



SS/~~WS~~0.12./.....

Praktikum: (~~P~~/P2) (~~Di~~/Di/~~Di~~/~~Di~~) Gruppe-Nr:11..

Name:Fleig..... Vorname:Georg.....

Name:Krause..... Vorname:Marcel.....

Versuch: Franck-Hertz-Versuch (~~n~~/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer:Felix Büchle..... Durchgeführt am: 24.04.12.

Abgabe am:

Rückgabe am:

Begründung:

2. Abgabe am:

Ergebnis: (+ / 0 / -)

Fehlerrechnung: ja / nein

Datum:

Handzeichen:

Bemerkungen:



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 10kΩ-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 Speicher-oszilloskop 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-G₁: ca. 0,5mm, K-G₂: 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 Ω -Schutz-R in der Anodenleitung, maximaler Anodenstrom 5 μ 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

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

Schriftliche Vorbereitung

von

Georg Fleig (georg@leech.it)
Marcel Krause (mrrrc@leech.it)

Gruppe: Di-11

Datum der Versuchsdurchführung:
24.04.12

Einführung

Der Franck-Hertz-Versuch gilt historisch gesehen als ein bedeutender Versuch zur Bestätigung des Bohrschen Atommodells sowie zur Weiterentwicklung der Quantenmechanik. Er trug zu einem tieferen Verständnis des Aufbaus von Materie bei und ist aufgrund seiner Einfachheit bis heute einer der beliebtesten Demonstrationsversuche zur Quantenphysik. Bevor wir auf den eigentlichen Versuch und dessen Durchführung eingehen, sollen noch kurz ein paar wenige theoretische Grundlagen dazu aufgebaut werden.

Bohrsches Atommodell

Niels Bohr schuf 1913 die Theorie eines neuen Atomaufbaus und stellte dabei drei Postulate auf, welche teilweise der klassischen Elektrodynamik und Mechanik widersprachen:

1. Bohrsches Postulat

Die Elektronen im Atom bewegen sich auf diskreten Kreisbahnen mit den Energien E_n . Vergleichbar ist dies mit der Planetenbewegung um die Sonne. Es herrscht ein Kräftegleichgewicht zwischen Coulomb- und Zentripetalkraft. So ergibt sich für die Energie eines Elektrons auf dem Niveau n im Atom:

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

Auf diesen stationären Bahnen verliert das Elektron keine Energie, da es keine elektromagnetischen Wellen erzeugt. Dies steht im Widerspruch zum klassischen Modell, nach welchem jedes beschleunigte Teilchen Strahlung emittiert.

2. Bohrsches Postulat

Ein Elektron emittiert beim Wechsel zwischen den einzelnen Energieniveaus ein Photon, dessen Energie der Differenz der beiden Energieniveaus entspricht. So ergibt sich für die Frequenz des emittierten Photons:

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

3. Bohrsches Postulat

Auch der Drehimpuls eines Elektrons kann nur diskrete Werte annehmen, die wieder durch die Quantenzahl n bestimmt sind:

$$L = n \frac{h}{2\pi}$$

Mit dem Franck-Hertz-Versuch konnte erstmals nachgewiesen werden, dass Atome nur genau diese diskreten Energieniveaus besitzen, die Bohr in seinem Modell voraussagte. Es konnten nur diskrete Energien von den Quecksilber-Atomen umgesetzt werden, der Energieaustausch ist also nicht beliebig kontinuierlich, sondern gequantelt.

Gasentladung

Der Begriff Gasentladung ist ein Sammelbegriff für alle Arten von Effekten, bei denen Ströme durch ein Gas fließen. Dazu muss das Gas in den Plasmazustand überführt werden, die Ladungsträger müssen also frei verfügbar gemacht werden. Häufig findet eine Gasentladung durch Stoßionisation statt.

Elektronen mit genügend hoher kinetischer Energie stoßen dabei mit den Gasatomen und schlagen deren Elektronen aus der atomaren Bindung. Kommt es dabei zum Lawineneffekt, so kann die entstehende Gasentladung selbsterhaltend sein.

Da die Rekombination der Elektronen mit dem entsprechenden Ion gleichbedeutend ist mit einem Herabfallen dessen Energieniveaus, wird gemäß dem zweiten Bohrschen Postulat ein Photon charakteristischer Wellenlänge emittiert. Gasentladungen zeigen sich so häufig in einer typischen Farbe.

Aufgabe 1: Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre

Aufgabe 1.1: Aufbau

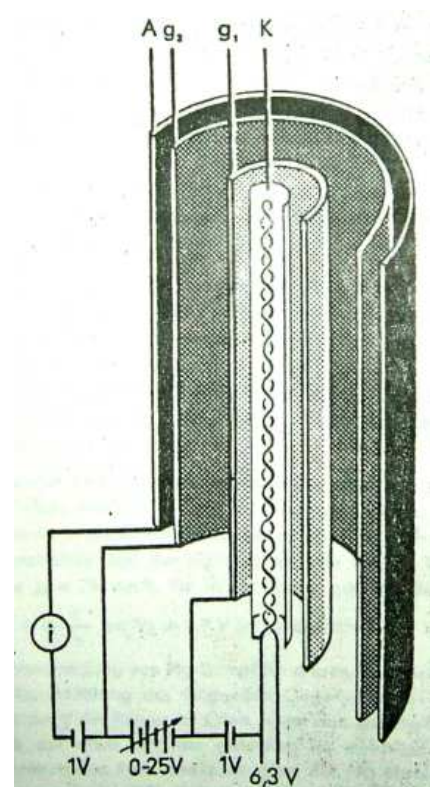
Es wird eine mit Quecksilberdampf gefüllte Röhre verwendet, deren Aufbau rechts dargestellt ist. Die Kathode K in der Mitte emittiert Elektronen, welche durch das Raumladungsgitter g_1 angezogen werden. Die Spannung an g_1 ist damit für die Anzahl der emittierten Elektronen verantwortlich. Diese Elektronen werden anschließend durch das Beschleunigungsgitter g_2 angezogen und beschleunigt. Dabei können die Elektronen während dem Flug mit Hg-Atomen kollidieren. Außerhalb von g_2 befindet sich eine Anode, die ein Gegenfeld zu den Elektronen aufbaut. Haben die Elektronen nach dem Stoß noch genügend Energie, so kommen sie gegen das Feld an und treffen auf die Anode. Es kann so der Strom I_A gemessen werden, der jedoch so gering ist, dass er zunächst verstärkt werden muss. Haben die Elektronen dagegen nur noch wenig Energie, kommen sie nicht mehr gegen das Feld an.

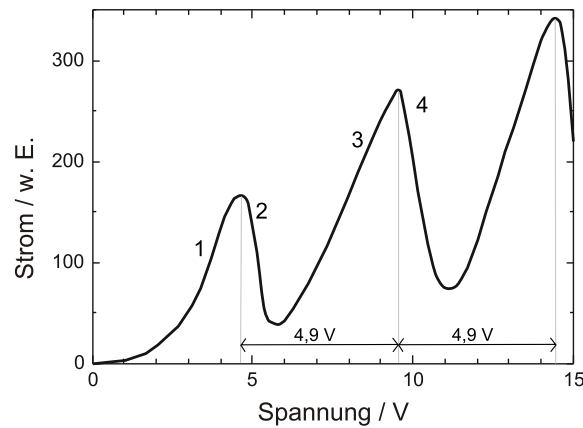
Wird nun die Spannung U_2 an g_2 variiert, ändert sich die Gesamtenergie der Elektronen in gleicher Richtung. Bei steigender Energie der Elektronen ist zunächst ein Ansteigen des Stromes I_A zu beobachten. Die Elektronen führen elastische Stöße mit den Hg-Atomen durch und verlieren dabei nur sehr wenig ihrer ursprünglichen Energie.

Wird U_2 weiter erhöht, so erreichen die Elektronen ab einem bestimmten Punkt die kleinste Anregungsenergie von Hg, die bei $4,89 \text{ eV}$ liegt. Ab dieser Energie können unelastische Stöße mit den Hg-Atomen erfolgen. Dabei verlieren die Elektronen genau diese Anregungsenergie und können so nicht mehr das Gegenfeld überwinden. Daher ist nur ein sehr geringer Strom bei I_A zu messen.

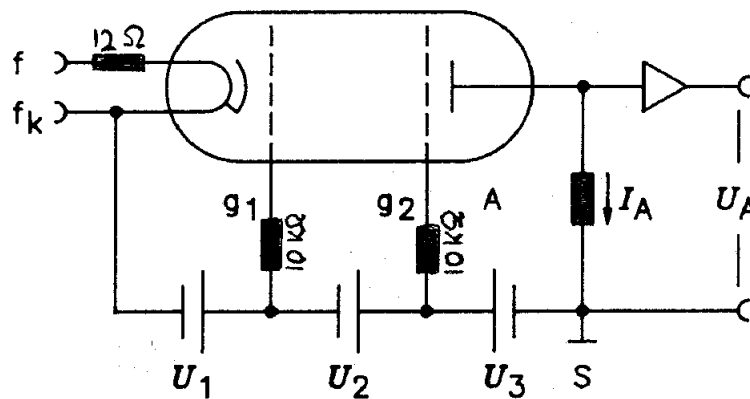
Weiteres Erhöhen der Spannung führt zunächst wieder zu einem Anstieg von I_A , dann wiederum zu einem Abfall mit Tiefpunkt, wenn die Energie für einen zweiten unelastischen Stoß ausreicht.

Gleichzeitiges Auftragen von I_A über die Spannung U_2 liefert daher eine Franck-Hertz-Kurve, die etwa so aussieht:





Die von uns verwendete Schaltung kann schematisch folgendermaßen dargestellt werden:



Als Beschleunigungsspannung U_2 haben wir die Wahl zwischen einer Sägezahnspannung (0 – 30 V) zur Aufnahme an einem Oszilloskop, einer linearen Rampe für Speicheroszilloskope oder einer Gleichspannung für einen konstanten Wert von I_A zur Momentaufnahme. I_A wird durch die abfallende Spannung U_A an einem Widerstand dargestellt.

Da sich in der Röhre lediglich Hg-Atome befinden, kann über die Anzahl der Atome und die Temperatur der Röhre bestimmt werden, wie viele Atome sich in der Gasphase befinden sollen. Aus diesem Grund befindet sich die Röhre in einem Ofen mit variabler Temperatureinstellung.

Die mittlere freie Weglänge λ der Elektronen lautet:

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

Hier bezeichnet σ die Querschnittsfläche der Hg-Atome, n die Hg-Anzahldichte, k die Boltzmann-Konstante und T die absolute Temperatur. p ist der Hg-Dampfdruck, der wiederum von der Temperatur T abhängig ist. Im Bereich von 0° C bis 250° C gilt

$$p = 8,7 \cdot 10^7 \cdot 10^{\frac{-3110 \text{ K}}{T}} \text{ mbar}$$

Die mittlere freie Weglänge λ sinkt also bei steigender Temperatur, es sind daher mehr Stöße zu erwarten. Bei Raumtemperatur ist die Weglänge der Elektronen zu groß, um genügend Stöße für eine Franck-Hertz-Kurve zu erhalten. Daher muss die Röhre zunächst mit einem Ofen erhitzt werden. Bei zu hohen Temperaturen treten zu viele elastische Stöße auf, die das Messergebnis verfälschen können.

Aufgabe 1.2: Kleinste Anregungsenergie von Hg

Nachdem die Hg-Röhre nun vollständig aufgebaut und verkabelt ist, soll sie in Betrieb genommen werden. Wir verwenden ein Speicheroszilloskop im XY-Betrieb zur Darstellung des Messstromes I_A .

Bei verschiedenen Temperaturen zwischen 120°C und 170°C sollen zunächst die günstigsten Betriebsbedingungen durch Beobachtung des Signals am Oszilloskop herausgefunden werden. Dabei können wir die Stromstärke der Kathodenheizung, die Spannung U_1 am Raumladungsgitter g_1 und die Gegenspannung U_3 variieren. Sind diese Bedingungen gefunden, wird die Franck-Hertz-Kurve bei den verschiedenen Temperaturen aufgenommen. Dies erfolgt sowohl bei durchlaufender Rampe sowie auch als Einmalvorgang. Die Bilder, die wir über diese beiden Methoden aufnehmen, sollen anschließend miteinander verglichen werden.

Aus den aufgenommenen Kurven können wir nun die kleinste Anregungsenergie $\overline{E}_A$ von Hg bestimmen. Diese erhalten wir durch Mittelung $\overline{U}_A$ der Abstände zwischen zwei benachbarten Maxima der Kurve. Schließlich soll noch die Kontaktspannung U_K bestimmt werden, welche durch unterschiedliche Austrittsarbeiten an Kathode und Anode sowie durch Temperaturunterschiede an den Materialübergängen ergibt. Diese lässt sich mit Werten, die aus den Kurven zu bestimmen sind, berechnen:

$$U_K = U_{1, \text{Max}} + U_1 - \overline{U}_A$$

Aufgabe 1.3: Raumladungsgesetz

Es soll der Anodenstrom in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung bei einer Temperatur von 150°C aufgetragen werden. Bei einer Vakuumröhre würde dieser Verlauf durch das Schottky-Langmuirsche Raumladungsgesetz beschrieben werden. Allerdings ist die Röhre im Versuch mit Hg-Atomen gefüllt. Aus der Vorbereitungshilfe wird daher eine modifizierte Gleichung entnommen, welche die stromhindernden Gasatome berücksichtigt:

$$I_{\text{Anode}} \approx \lambda U_2^{\frac{3}{2}}$$

Hierbei bezeichnet U_2 die Beschleunigungsspannung und λ die mittlere freie Weglänge der Elektronen. Diese wurde zuvor bereits in Gleichung (1) angegeben. Zur Berechnung von λ fehlt lediglich ein Wert für den Wirkungsquerschnitt σ der Hg-Atome. Für diesen kann man die Querschnittsfläche einsetzen, welche in der Vorbereitungshilfe mit $\sigma \cong 8 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$ angegeben ist.

Wir erwarten bei der Anodenstromkurve keine Franck-Hertz-Kurve, da der Strom I_{Anode} an der Anode, nicht aber beim Auffänger gemessen wird. Hier spielt lediglich die Anzahl der Elektronen eine Rolle, nicht aber ihre Energie, da kein Gegenfeld überwunden werden muss.

Durch logarithmisches Auftragen der Messwerte sollten sich die Messpunkte zu einer Geraden mit der Steigung $\frac{3}{2}$ ergeben.

Aufgabe 1.4: Ionisierungsarbeit W_{ion} von Hg

In diesem Teilversuch soll die Ionisierungsarbeit W_{ion} von Hg auf zwei Wegen ermittelt werden. Ionisation bedeutet, dass wir die Hg-Atome mit Elektronen derart hoher Energie beschießen, sodass diese ausreicht, um Elektronen aus den Atomen herauszulösen. Die Energie für die einfache Ionisation der

Hg-Atome beträgt $10,44\text{ eV}$. Um Elektronenenergien auf diesem hohen Niveau im Versuch zu erreichen, müssen diese über eine lange Zeit beschleunigt werden, ohne dabei durch Stöße wieder Energie zu verlieren. In Aufgabe 1.1 wurde bereits der Zusammenhang zwischen Temperatur der Röhre und der mittleren freien Weglänge λ der Elektronen gezeigt. Dementsprechend ist es sinnvoll, die Temperatur herabzusetzen, um eine niedrige Stoßwahrscheinlichkeit zu erhalten. Wir wählen eine Temperatur im Bereich von 110°C bis 130°C .

Zusätzlich sollte das Raumladungsgitter g_1 anstelle des Anodengitters g_2 verwendet werden, um die Beschleunigungsstrecke zu verkürzen und so die Stoßwahrscheinlichkeit zu senken. Damit erhalten wir eine höhere Elektronenenergie.

Eine mögliche Ionisation der Hg-Atome kann nun folgendermaßen erkannt werden:

- (a) Bei der Ionisation werden positive Ionen erzeugt, welche in Kathodennähe die Raumladung senken. Dadurch ist ein steiler Anstieg des Anodenstroms zu beobachten, sobald die Ionisation auftritt.
- (b) Im Anoden-Auffänger-Raum bewirken die positiven Ionen in der Auffängerleitung einen zu den Elektronen entgegengesetzten Strom, wodurch der gemessene Strom I_A sinkt.

Über diese beiden Wege soll nun die Ionisierungsarbeit W_{ion} von Quecksilber bestimmt werden.

Für die erste Methode messen wir mit einem Multimeter den Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung, für die zweite Methode tragen wir an einem Oszilloskop den Auffängerstrom auf. Durch geeignete Eichung ergibt sich so die Ionisierungsarbeit.

Aufgabe 1.5: Sichtbares Spektrum einer Gasentladung

Verbinden sich durch Ionisation erzeugte Hg^+ Ionen wieder mit freien Elektronen, so kommen viele verschiedene Energieübergänge bis hin zum Grundzustand vor. Bei diesen Übergängen werden Photonen freigesetzt, welche mit einem Taschenspektroskop beobachtet werden können. Laut Vorbereitungshilfe liegen die kräftigsten Emissionslinien von Quecksilber bei 405 nm , 408 nm , 436 nm (violett), 493 nm (blau), 546 nm (grün) und 597 nm (gelb).

Die zu zündende Gasentladung beschädigt die Apparatur nicht, da der $10\text{ k}\Omega$ Widerstand den Anodenstrom begrenzt. Diesen Widerstand haben wir bei den vorigen Aufgabenteilen nicht berücksichtigen müssen, da der gesamte Widerstand der Elektronenröhre bei den geringen Strömen sehr viel größer war, als der der äußeren $10\text{ k}\Omega$ Widerstände. Die außen abgefallene Spannung war daher verschwindend gering und musste nicht berücksichtigt werden.

Aufgabe 2: Nächst höhere Anregungsenergie

Mit dem bisher verwendeten Aufbau der Röhre ist es unwahrscheinlich, höhere Anregungsenergien über der ersten zu erreichen, da die Elektronen vor einem Stoß fast ausschließlich Energien für die niedrigste Anregung besitzen. Wir müssen also ähnlich wie in Aufgabenteil 1.4 die Energie der Elektronen vor dem Stoß erhöhen. Die Wahrscheinlichkeit P für einen unelastischen Stoß ist proportional zu $\frac{a}{\lambda}$, wobei a die Länge der Beschleunigungsstrecke bezeichnet.

Wir benutzen also wieder g_1 als Beschleunigungsgitter und verringern die Temperatur auf etwa 120°C .

Zwischen g_1 und g_2 haben wir nun einen großen Stoßraum erzeugt, in welchem voraussichtlich die erste und zweite Anregung durch inelastische Stöße vorkommen werden. Um eine Gasentladung durch die hohen Energien der Elektronen zu vermeiden, wird zusätzlich die Heizspannung der Kathode gesenkt.

Mit Hilfe eines Oszilloskops betrachten wir wieder die Franck-Hertz-Kurve. Es ist zu erwarten, dass diese nun nicht mehr dem sauberen Verlauf wie in Aufgabe 1 entspricht, da sie sich aus einer Überlagerung der ersten beiden Anregungszustände bei 4,89 eV und 6,70 eV zusammensetzt.

Mögliche höhere Anregungszustände werden wir mit dieser Methode voraussichtlich nicht beobachten können.

Aufgabe 3: Franck-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre

In diesem letzten Versuchsteil wird die bisherige Hg-Röhre durch eine Neon Röhre mit ähnlichem Aufbau ersetzt. Da Neon bei Raumtemperatur bereits gasförmig ist, entfällt bei diesem Versuch das Aufheizen. Durch eine Temperaturänderung ließe sich lediglich der Gasdruck ändern, nicht jedoch die Teilchendichte.

Es soll nun die mittlere Anregungsenergie von Neon bestimmt werden. Wir können hier nicht die exakte Energie bestimmen, da es sich um eine Gruppe von Energieniveaus in einem kleinen Bereich handelt. Diese Anregung können wir wie bisher mit einem Oszilloskop messen und sogar durch rotes emittiertes Licht direkt beobachten. Die mittlere Anregungsenergie wird entsprechend wie in Aufgabe 1.1 bei der Hg-Röhre bestimmt.

Quellenverzeichnis

Franck-Hertz-Kurve

<https://de.wikipedia.org/wiki/Franck-Hertz-Versuch>, abgerufen am 28.03.2012

Vorbereitungshilfe

Physikalisches Anfängerpraktikum P2

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

Auswertung

von

Georg Fleig (georg@leech.it)
Marcel Krause (mrrrc@leech.it)

Gruppe: Di-11

Datum der Versuchsdurchführung:
24.04.12

Aufgabe 1: Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Röhre

Aufgabe 1.1: Aufbau

Die Hg-Röhre war bereits in einer Box komplett aufgebaut und musste lediglich mit einer zweiten Box, die als Spannungsquelle und Messinstrument diente, verkabelt werden. Wir schalteten zuerst die Kathodenheizung ein und danach den Ofen, da sonst die Gefahr bestand, dass die Kathode mit Hg zugesetzt wird und so an Strahlungsleistung verliert. Da dies einer der Hauptgründe für die Alterungserscheinungen einer Franck-Hertz-Röhre ist, wollten wir dies unbedingt vermeiden.

Anschließend machten wir uns mit den verschiedenen Reglern der Spannungen U_1 bis U_3 sowie mit dem PicoScope-Programm zur Darstellung der Messung am PC vertraut.

Aufgabe 1.2: Kleinste Anregungsenergie von Hg

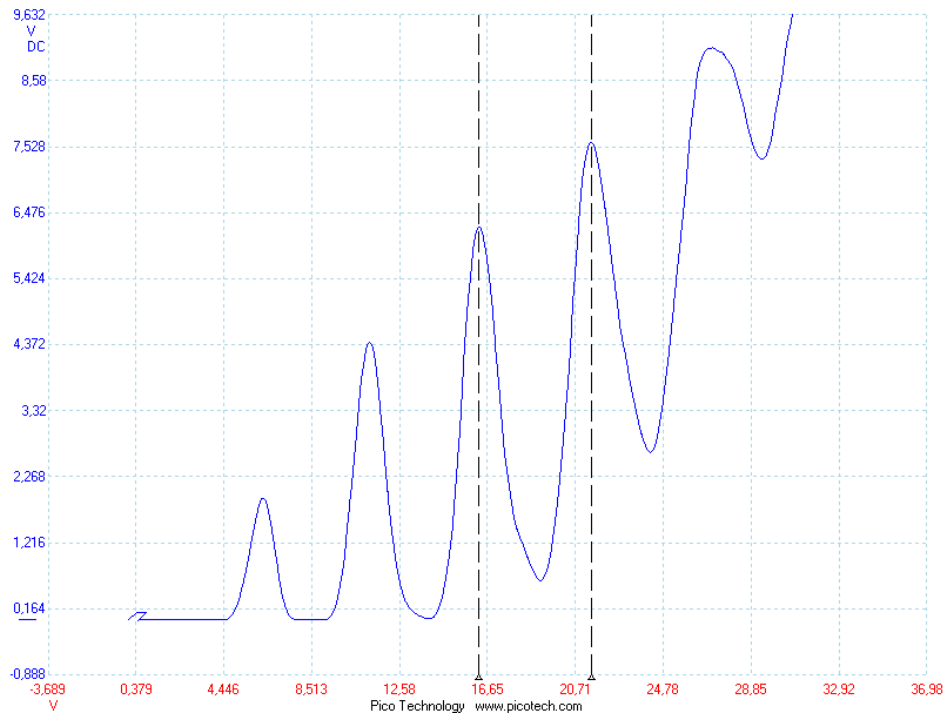
Nun sollte die erste Franck-Hertz-Kurve bei einer Temperatur vor 170°C aufgenommen werden. Unsere Heizung hatte leider nicht genügend Leistung, um die Solltemperatur zu erreichen, daher starteten wir in Absprache mit dem Betreuer bei einer Temperatur von 167°C .

Zunächst wählten wir als Beschleunigungsspannung U_2 eine Sägezahnspannung, die bis 30 V durchlief. Mit dem PicoScope haben wir den Auffangstrom I_A in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_2 am PC betrachten können. Währenddessen veränderten wir die Regler U_3 für das Gegenfeld, U_1 für das Raumladungsgitter und U_H für die Kathodenheizung um einen optimalen Verlauf der Kurve zu erhalten.

Die Kathodenheizung lief fast immer auf voller Leistung, damit möglichst viele Elektronen emittiert wurden. Lediglich bei der tiefsten Messtemperatur musste diese verringert werden, da sonst zu viele Elektronen detektiert wurden. Die Spannung des Raumladungsgitters haben wir auch recht groß gewählt, damit gewährleistet war, dass die emittierten Elektronen schnellst möglich von der Kathode abgesaugt und in die richtige Richtung beschleunigt wurden. Durch Variation der Spannung am Gegenfeld konnten wir die Maxima in der Kurve schmaler und damit deutlich sichtbarer machen. Dies liegt darin begründet, dass dann weniger Elektronen gegen das Feld ankamen.

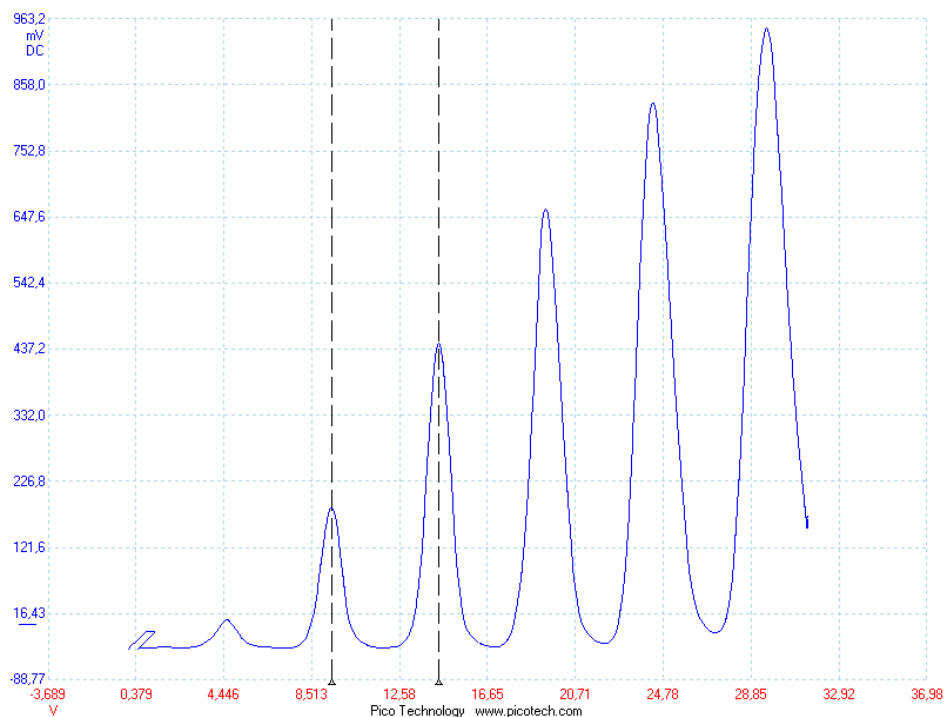
Waren die optimalen Parameter gefunden, nahmen wir die eigentliche Franck-Hertz-Kurve mit einer Rampe von $0 - 30\text{ V}$ auf, die wesentlich langsamer anstieg als die Sägezahnspannung. Am PC konnten wir direkt die Abstände der einzelnen Maxima bestimmen und damit auf die kleinste Anregungsenergie von Hg schließen. Da es sich bei den beschleunigten Teilchen um Elektronen handelte, entspricht ein Volt Spannungsunterschied genau einem eV Energieunterschied.

Im Folgenden sind die Franck-Hertz-Kurven bei 138°C sowie weiter unten bei 167°C dargestellt.



Es ist der typische Verlauf einer Franck-Hertz-Kurve zu erkennen, deren Entstehung bereits in der Vorbereitung diskutiert wurde. Bei einer Temperatur von 138°C war bereits das Maximum der ersten Anregung gut zu erkennen, es konnte daher von uns zur Auswertung verwendet werden.

Die gute Sichtbarkeit des ersten Maximums lässt sich damit begründen, dass wegen der niedrigen Temperatur und der daraus resultierenden geringeren Gasdichte weniger elastische Stöße erfolgten und die Elektronen so im Schnitt mehr Energie für einen unelastischen Stoß mit den Hg-Atomen hatten. Bereits beim fünften Maximum ist eine gewisse Unschärfe erkennbar, welche durch Überlagerung mehrerer Anregungszustände zustande kommt.



Bei 167 °C war das erste Maximum deutlich kleiner. Es wurde daher von uns in der Auswertung nicht berücksichtigt, damit wir genauere Messwerte erhielten.

In beiden Graphen kann man erkennen, dass das erste Maximum nicht genau den Abstand der kleinsten Anregungsenergie zum Anfangspunkt hat. Das rührt daher, dass zunächst die Kontaktspannung U_K überwunden werden musste. Diese Spannung wird anschließend noch berechnet.

In der nachfolgenden Tabelle finden sich die gemessenen Abstände der Maxima der Franck-Hertz-Kurve bei verschiedenen Temperaturen. Da bei Temperaturen ab 150 °C das erste Maximum nicht mehr klar erkennbar war, haben wir dort mit den Abständen ab dem zweiten Maximum gearbeitet. ΔM_i bezeichnet dabei die einzelnen Abstände zwischen den brauchbaren Maxima.

T in °C	ΔM_1 in V	ΔM_2 in V	ΔM_3 in V	Mittelwert ΔM in V	U_3 in V	U_H in V
120	5,06	5,16		5,11	0,96	3,87
138	4,92	5,05	5,19	5,05	3,1	6,42
150	5,01	5,02	5,08	5,04	3,25	6,42
157	4,93	5,01	4,99	4,98	3,25	6,42
167	4,96	4,96	4,97	4,96	3,25	6,42

Der Mittelwert der Abstände entspricht der kleinsten Anregungsenergie von Hg. Diese ist zusammen mit der Kontaktspannung U_K in der nächsten Tabelle dargestellt. Dort bezeichnet ΔM_0 den Abstand zwischen dem ersten brauchbaren Maximum und dem Anfang der Messung. Wurde hier das zweite Maximum gewählt, musste dies in der Formel zur Berechnung der Kontaktspannung berücksichtigt werden, indem die Anregungsenergie E_A zwei mal abgezogen wurde:

$$U_K = U_{1. \text{Max}} + U_1 - 2 \cdot \overline{U_A}$$

T in °C	E_A in eV	ΔM_0 in V	U_1 in V	U_A in V	U_K in V
120	5,11	3,48	3,51	5,11	1,88
138	5,05	6,19	0,57	5,05	1,71
150	5,04	9,56	2,27	5,04	1,76
157	4,98	9,50	2,27	4,98	1,82
167	4,96	9,39	2,27	4,96	1,73

Als Mittelwert für die kleinste Anregungsenergie erhalten wir

$$\overline{E_A} = 5,03 \text{ eV}$$

Damit haben wir eine Abweichung von 2,7% vom Literaturwert, welcher mit $E_{A, \text{Lit}} = 4,89 \text{ eV}$ angegeben ist. Die Messungen bei hohen Temperaturen kommen recht nahe an den Literaturwert heran, bei den niedrigen Temperaturen waren die Messwerte etwas erhöht.

Dies könnte daran liegen, dass bei den höheren Temperaturen die mittlere freie Weglänge wesentlich kleiner ist und die Elektronen so nach Erreichen der nötigen Energie für einen unelastischen Stoß sehr schnell stoßen, ohne weiter Energie für höhere Anregungen aufzunehmen. Dies liefert uns saubere Maxima mit fast konstanten Abständen. Eine weitere Fehlerquelle ist das ungenaue Ablesen der Maxima mit dem PicoScope. Diese waren nicht immer genau festzulegen.

Auf einen Mittelwert der Kontaktspannung wird aufgrund der Temperaturabhängigkeit verzichtet.

Aufgabe 1.3: Raumladungsgesetz

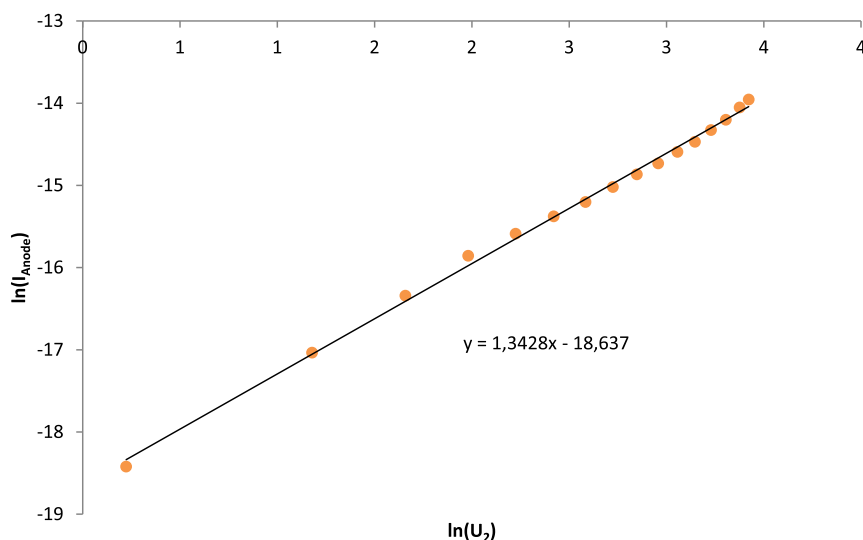
Bei dieser Teilaufgabe ging es darum, den Strom I_{Anode} am Gitter der Beschleunigungsspannung U_2 zu messen und zu untersuchen. Dabei galt es, folgenden Zusammenhang zu bestätigen:

$$I_{\text{Anode}} \approx \lambda U_2^{\frac{3}{2}}$$

Wir wählten eine Temperatur von 150 °C für die Röhre, da wir dort günstige Bedingungen erwarteten und die Kontaktspannung bereits berechnet haben. I_{Anode} wurde mit einem Ampèremeter gemessen, während wir die Beschleunigungsspannung U_2 schrittweise erhöhten. Zu U_2 mussten wir noch die Spannung des Raumladungsgitters an U_1 addieren, da U_2 relativ zu U_1 angegeben wird, aber U_1 auch mit berücksichtigt werden muss. Davon muss dann noch die Kontaktspannung $U_K = 1,76 \text{ V}$ der verwendeten Temperatur abgezogen werden. Nachfolgend sind die bereits modifizierten Messwerte zu sehen.

U_2 in V	I_{Anode} in μA	$\ln(U_2)$	$\ln(I_{\text{Anode}})$
1,25	0,01	0,22	-18,42
3,25	0,04	1,18	-17,03
5,25	0,08	1,66	-16,34
7,25	0,13	1,98	-15,86
9,25	0,17	2,22	-15,59
11,25	0,21	2,42	-15,38
13,25	0,25	2,58	-15,20
15,25	0,30	2,72	-15,02
17,25	0,35	2,85	-14,87
19,25	0,40	2,96	-14,73
21,25	0,46	3,06	-14,59
23,25	0,52	3,15	-14,47
25,25	0,60	3,23	-14,33
27,25	0,68	3,31	-14,20
29,25	0,79	3,38	-14,05
30,65	0,87	3,42	-13,95

Trägt man diese Messwerte logarithmisch gegeneinander auf, erhält man im besten Falle eine Gerade mit der Steigung $\frac{3}{2}$. Bei uns sieht der Graph folgendermaßen aus:



Die Steigung der Regressionsgeraden beträgt

$$m = 1,34$$

Die relative Abweichung beträgt -10,7% und ist damit ziemlich groß. Wir vermuten, dass dieses vereinfachte Gesetz einige Aspekte des Versuchsaufbaus nicht richtig berücksichtigt und vor allem die Eigenarten einer der verschiedenen Röhren vernachlässigt. Wie wir im Vorfeld des Versuchs erfahren haben, waren die Raumladungsgitter der Röhren jeweils unterschiedlich aufgebaut.

Während in den Röhren unserer Partnergruppen jeweils ein quaderförmiges Raumladungsgitter verbaut war, fand sich bei uns ein zylinderförmiges vor. Diese Eigenheiten berücksichtigt das oben genannte, vereinfachte Gesetz beispielsweise nicht, daher liegt die Vermutung nahe, dass die große Abweichung davon herrühren kann.

Werden U_1 und U_K vernachlässigt, wie es von anderen Gruppen bereits praktiziert wurde, erhalten wir einen wesentlich genaueren Wert für die Steigung. Allerdings halten wir dies für ein unkorrektes Vorgehen und haben darauf verzichtet.

Aufgabe 1.4: Ionisierungsarbeit W_{ion} von Hg

Um die Ionisierungsarbeit von Hg zu bestimmen, mussten wir zunächst die benötigten Voraussetzungen schaffen, die für die Ionisierung nötig sind. Dazu schlossen wir das Raumladungsgitter g_1 mit dem Anodengitter g_2 kurz, um die Stoßwahrscheinlichkeit zu senken und damit höhere Energien bei den beschleunigten Elektronen zu erhalten.

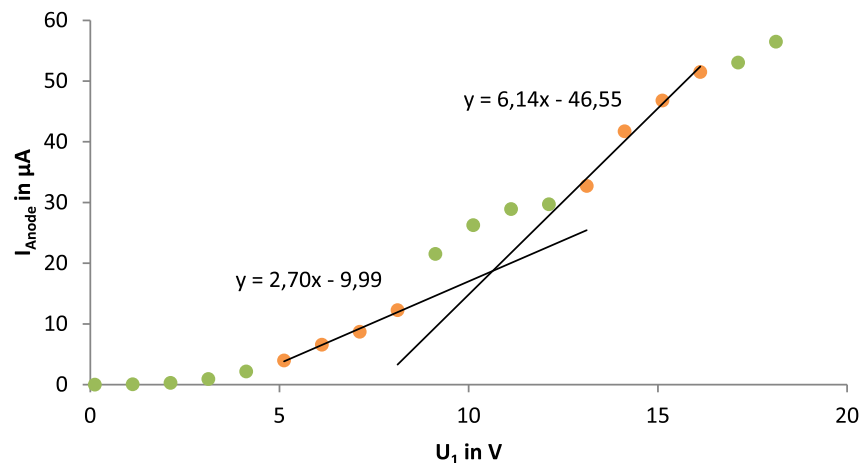
Außerdem wurde die Temperatur auf 120 °C abgesenkt um die Teilchendichte zu verringern. Die damit erhaltene höhere Energie der Elektronen reichte nun aus, um beim unelastischen Stoß mit den Hg-Atomen Elektronen aus diesen herauszulösen.

Es wurden zwei Methoden zur Bestimmung von W_{ion} verwendet, die auf unterschiedlichen Effekten beruhen. Diese wurden bereits in der Vorbereitung erläutert.

Bei der ersten Methode haben wir Anodenspannung und Anodenstrom gemessen und gegeneinander aufgetragen. Die Messwerte wurden bereits mit der Kontaktspannung $U_K = 1,88 \text{ V}$ dieser Temperatur korrigiert.

U_1 in V	I_{Anode} in μA
0,12	0,00
1,12	0,06
2,12	0,29
3,12	0,93
4,12	2,17
5,12	3,98
6,12	6,58
7,12	8,71
8,12	12,27
9,12	21,53
10,12	26,27
11,12	28,92
12,12	29,71
13,12	32,73
14,12	41,73
15,12	46,80
16,12	51,50
17,12	53,05
18,12	56,49

Durch Auftragen von I_{Anode} über U_1 ergibt sich folgendes Schaubild:



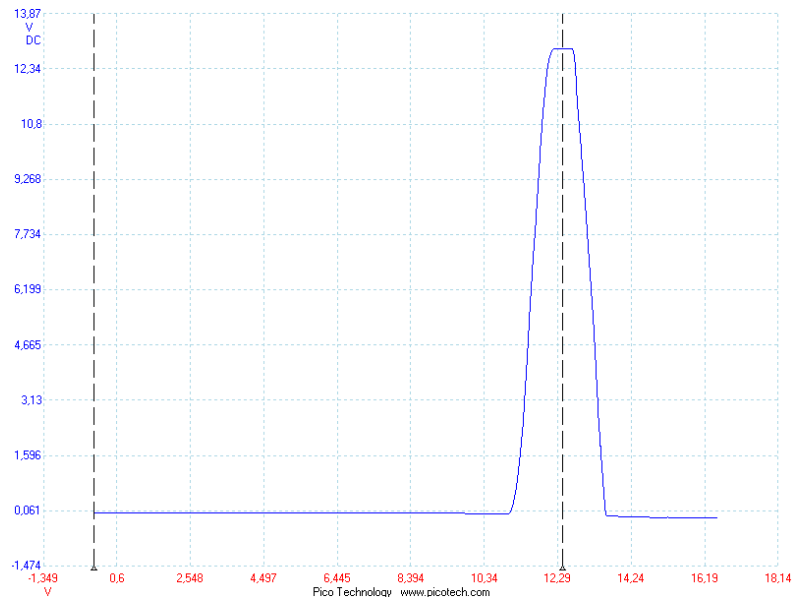
Eigentlich sollte hier nur ein sprunghafter Anstieg des Anodenstroms zu beobachten sein. Dieser tritt durch die positiven Ionen im Gasraum auf, welche wiederum die Raumladung in der Nähe der Kathode herabsetzen. Aufgrund unbekannter Effekte sind bei unserer Messung zwei solcher Sprünge zu sehen, weshalb wir zwei Regressionsgeraden durch vernünftig gewählte Messpunkte (orange markiert) legten und deren Schnittpunkt berechneten. So kommen wir auf eine Ionisierungsenergie für Hg von

$$W_{\text{ion}} = 10,63 \text{ eV}$$

Der Literaturwert wird mit $W_{\text{ion,Lit}} = 10,44 \text{ eV}$ angegeben, somit haben wir eine ziemlich geringe relative Abweichung von nur 1,8%. Wegen der beiden Sprünge und der damit zusammenhängenden Auswahl an vernünftigen Messpunkten halten wir diese Methode jedoch nicht für sonderlich genau. Durch Absprache mit unserem Betreuer haben wir abgeklärt, dass das Vorhandensein beider Sprünge

eine Eigenart der von uns verwendeten Röhre darstellte, die sich bisher nicht genauer erklären lies.

Bei der zweiten Methode haben wir mittels PicoScope den Abfall des Aufängerstroms I_A registriert und daraus direkt die Ionisierungsarbeit bestimmt. Die Kurve ist nachfolgend zu sehen:



Wir legten die Mitte des Peaks als Wert fest, von welchem noch die Kontaktspannung abgezogen werden muss.

$$W_{\text{ion}} = E_{\text{Abfall}} - U_K = 12,41 \text{ eV} - 1,88 \text{ eV} = 10,53 \text{ eV}$$

Dieser Wert liegt mit einer Abweichung von nur 0,9% noch näher am Literaturwert. Jedoch weist auch diese Methode eine gewissen Unsicherheit auf, da es nicht ganz klar ist, wo genau der Wert für den Spannungsabfall gesetzt werden soll.

Aufgabe 1.5: Sichtbares Spektrum einer Gasentladung

Als letzten Versuch der ersten Aufgabe haben wir die Gasentladung noch optisch mit einem Taschenspektroskop untersucht. Dazu haben wir zunächst die Spannung so eingestellt, dass sich noch keine Gasentladung eingestellt hat. Wir betrachteten das Zentrum der hellrot glühenden Kathode durch das Spektroskop und fanden ein kontinuierliches Spektrum, welches sich von rot über orange-gelb bis grün erstreckte. Dies war auch zu erwarten, da die Glühkathode als schwarzer Strahler temperaturabhängige Spektren emittiert. Da die Kathode sichtbar rot glühte, lag das Hauptmaximum auch im Bereich zwischen dem roten und orangen Bereich.

Anschließend haben wir die Spannung so hochgeregelt, dass sich eine Gasentladung eingestellt hat. Durch das Spektroskop betrachtet ergab sich nun ein scharfes Linienspektrum mit den stärksten Linien im violetten, grünen, blauen und gelben Bereich, so wie wir es in der Vorbereitung vorhergesagt haben. Zusätzlich fanden wir noch eine abgeschwächte Linie im roten Spektralbereich, welche wir erneut der Glühkathode zuordnen, da diese nicht Teil des charakteristischen Spektrums von Quecksilber ist.

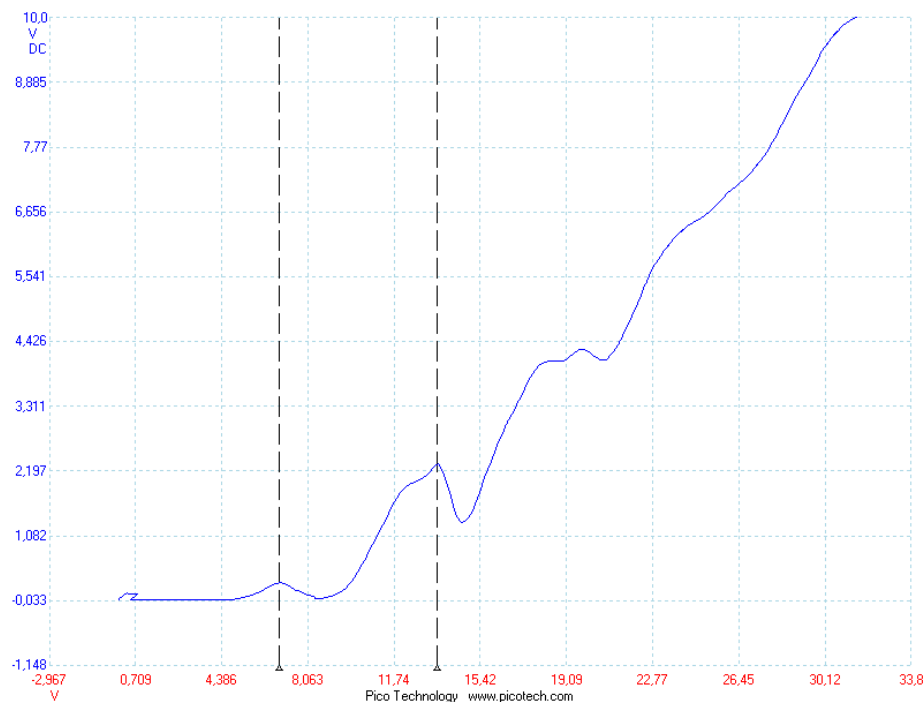
Die Ionisation des Quecksilbers mit anschließender Absorption von Elektronen führt dazu, dass die Elektronen kaskadenartig die einzelnen Energieniveaus des Quecksilbers hinabfallen. Jeder Sprung zwischen zwei Niveaus führt zur Emission eines Photons charakteristischer Wellenlänge. Da nur gewisse, diskrete

Energieniveaus im Quecksilber vorkommen, ergibt sich so ein charakteristisches Linienspektrum. Als Überlagerung aller Wellenlängen erkennt man mit bloßem Auge ein weiß-bläulich schimmerndes Licht, welches wir von Quecksilberdampf-Lampen kennen.

Aufgabe 2: Nächsthöhere Anregungsenergie

Im ersten Aufgabenteil waren wir bemüht, stets nur die niedrigste Anregungsenergie des Quecksilbers zu erreichen, nun wollen allerdings gezielt neben der niedrigsten auch die nächsthöhere Anregungsenergie betrachten. Wie in der Vorbereitung bereits angesprochen modifizieren wir den Versuchsaufbau dabei gemäß Aufgabe 1.4, indem wir das Raumladungsgitter g_1 mit dem Beschleunigungsgitter g_2 kurzschließen.

Dadurch erreichen wir eine Verringerung der eigentlichen Beschleunigungsstrecke der Elektronen und damit eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass inelastische Stöße mit hochenergetischen Elektronen stattfinden können. Gleichzeitig haben wir die Temperatur auf $\vartheta = 120^\circ\text{C}$ verringert. Dadurch erhöht sich die mittlere freie Weglänge der Elektronen, sodass ihnen im Mittel genug kollisionsfreier Weg zur Verfügung steht, um das gewünschte Energieniveau zu erreichen.



Wir haben dann wie zuvor über eine lineare Rampe eine Franck-Hertz-Kurve aufgenommen, die oben dargestellt wurde. Der geneigte Leser findet diese auch noch einmal im Anhang des Protokolls in vergrößerter Form vor. Die Darstellung einer möglichst sauberen Franck-Hertz-Kurve war, auch nach Bestätigung durch unseren Betreuer, bei der von uns verwendeten Röhre sehr schwierig, sodass wir mit einem eher undeutlichen Graphen vorlieb nehmen mussten.

Auf der Kurve sind dennoch die ersten fünf Maxima recht deutlich zu erkennen. Es handelt sich bei diesen Spannungen respektive Energien E um Linearkombinationen der niedrigsten Anregungsenergie

E_1 und der nächsthöheren Anregungsenergie E_2 genau so, dass

$$E = \alpha \cdot E_1 + \beta \cdot E_2$$

mit $\alpha, \beta \in \mathbb{N}_0$ erfüllt ist. Damit wir Aussagen über die Energien treffen können, korrigieren wir die Spannungen der Maxima in der obigen Kurve zunächst durch die Kontaktspannung $U_K = 1,88 \text{ V}$, wie wir sie in Aufgabe 1.2 für diesen Temperaturbereich bestimmt haben. Dort haben wir außerdem das Energieniveau E_1 zu $E_1 = 5,11 \text{ eV}$ bestimmt, wovon wir hier ausgehen wollen. Als groben Richtwert für E_2 nehmen wir den Literaturwert mit $E_2 = 6,7 \text{ eV}$.

Die aufgenommenen Messwerte sind in nachfolgender Tabelle dargestellt. Dort finden sich außerdem bereits die Werte α und β , die wir für den jeweiligen Peak annehmen. Die bereits bestimmte Energie E_1 und der Literaturwert von E_2 dienen uns hier als grobe Richtwerte.

Peak	U in V	U _{kor} in V	E in eV	α	β	E ₂ in eV
1	6,85	4,97	4,97	1	0	-
2	12,57	10,69	10,69	2	0	-
3	13,63	11,75	11,75	1	1	6,64
4	18,60	16,72	16,72	2	1	6,50
5	19,76	17,88	17,88	1	2	6,39

Da in obiger Gleichung die von uns vermuteten Werte α und β sowie die bestimmten Energien E und E_1 bekannt sind, kann man diese nach E_2 umformen. Dies wurde in der Tabelle ebenfalls dort ausgeführt, wo es sinnvoll ist. Als Mittelwert über diese drei Werte erhalten wir somit $E_2 = 6,51 \text{ eV}$, was einer Abweichung von $-2,84\%$ vom Literaturwert entspricht.

Diese Abweichung ist zum einen auf das von uns verwendete Energieniveau E_1 zurückzuführen, welches ebenfalls vom Literaturwert abweicht, zum anderen auf die relativ ungenaue Ablesung der Maxima in der Franck-Hertz-Kurve. Dies fällt bereits ab dem zweiten Maximum schwer ins Gewicht, da die Peaks nur undeutlich zu erkennen waren. Trotz der schwierigen Ablesung sind wir mit dem von uns bestimmten Wert zufrieden, da er relativ nah am Literaturwert liegt.

Wir wollen noch kurz diskutieren, warum die Maxima der Kurve in höheren Spannungsbereichen immer unschärfer werden. Mit steigender Beschleunigungsspannung finden elastische und für uns relevante inelastische Stöße immer häufiger statt. Damit steigt auch die Anzahl möglicher Linearkombinationen, welche alle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit realisiert werden. Diese überlagern sich in der Kurve derart, dass wir in oberen Spannungsbereichen nur noch ein nicht mehr nach Peaks auflösbares Rauschen erhalten.

Aufgabe 3: Franck-Hertz-Versuch mit Ne-Röhre

Als abschließende Aufgabe führten wir den Franck-Hertz-Versuch mit einer Neon-Röhre zur Demonstration zusammen mit unserem Betreuer und den anderen zwei Gruppen durch. Die Röhre war bereits vollständig aufgebaut und mit einem analogen Oszilloskop verkabelt.

Wie in der Vorbereitung bereits geklärt musste die Röhre nicht mehr aufgeheizt werden, da Neon bereits bei Raumtemperatur vollständig in der Gasphase vorliegt. Lediglich die Kathode wurde zur ausreichenden Emission von Elektronen aufgeheizt. Unser Betreuer regelte die Spannungen an der Röhre geeignet, bis sich eine gut sichtbare Franck-Hertz-Kurve ergab.

Die Skalierung des Oszilloskops war auf 2 V/div eingestellt. Da auf dem Versuchsblatt eine Kontaktspannung von $U_K = 2\text{ V}$ angegeben war, müssen wir diese noch zusätzlich in den Skalierungsfaktor einschließen. Da die Skalierung auf 2 V/div vorgegeben ist, ist der Skalierfaktor für die Spannung $\frac{1}{35}$, daher ergibt sich als Korrektur der Term $-2,5 \cdot \frac{1}{35}$ und der resultierende Skalierungsfaktor zu $1,93\text{ V/div}$. Da uns das Oszilloskop keine Möglichkeit gab, Abstände zu vermessen, haben wir die Kästchen bis zu einzelnen Peaks gezählt und dann mit dem Skalierungsfaktor multipliziert. Dadurch ergaben sich die gesuchten Spannungswerte. Als Abstand von der Nulllinie bis zum ersten Peak zählten wir so 11 Kästchen, was einer Spannung von $21,21\text{ V}$ entspricht. Außerdem haben wir noch die Abstände zwischen dem ersten und zweiten sowie zweiten und dritten Peak ausgezählt und umgerechnet. Diese Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle festgehalten.

Anzahl Kästchen	ΔU in V	E in eV
9,5	18,32	18,32
10,5	20,25	20,25

Durch Mittelung der beiden Werte erhalten wir so direkt wie angelegte Spannung und daraus unmittelbar die mittlere Anregungsenergie des Neons, die bei uns bei ungefähr $E = 19,29\text{ eV}$ lag. Dieser Wert liegt leicht über der erwarteten Anregungsenergie. Dies führen wir darauf zurück, dass die Bestimmungs-genauigkeit der Peaks auf den recht groben Skaleneinteilungen des analogen Oszilloskops begrenzt war. Eine genaue Bestimmung der Spannungswerte war so nicht möglich, daher erwarten wir auch hier eine gewisse Abweichung.

Zur weiteren Demonstration der Unterschiede zur mit Quecksilber gefüllten Röhre durften wir die Spannung unter gleichzeitiger Beobachtung der Röhre manuell vom Minimum zum Maximum regeln. Dabei konnten wir bereits bei geringen Spannungen die Ausbildung eines orange-roten Rings erkennen, welcher langsam zu einem Ende der Röhre wanderte. Ein Erhöhen der Spannung sorgte neben dem Ausbilden weiterer Ringe auch zu einer rascheren Bewegung derselben zum Ende der Röhre. Schließlich ergab sich im Maximum der Spannung ein diffuses Glimmen in der gesamten Röhre.

Obwohl die Anregungsenergie bei Neon noch deutlich über der von Quecksilber liegt war es uns möglich, orange-rote Ringe zu erkennen, also Emissionen im sichtbaren elektromagnetischen Spektrum. Dies liegt darin begründet, dass Neon sehr viele verschiedene Energieniveaus besitzt, die sich energetisch nur sehr gering voneinander unterscheiden. Findet ein inelastischer Stoß zwischen Elektron und Neon statt, so fällt das Elektron kaskadenartig in viele Unterniveaus. Durch die geringe Energiedifferenz liegt die Wellenlänge der emittierten Photonen im sichtbaren Bereich.

Als weiterer Unterschied zu den vorangegangenen Versuchen mit der Hg-Röhre sei angemerkt, dass durch die Vielzahl vorhandener Energieniveaus geringer Energiedifferenzen von uns nur eine mittlere Anregungsenergie bestimmt werden konnte.