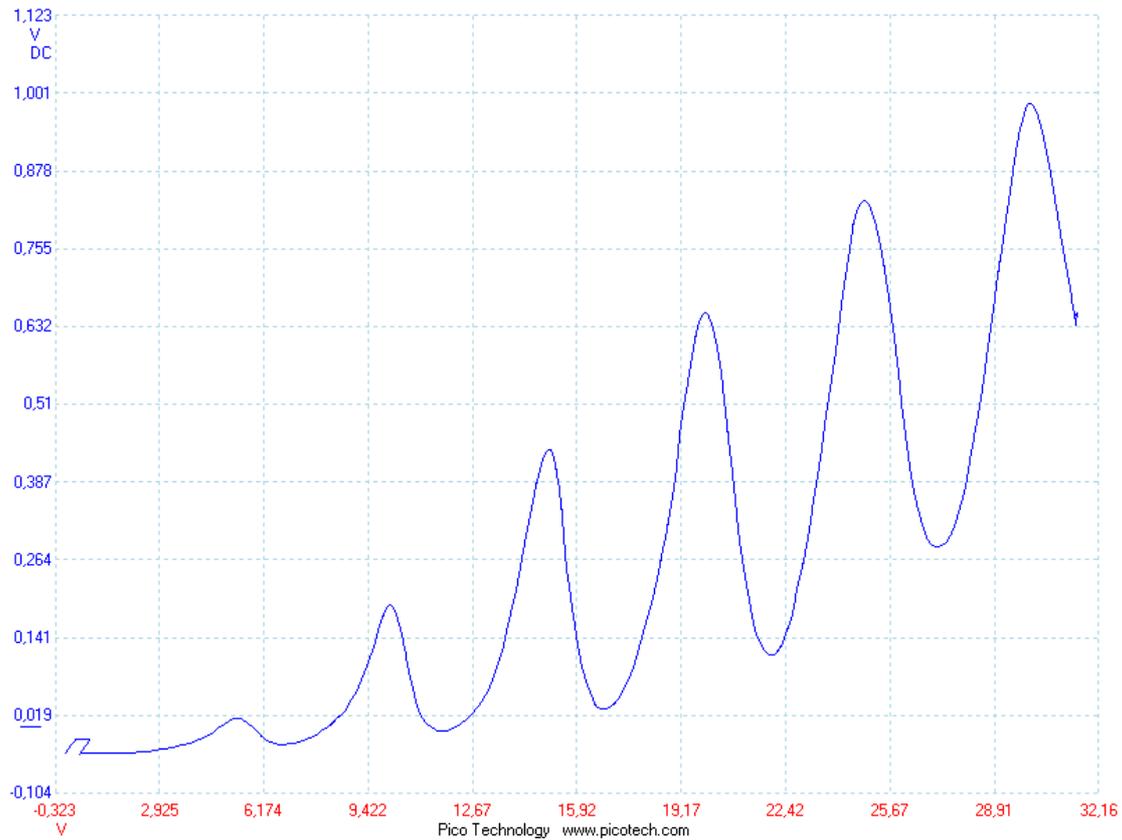


Abbildung 1: Frank-Hertz-Kurve bei 160°C

Bei der aufgenommenen Frank-Hertz Kurve bei 160°C sieht man sehr schön den erwarteten Verlauf. Zu Beginn steigt die Spannung am Auffänger mit steigender Beschleunigungsspannung. Ab einer bestimmten Spannung fällt dann der Auffängerstrom. Dies ist das erste Maximum. Die Elektronen können das Gegenfeld nicht mehr überwinden, da sie bei einem unelastischen Stoß die Anregungsenergie an das Atom abgegeben haben. Mit steigender Spannung wiederholen sich diese Maxima, da dass Elektron nach einem Stoß noch einmal die benötigte Anregungsenergie für einen unelastischen Stoß aufnehmen kann.

Bei den Frank-Hertz Kurven mit niedrigen Temperatur (140°C und 120°C) konnte das sechste Maximum nicht mehr aufgenommen werden. Bei niedrigeren Temperaturen befinden sich weniger Hg-Atome im Stoßraum. Die Elektronen stoßen also nicht sofort nach Erreichen der benötigten Energie mit einem Atom. Dies führt dazu, dass die höheren Maxima nicht mehr genau zu erkennen sind.

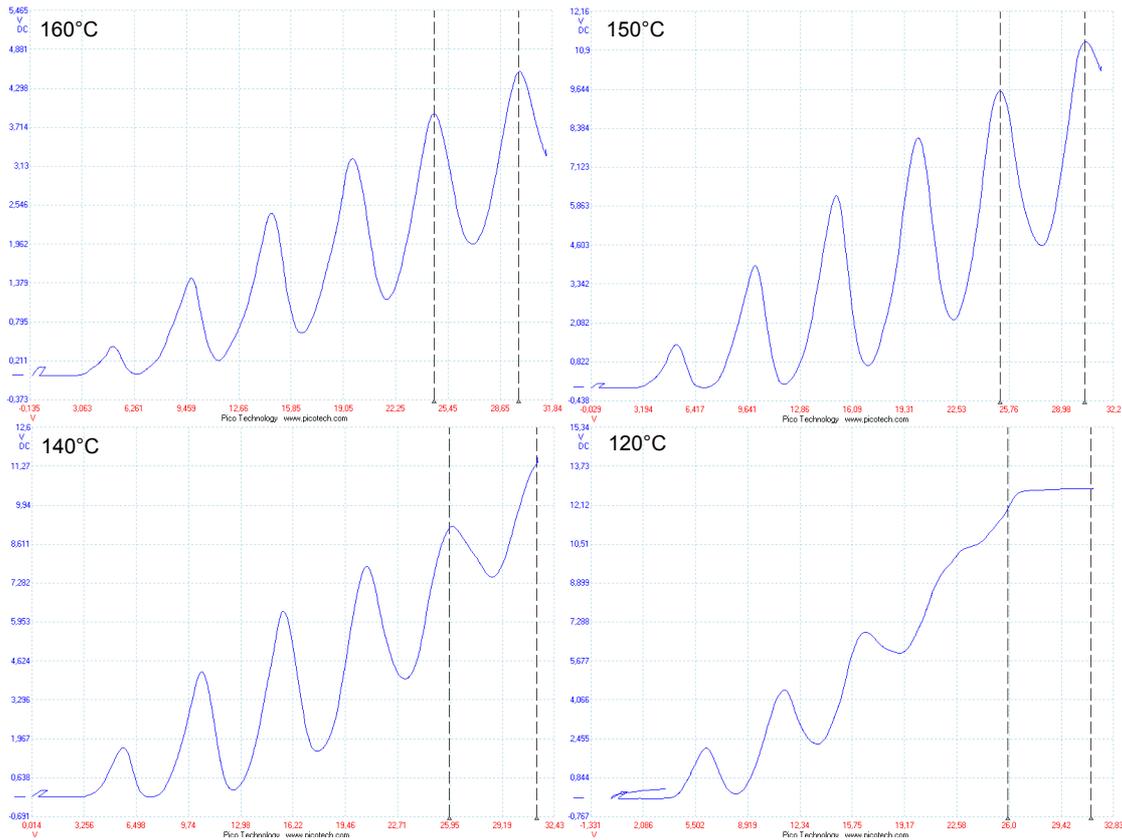


Abbildung 2: Frank-Hertz-Kurve bei 160°C, 150°C, 140°C und 120°C

Schon während dem Versuch konnte mit dem Programm PicoTech die verschiedenen Maxima bestimmt werden. Wir haben jeweils die Spannung des ersten Maximum gemessen und dann jeweils die Differenz zum nächsten. Die Werte sind nachfolgender Tabelle aufgeführt. Dort sind zusätzlich noch zu jeder Messreihe die Spannungen  $U_1$ ,  $U_3$  und  $U_H$  aufgeführt.

T/°C	$U_1/V$	$U_3/V$	$U_H/V$	$U_{Max1}/V$	$\Delta 1/V$	$\Delta 2/V$	$\Delta 3/V$	$\Delta 4/V$	$\Delta 5/V$
165	1,35	0,00	6,29	5,40	4,68	4,94	4,87	4,97	5,13
160	1,74	0,00	6,31	4,96	4,82	4,85	4,96	4,96	5,15
150	1,61	1,24	6,33	5,22	4,87	5,03	5,04	4,03	5,23
140	1,37	1,45	5,86	5,66	4,90	5,00	5,09	5,14	-
120	0,89	1,99	5,03	6,19	5,04	5,19	4,24	4,88	-

Tabelle 1: Frank-Hertz-Kurven bei verschiedenen Temperaturen

Aus diesen Messwerten soll nun die niedrigste Anregungsenergie ( $\bar{U}_A$ ) und die Kontaktspannung ( $U_{KT}$ ) bestimmt werden.

Die Anregungsenergie entspricht gerade den Differenzen ( $\Delta_i$ ) der Maxima. Wir bestimmen nun den Mittelwert der Differenzen aus jeder Messreihe um einen Wert für die niedrigste Anregungsenergie zu erhalten.

Um die Kontaktspannung zu bestimmen, müssen wir uns noch einmal kurz Gedanken über den Aufbau und unsere Messkurven machen. Bei unseren Messkurven, haben wir als x-Achse die Spannung  $U_2$  aufgetragen und im folgenden auch als Beschleunigungsspannung bezeichnet. Dies ist aber nicht ganz richtig. Die Elektronen werden aus der Kathode heraus geglüht und dann durch die angelegte Spannung  $U_1$  von der Kathode weggezogen. Die Elektronen werden also schon bevor sie zwischen Raumgitter und Anode durch die Spannung  $U_2$  beschleunigt werden, durch die Spannung  $U_1$  vorbeschleunigt. Wir müssen also unser x-Achse um die Spannung  $U_1$  verschieben.

Betrachten wir nun die Spannung am ersten Maximum ( $U_{Max1}$ ) so ergibt sich:

$$U_{Max1} + U_1 = \bar{U}_A + U_{KT} \quad (1)$$

Daraus ergibt sich die Kontaktspannung  $U_{KT}$ :

$$U_{KT} = U_{Max1} + U_1 - \bar{U}_A \quad (2)$$

Die Werte für  $\bar{U}_A$  und die Kontaktspannung  $U_{KT}$  für jede Messreihe sind in folgender Tabelle aufgelistet:

T / °C	$U_1$ / V	$U_{Max1}$ / V	Mittelwert $\bar{U}_A$ / V	$U_{KT}$ / V
165	1,35	5,40	4,92	1,83
160	1,74	4,96	4,95	1,75
150	1,61	5,22	4,84	1,99
140	1,37	5,66	5,03	2,00
120	0,89	6,19	4,84	2,24

Tabelle 2: Bestimmung der Kontaktspannung

Da das Vorzeichen der Kontaktspannung größer als null ist, ist diese der Beschleunigungsspannung entgegen gerichtet. Die Kontaktspannungen können nicht gemittelt werden, da diese bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich sind. Eine Kontaktspannung entsteht zwischen unterschiedlichen Materialien und bei unterschiedlichen Temperaturen (= Thermospannung).

Die niedrigste Anregungsenergie  $E_A$  für das Quecksilber Atom bestimmen wir dadurch, dass wir den Mittelwert aus den Werten  $\bar{U}_A$  der jeweiligen Messreihen bilden. Wobei die Spannung in V gerade der Energie in eV entspricht. Die Anregungsenergie ergibt sich dann zu:

$$E_A = 4,92eV \quad (3)$$

Unser Wert weicht somit nur um 0,6% vom Literaturwert (= 4,89 eV) ab.

### 1.3 Anodenstromkurve

Wir haben bei einer Temperatur von 120°C eine Anodenstromkurve  $I_A$  in Abhängigkeit der Spannung  $U_2$  aufgenommen. Die Spannung am Raumgitter  $U_1$  wurde auf null geregelt und

muss somit nicht berücksichtigt werden. Hingegen müssen wir aber die Kontaktspannung berücksichtigen. Die Kontaktspannung ist der angelegten Spannung entgegen gerichtet und muss somit noch von  $U_2$  abgezogen werden um die Beschleunigungsspannung zu erhalten.

Folgende Werte haben wir gemessen:

$U_2 / \text{V}$	$U_2^{\text{korrr}} / \text{V}$	$I_A / \mu\text{A}$	$\ln(U_2/V) / 1$	$\ln(I_A/\mu\text{A}) / 1$
0,0	2,24	0,00	-	-
1,0	-1,24	0,00	-	-
2,0	-0,24	0,00	-	-
3,0	0,76	0,00	-0,28	-
4,0	1,76	0,00	0,56	-
5,0	2,76	0,01	1,01	-4,61
6,0	3,76	0,02	1,32	-3,91
7,0	4,76	0,03	1,56	-3,51
8,0	5,76	0,04	1,75	-3,22
9,0	6,76	0,04	1,91	-3,22
10,0	7,76	0,05	2,05	-3,00
11,0	8,76	0,05	2,17	-3,00
12,0	9,76	0,05	2,28	-3,00
13,0	10,76	0,06	2,38	-2,81
14,0	11,76	0,07	2,46	-2,66
15,0	12,76	0,08	2,55	-2,53
16,0	13,76	0,08	2,62	-2,53
17,0	14,76	0,09	2,69	-2,41
18,0	15,76	0,10	2,76	-2,30
19,0	16,76	0,11	2,82	-2,21
20,0	17,76	0,12	2,88	-2,12
21,0	18,76	0,13	2,93	-2,04
22,0	19,76	0,14	2,98	-1,97
23,0	20,76	0,15	3,03	-1,90
24,0	21,76	0,16	3,08	-1,83
25,0	22,76	0,18	3,12	-1,71
26,0	23,76	0,19	3,17	-1,66
27,0	24,76	0,21	3,21	-1,56
28,0	25,76	0,23	3,25	-1,47
29,0	26,76	0,25	3,29	-1,39
30,0	27,76	0,27	3,32	-1,31
31,0	28,76	0,29	3,36	-1,24
31,4	29,16	0,30	3,37	-1,20

Tabelle 3: Raumladungsgesetz

Es soll nun gezeigt werden, dass  $I_A \sim U^{3/2}$  also:

$$I_A = C \cdot U^{3/2} \quad (4)$$

$$\Rightarrow \ln(I_A) = \ln C + \frac{3}{2} \cdot \ln(U_2) \quad (5)$$

Durch Auftragen von  $\ln(I_A)$  über  $\ln(U_2)$  sollte man also eine Gerade mit Steigung  $\frac{3}{2}$  erhalten.

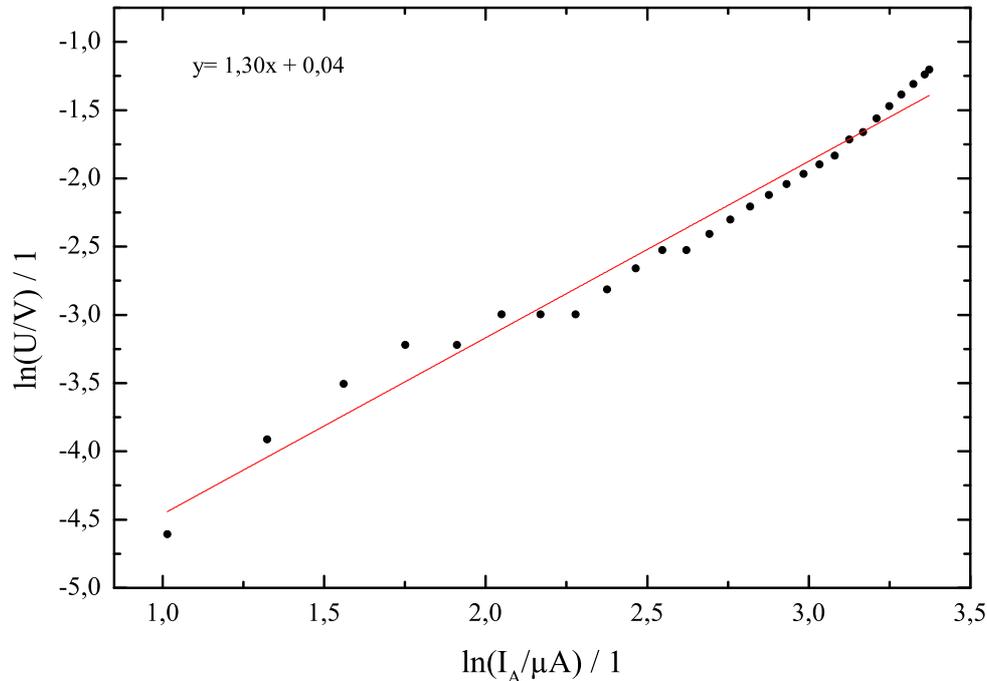


Abbildung 3: Raumladungsgesetz

Für unsere Wert erhalten wir eine Steigung von  $m = 1,3$ . Dies weicht um  $-13,3\%$  von der erwarteten Steigung von  $1,5$  ab. Diese Abweichung lässt sich vielleicht damit erklären, dass unser Strom sehr gering ist und unser Messgerät in diesem Bereich nicht mehr so genau ist.

Weshalb an der Anodenstromkurve keinerlei Frank-Hertz-Form zeigt wurde bereits in der Vorbereitung erläutert.

#### 1.4 Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Es sollte die Ionisierungsarbeit von Quecksilber auf zwei verschiedene Arten bestimmt werden. Dazu haben wir das Raumladungsgitter anstatt des Anodengitters als Beschleunigungsgitter verwendet. Dies ist nötig, damit die Elektronen innerhalb eines kürzeren Weges beschleunigt werden und somit die Stoßwahrscheinlichkeit herabgesetzt wird. Dadurch können die Elektronen die benötigte Ionisierungsenergie erreichen. Die Messungen haben wir bei einer Temperatur von  $120^\circ\text{C}$  durchgeführt, da bei dieser Temperatur die Anzahl der Atome gering ist und somit die Elektronen einen längeren Weg zurücklegen bevor sie stoßen.

**a) Anodenstrom:**

Bei der ersten Methode messen wir den Anodenstrom in Abhängigkeit der Anodenspannung. Wir erwarten, dass der Strom mit steigender Spannung steigt und an einer Stelle einen Sprung macht. Bei dieser Spannung haben die Elektronen gerade genug Energie um die Atome zu ionisieren. Die Ionen machen sich durch den Sprung im Stromverlauf bemerkbar.

Unsere Messwerte sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

$U_2 / \text{V}$	$I_A / \mu\text{A}$	$U_2 / \text{V}$	$I_A / \mu\text{A}$	$U_2 / \text{V}$	$I_A / \mu\text{A}$
0	0	10,6	31,74	13,2	45,13
2	0	10,8	33,4	13,4	45,54
4	0,28	11	34,93	13,6	46,24
6	2,07	11,2	36,28	13,8	47,4
8	6,63	11,4	37,62	14	48,67
9	10,62	11,6	38,81	15	54,24
9,2	11,26	11,8	39,9	16	65,56
9,4	12,42	12	41,04	17	73,06
9,6	13,18	12,2	41,92	18	78,81
9,8	13,8	12,4	42,51	20	90,67
10	14,05	12,6	43,74	30	165,04
10,2	14,14	12,8	44,57		
10,4	30,58	13	44,98		

Tabelle 4: Ionisationsarbeit von Quecksilber

Stellt man die Werte graphisch dar, so sieht man die Sprungstelle sehr schön. Diese Sprungstelle liegt bei einer Spannung von 10,35V.

Nun muss von dieser Spannung noch die Kontaktspannung abgezogen werden. Damit ergibt sich für die Ionisierungsenergie folgender Wert:

$$E_I = 8,11\text{eV} \quad (6)$$

Dieser Wert weicht sehr stark vom Literaturwert von 10,44eV ab. Woher diese große Abweichung von -9% kommt, können wir uns nicht erklären. Die Messung wurde zwar per Hand durchgeführt, aber der Bereich der Sprungstelle war sehr gut zu messen. Vielleicht haben wir bei der Messung einen Fehler gemacht, den wir nicht bemerkt haben.

Interessant ist aber, dass wenn wir die Kontaktspannung nicht abziehen, einen sehr guten Wert erhalten. Dies wird vermutlich ein Zufall sein, da wir im Aufgabenteil b) den selben Aufbau verwenden und dort einen sehr guten Wert bestimmt haben. Der einzige Unterschied im Aufbau ist, dass wir in diesem Aufgabenteil den Strom mit dem Multimeter messen und in b) hingegen die Spannung mit dem fest installierten Messgerät.

Wir vermuten deshalb, dass die Abweichung mit der Verwendung des Multimeters bzw. der Strommessung zustande kommt. Woran dies liegen könnte, können wir uns nicht erklären.

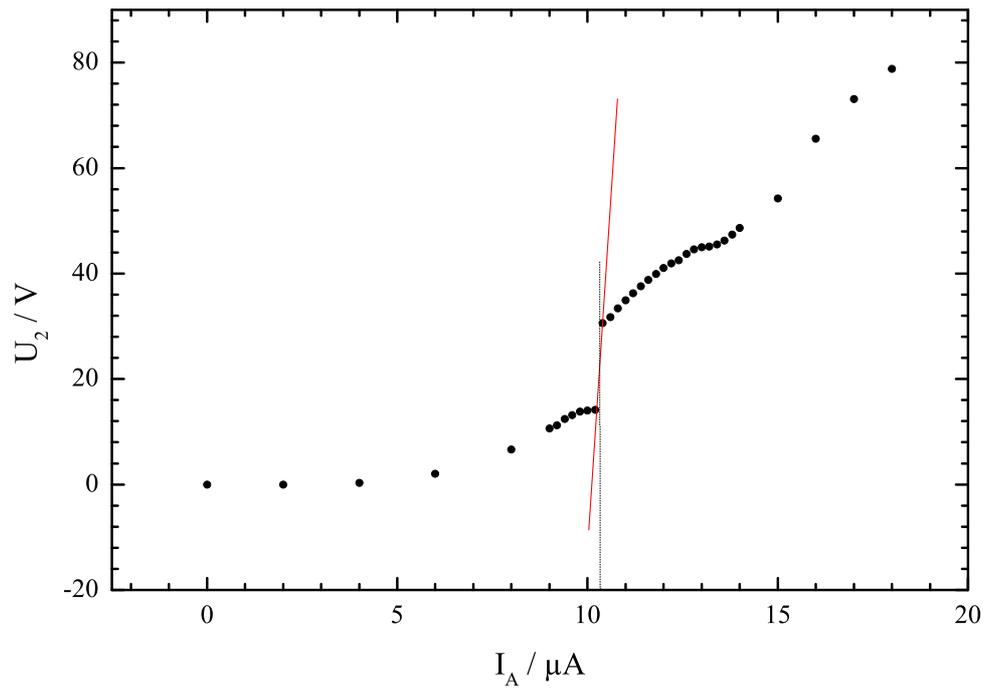


Abbildung 4: Anodenstrom über Anodenspannung

**b) Auffängerstrom:**

Nun haben wir nicht den Anodenstrom sondern den Auffängerstrom in Abhängigkeit der Anodenspannung gemessen. Wir haben die in Abbildung 4 dargestellte Kurve aufgenommen.

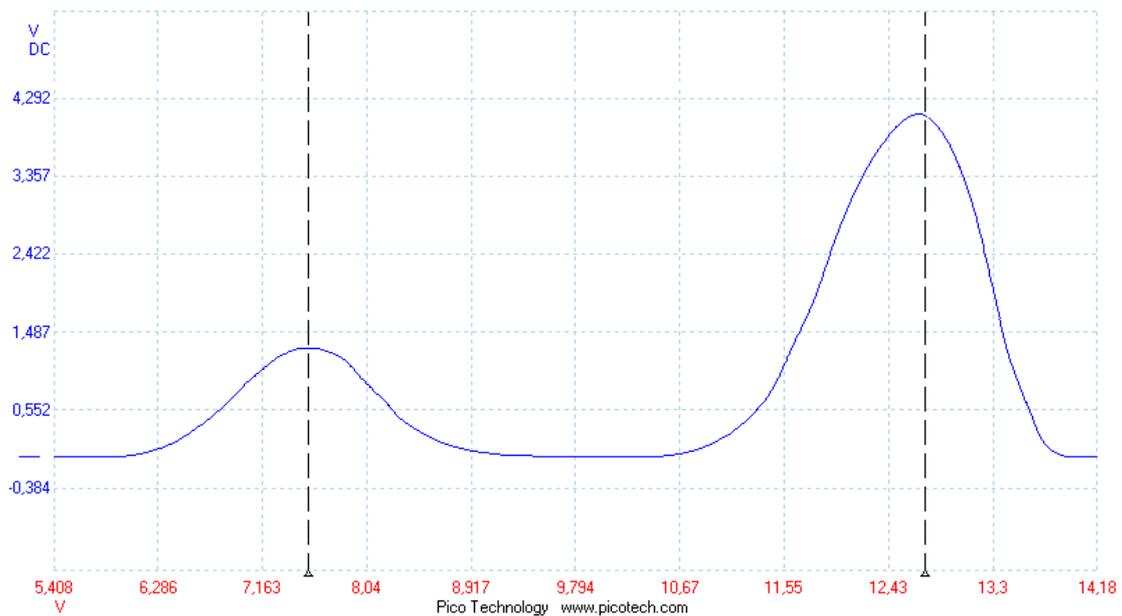


Abbildung 5: Auffängerstrom über Anodenspannung

Das erste Maximum liegt bei 7,54V zieht man davon noch die Kontaktspannung ab, so erhält man einen Wert von 5,3V. Dieses Maximum und der anschließende Abfall entspricht also gerade der der niedrigsten Anregungsenergie.

Nach diesem Abfall steigt die Auffängerspannung (entspricht dem Strom) wieder bis zu einem zweiten Maximum. Dann fällt der Strom wieder. An diesem Punkte werden nun die Atome ionisiert und durch die erzeugten Ionen fällt der Strom. Man sieht, dass er sogar leicht ins negative fällt, da die positiv geladenen Ionen nun einen negativen Strom bewirken. Diese Kante liegt bei einem Wert von 12,73V. Zieht man nun noch die Kontaktspannung ab, so erhält man für die Ionisierungsenergie folgenden Wert:

$$E_I = 10,49eV \quad (7)$$

Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem Literaturwert von 10,44eV überein und weicht nur um 0,5% davon ab.

### 1.5 Emissionslinien bei brennender Gasentladung

Nun haben wir die Spannung  $U_2$  auf manuell geschaltet und auf den maximalen Wert von 31,4V eingestellt. Bei einer Temperatur von 120°C erreichten wir dann eine ständige Gasentladung. Dies erkannte man am blauen Leuchten.

Beobachtet man die brennende Gasentladung durch ein Spektroskop so konnte man drei Striche erkennen. Der erste war orange, dann folgte ein grüner Streifen und einen violetten konnte man auch noch erkennen.

Bei Rekombination der Ionen mit Elektronen kommen auch Emissionslinien im sichtbaren Bereich vor. Diese liegen im violetten, blauen, grünen und im gelben Bereich.

Genau diese Linien haben wir im Spektroskop beobachtet, wobei die orangene Linie wohl hauptsächlich durch das orange-rote Leuchten der glühenden Kathode zustande kommt.

Der 10k $\Omega$  Widerstand, der den Strom begrenzt musste bei den vorherigen Aufgaben nicht berücksichtigt werden. Dies wurde bereits in der Vorbereitung erläutert.

## 2 Nächsthöhere Anregungsenergie

Wir modifizierten nun den Versuchsaufbau wie in Aufgabe 1.4 indem wir das Raumladungs- und Beschleunigungsgitter auf das gleiche Potential legten. Zwischen denen und der Kathode wurde nun die Beschleunigungsspannung eingestellt. Die Wahrscheinlichkeit, dass unelastische Stöße mit hoch energetischen Elektronen stattfinden, steigt. Wie haben die folgende Kurve gemessen.

Die einzelnen Maxima setzten sich nun wie in der Vorbereitung bereits erwähnt aus Linearkombinationen der beiden niedrigsten Anregungsenergien zusammen. Wir nehmen den ersten Messwert  $E_1 = 5,02eV$  und den Literaturwert für  $E_2 = 6,7eV$ .  $E_2$  soll hier zunächst als grober Richtwert dienen, um die Koeffizienten zu bestimmen. Nun suchen wir Linearkombinationen

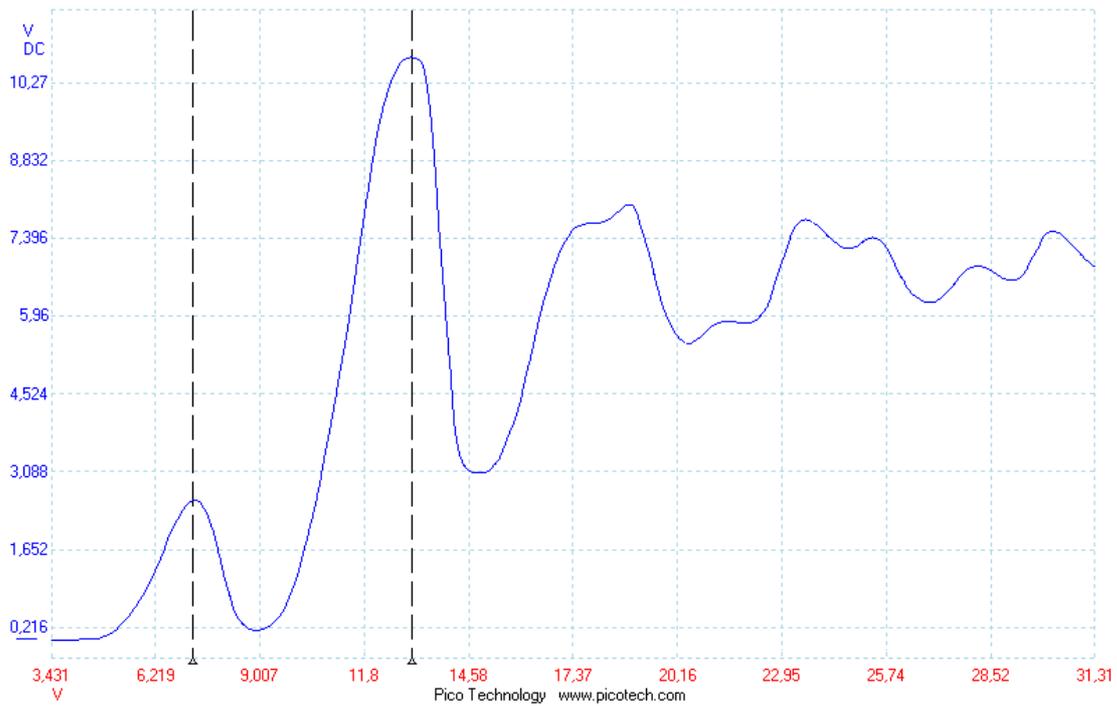


Abbildung 6: Nächsthöhere Anregungsenergie

dieser Werte, um die gemessene Energie so darzustellen:

$$E_{korr} = a \cdot E_1 + a \cdot E_2 \quad (8)$$

Nachdem die Koeffizienten  $a$  und  $b$  bestimmt waren, haben wir den Wert  $E_2$  leicht variiert und geschaut, dass die Differenz  $\Delta E$  zwischen  $E_{korr}$  und  $E_{lin}$  im Schnitt sehr gering wird.

Peak	$E_{korr} / \text{eV}$	$E_{lin} / \text{eV}$	a	b	$\Delta E / \text{eV}$
1	5,02	5,02	1	0	-0,0025
2	10,83	10,04	2	0	0,7875
3	15,16	15,06	3	0	0,0975
4	16,64	16,788	2	1	-0,1505
5	21,29	21,808	3	1	-0,5205
6	23,21	23,536	2	2	-0,3285
7	25,99	25,264	1	3	0,7235
8	27,95	28,556	3	2	-0,6085

Tabelle 5: nächsthöhere Anregungsenergie

Da wir nur sehr kleine Änderungen an  $E_2$  vorgenommen haben, können wir ausschließen, dass durch die Änderung eine andere Linearkombination nun näher am korrigierten Messwert liegt. Wir erhalten so einen Wert  $E_2 = 6,748 \text{ eV}$ . Der Mittelwert der Differenz ist hierbei nur:  $\Delta E = 0,0002$ .

### 3 Frank-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre

Die letzte Aufgabe wurde mit den zwei anderen Gruppen und dem Betreuer gemeinsam durchgeführt. An der Ne-Röhre lag eine regulierbare Spannung an. Diese konnten wir nun hochdrehen. Zunächst entstand ein orangefarbener Ring nahe bei der Anode (in unserem Fall oben). Dies ist damit zu erklären, dass die Elektronen erst kurz vor der Anode genügend kinetische Energie besitzen um das Neon anzuregen. Die Anregungsenergie von Neon beträgt etwa 18,4 eV und 19,0 eV. Der Grund weshalb wir überhaupt Ringe sehen konnten liegt daran, dass die Abregung des Neons auch über Energiezustände im Bereich von 16,6 eV und 16,9 eV gehen. Also die ausgestrahlten Photonen im Bereich von 1,5eV bis 2,4eV liegen. Über die Beziehung  $E = h\nu$  folgt damit die Wellenlänge von 516nm bis 826nm. Dies entspricht genau dem rot-organgen Licht das wir auch beobachten konnten.

Als wir die Spannung weiter erhöhten so wanderte der Ring zunächst Richtung Kathode, bis plötzlich ein zweiter Ring wieder in Anodennähe entstand. Die Elektronen bekamen nun nach dem ersten Stoß, der nun aufgrund der höheren Energie früher geschah, auf der restlichen Beschleunigungsstrecke genügend Energie um ein die Neon Atome erneut anzuregen.

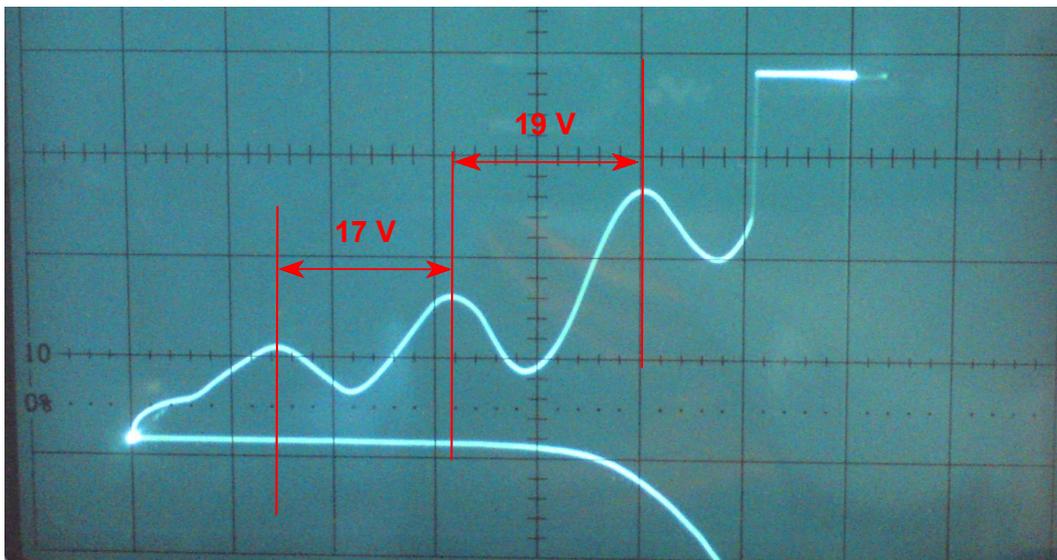


Abbildung 7: Spannungsdifferenz zwischen den Maxima

Am Oszilloskop haben wir nun die Spannungsdifferenz auf der x-Achse zwischen den Peaks bestimmt. Dies entspricht gerade  $E_1 = 17eV$  und  $E_2 = 19eV$ . Diese Werte stimmen recht gut mit den oben erwähnten Literaturwerte überein.