

Versuchsprotokoll

Franck-Hertz-Versuch

FHZ

Versuchsprotokoll von

Alexander Ilyin, Paul Edinger

ilyia05@zedat.fu-berlin.de, paul.se@fu-berlin.de

Tutor*in: J. Sala

Physikalisches Grundpraktikum II, WS 2024/25

Berlin, 19.02.2025

Freie Universität Berlin

Fachbereich Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	2
2 Physikalische Grundlagen	2
3 Aufgabenstellung	5
4 Durchführung	5
4.1 Geräte	5
4.2 A4: FH-Kurve aufnehmen (Ne bei Zimmertemperatur)	5
4.3 A1: FH-Kurve beobachten und optimieren (Hg bei 190°C)	7
4.4 A2: FH-Kurve aufnehmen (Hg bei 190°C)	8
4.5 A3: FH-Kurven (Hg) für 150°C und 210°C registrieren	8
5 Auswertung	8
5.1 Bestimmung der Übergangsenergie bei Quecksilber mit Franck-Hertz-Kurve (A1)	8
5.2 Messfehler	11
5.3 Aufnahme der Neon-Franck-Hertz-Kurve (A2)	12
6 Zusammenfassung und Diskussion	13
6.1 Franck-Hertz-Kurve bei Quecksilber	14
6.2 Franck-Hertz-Kurve bei Neon	15

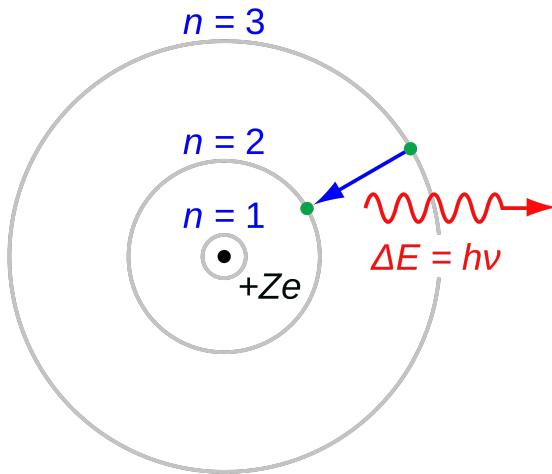


Abbildung 1: Bohr-Modell eines Atoms: Der positiv geladene Atomkern ($+Ze$) ist von Elektronenschalen umgeben. Ein Elektron wechselt von der dritten auf die zweite Schale, wobei ein Photon mit der Frequenz ν emittiert wird. JabberWok 2007

1 Einführung

Historisch war der Franck-Hertz-Versuch (1914) ein Meilenstein in der Quantenphysik, da er erstmals experimentell die Existenz diskreter Energieniveaus in Atomen bestätigte und das Bohrsche Atommodell unterstützte. Die Erkenntnisse aus diesem Experiment sind grundlegend für das Verständnis atomarer und molekularer Prozesse, die in der Materialforschung, Chemie und Quantentechnologie Anwendung finden. Der Franck-Hertz-Versuch demonstriert die Quantisierung atomarer Energieniveaus durch unelastische Elektronen-Atom-Stöße.

In diesem Experiment wird die charakteristische Strom-Spannungs-Kurve für Quecksilberdampf (bei 150°C , 190°C , 210°C) und Neon (bei Raumtemperatur) untersucht, um Übergangsenergien, Wellenlängen und Frequenzen der emittierten Photonen zu bestimmen. Die Analyse der Kurvenverläufe bei variierter Temperatur ermöglicht Rückschlüsse auf temperaturabhängige Effekte im Anregungsprozess.

2 Physikalische Grundlagen

Ein Atom besteht aus einem positiv geladenen Atomkern, der Protonen und Neutronen enthält, und einer negativ geladenen Elektronenhülle.

Nach dem **Bohrschen Atommodell** können sich Elektronen nur auf bestimmten, diskreten Bahnen oder Energieniveaus aufhalten (siehe Abbildung 1). Diese Niveaus sind quantisiert, sodass ein Elektron nicht jede beliebige Energie annehmen kann, sondern nur bestimmte, für das jeweilige Atom charakteristische Werte. Ein Elektron auf einem höheren Energieniveau besitzt eine größere Energie als auf einem niedrigeren. Obwohl das Bohrsche Modell mittlerweile durch modernere Quantentheorien erweitert wurde, bleibt das Konzept der Energieniveaus gültig, da es sich experimentell bestätigen lässt.

Ein Elektron kann durch Energiezufuhr (z. B. durch Stöße mit anderen Elektronen) auf ein höheres Energieniveau angehoben werden. Dieser Prozess wird als **Anregung** bezeichnet. Fällt das Elektron anschließend in seinen ursprünglichen Zustand zurück, wird die zuvor aufgenommene Energie in Form eines Photons mit einer bestimmten Frequenz f emittiert. Die Energie dieses Photons E_{Ph} folgt der Beziehung:

$$E_{Ph} = hf \quad (1)$$

wobei h das Plancksche Wirkungsquantum ist.

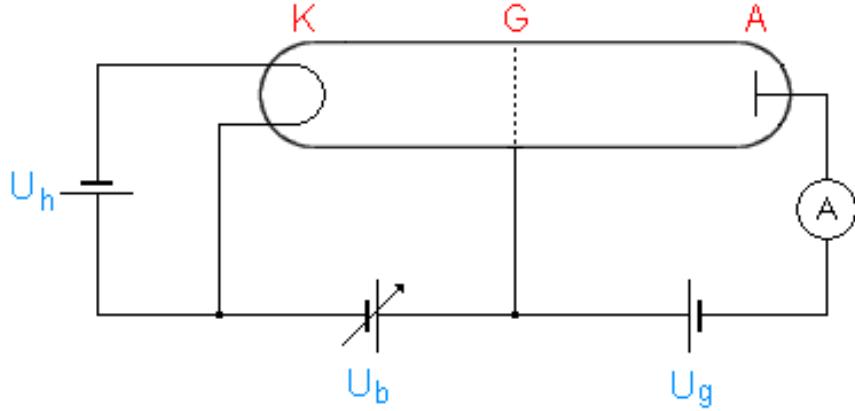


Abbildung 2: Prinzipschaltbild (nicht maßstäblich) einer Franck-Hertz-Röhre (mit Glühkathode (K), Gitteranode (G), Auffängerelektrode (A), Heizspannung (U_h), Beschleunigungsspannung (U_b) und Gegenspannung (U_g)) Wikipedia 2006b

Stoßionisation tritt auf, wenn ein freies Elektron oder Teilchen durch einen Stoß genug kinetische Energie auf ein gebundenes Elektron überträgt, um es aus dem Atom zu lösen. Die dafür nötige Mindestenergie heißt **Ionisationsenergie** E_{ion} . Mathematisch gilt:

$$E_{\text{kin}} \geq E_{\text{ion}}.$$

Dieser Prozess unterscheidet sich von der **Anregung**, bei der das Elektron nur ein höheres Energieniveau erreicht, ohne das Atom zu verlassen.

Die Franck-Hertz-Röhre

Die Franck-Hertz-Röhre ist ein Experimentieraufbau, der zur experimentellen Bestätigung der Quantennatur der Energieübertragung zwischen Elektronen und Atomen dient. Sie besteht aus einer evakuierten Glaskugel, die mit einem Edelgas (z. B. Neon oder Quecksilberdampf) gefüllt ist. Im Inneren der Röhre befinden sich eine beheizte Kathode, ein Gitter und eine Auffängerelektrode (siehe Abbildung 2).

Elektronen (mit der Elementarladung e) werden durch die thermische Emission der Kathode freigesetzt und durch eine angelegte Beschleunigungsspannung U_B in Richtung der Auffängerelektrode beschleunigt. Die kinetische Energie berechnet sich dabei:

$$E_{\text{kin}} = eU_B \quad (2)$$

Treffen die Elektronen auf Atome des Füllgases, können sie bei Erreichen einer bestimmten kinetischen Energie diese durch unelastische Stöße auf die Atome übertragen. Dies führt zur Anregung der Atome, die daraufhin Licht emittieren.

Die typische Form der Kurve lässt sich wie folgt beschreiben:

- Bei niedrigen Beschleunigungsspannungen steigt der Strom kontinuierlich an, da die Elektronen ungehindert zur Auffängerelektrode gelangen.
- Ab einer kritischen Spannung U_1 tritt das erste Minimum auf, da die Elektronen ihre gesamte kinetische Energie durch unelastische Stöße verlieren.
- Mit weiter steigender Spannung erscheinen weitere Minima in regelmäßigen Abständen, die durch aufeinanderfolgende Anregungsprozesse entstehen.

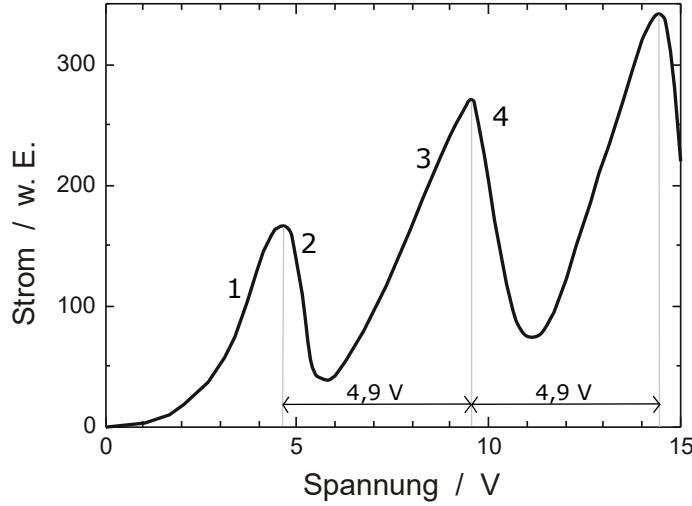


Abbildung 3: Beispielhafte Franck-Hertz-Kurve mit charakteristischen Peaks für Quecksilber (Auffängerstrom in willkürlicher Einheit (w.E.) gegenüber Beschleunigungsspannung in Volt) Wikipedia 2006a

Berechnung von Wellenlänge und Frequenz

Aus den gemessenen Spannungswerten, insbesondere aus dem Abstand der Strommaxima ΔU , lässt sich die Energiedifferenz ΔE der angeregten Elektronen berechnen:

$$\Delta E = e \cdot \Delta U. \quad (3)$$

Diese Energiedifferenz entspricht der Energie der emittierten Photonen, die beim Übergang der Elektronen in einen energetisch niedrigeren Zustand freigesetzt wird:

$$E_{\text{Ph}} = h f = \Delta E. \quad (4)$$

Daraus ergibt sich für die Frequenz f der emittierten Strahlung:

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{e \cdot \Delta U}{h}. \quad (5)$$

Da die Frequenz f über die Lichtgeschwindigkeit c mit der Wellenlänge λ in Zusammenhang steht, gilt:

$$f = \frac{c}{\lambda}. \quad (6)$$

Durch Umstellen erhält man für die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot \Delta U}. \quad (7)$$

Somit kann die charakteristische Wellenlänge der emittierten Photonen aus den gemessenen Spannungswerten bestimmt werden.

3 Aufgabenstellung

1. Elektronenstoß-Anregungskurve (Franck-Hertz-Kurve) von Quecksilber bei etwa 190°C mit dem Oszilloskop beobachten und durch geeignete Einstellung der experimentellen Parameter optimieren
2. Kurve quantitativ aufnehmen und zugehörige Übergangsenergie, Wellenlänge und Frequenz bestimmen
3. Weitere Anregungskurven für Temperaturen von 150°C und 210°C beobachten, registrieren und qualitativ diskutieren
4. Franck-Hertz-Kurve für Neon bei Zimmertemperatur aufnehmen und auswerten

(*GPII FHZ Aufgaben 2025*)

4 Durchführung

4.1 Geräte

- Franck-Hertz-Röhre mit Hg-Füllung und Ofen (NEVA)
- Betriebsgerät Franck-Hertz (ELWE)
- Oszilloskop (HAMEG 2 verschiedene: HM203-5 für A1-3 und HM303-6 für A4)
- Termometer (PeakTech 5110)
- PicoScopemit Computer und picoscope 6Software
- Kabel
- Franck-Hertz-Röhre Neon

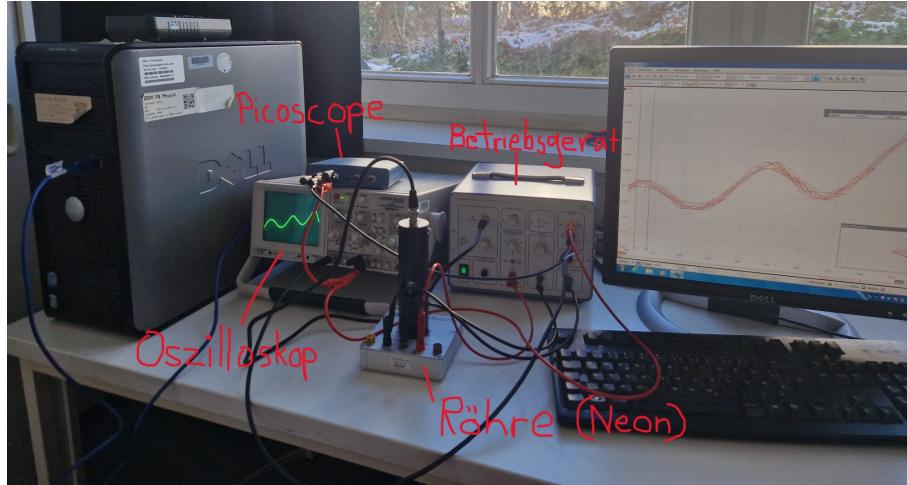
Aufgrund begrenzter Versuchsaufbauten wurde zunächst mit Aufgabe 4, der Untersuchung der Neonröhre, begonnen. Dies führte dazu, dass diesem Aufbau mehr Zeit für die Durchführung gewidmet wurde – Zeit, die ursprünglich für die Experimente mit der Hg-Röhre vorgesehen war.

Die Messungen an der Hg-Röhre folgten später denselben Schritten, die bereits für die Neonröhre durchgeführt wurden. Entsprechend ist die Gliederung der folgenden Kapitel an der chronologischen Abfolge der Versuchsdurchführung ausgerichtet. Da viele Prozesse für den zweiten Versuchsaufbau identisch wiederholt wurden, wird in den Erklärungen zur Hg-Röhre häufig auf Kapitel 4.2 verwiesen, um Wiederholungen zu vermeiden.

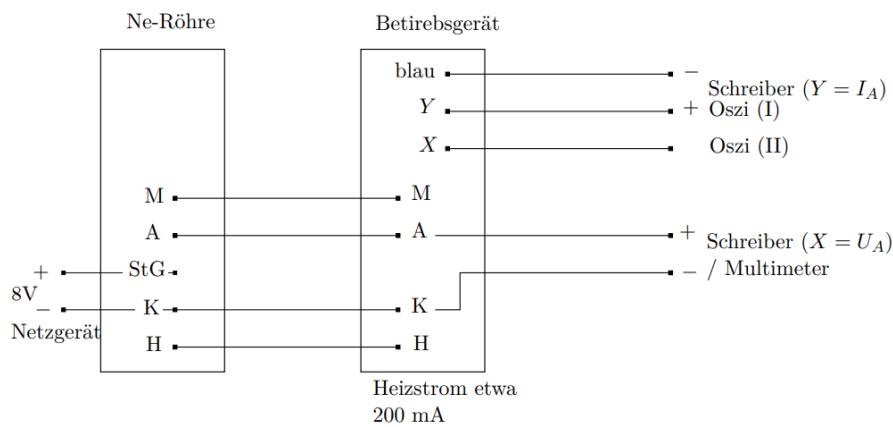
4.2 A4: FH-Kurve aufnehmen (Ne bei Zimmertemperatur)

Die Neon-Frank-Hertz-Röhre wird gemäß der Beschriftung mit dem Betriebsgerät verbunden (siehe Abbildung 4b): Die Gitter-, Anoden-, Heizspannungs- und Kathodenkabel werden an den unteren Anschlüssen angeschlossen, während die Auffängerelektrode mit dem Messverstärker im oberen Bereich verbunden wird. Das Betriebsgerät wird auf dynamischen Betrieb gestellt. Zudem wird mit dem Thermometer die Raumtemperatur erfasst.

Die drei Ausgangssignale des Betriebsgeräts werden anschließend mit einem Oszilloskop (Modell HM 303-6) verbunden (siehe Abbildung 4b). Das Oszilloskop wird auf X-Y-Betrieb gestellt: Auf der X-Achse wird die Beschleunigungsspannung U_B dargestellt, während auf der Y-Achse die verstärkte und durch den dynamischen Betrieb modulierte Signalspannung abgebildet wird ($\propto I_A$, Strom an Auffängerelektrode). Die Einstellungen der Oszilloskopanzeige sowie die Werte für die Beschleunigungs-, Gegen- und Heizspannung werden so



(a) Beschriftetes Foto des Versuchsaufbaus (eigene Anfertigung)



(b) Schaltbild (Freie Universität Fachbereich Physik 2025)

Abbildung 4: Versuchsaufbau und Schaltbild von Aufgabe 4 (Franck-Hertz-Versuch mit Neon)

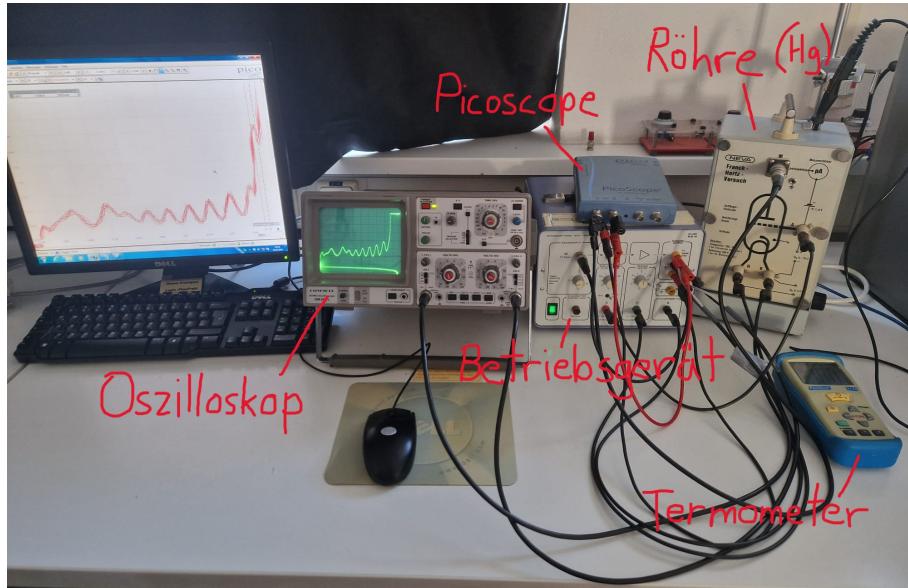
justiert, dass möglichst viele Peaks der Franck-Hertz-Kurve sichtbar werden. Dazu werden zunächst alle Spannungen kontrolliert hochgeregelt, während das Oszilloskop in einen größeren Maßstab gezoomt wird. Sobald die vollständige Franck-Hertz-Kurve erkennbar ist, erfolgt eine Feinjustierung der Spannungen, um die Anzahl der aufgelösten Peaks zu maximieren und den verfügbaren Bildschirmbereich optimal zu nutzen. Die Heizspannung weist dabei eine verzögerte Reaktion auf, und bereits geringe Änderungen beeinflussen das Messergebnis erheblich. Daher wird diese Spannung zuerst angepasst.

Zusätzlich werden die drei Ausgänge des Betriebsgeräts mit einem Picoscope verbunden, das über ein USB-Kabel mit einem Computer gekoppelt ist. In der Software Picoscope 6 wird die Kurve (wieder in X-Y-Betrieb) dargestellt und für einen Zeitraum gemessen, sodass sich periodische Messungen überlagern und eine Mittelung der Kurve erzeugt wird. Mithilfe der Hilfslinien der Software, die aus den x- und y-Achsen herausgezogen werden können und direkt die zugehörigen Werte anzeigen, werden die Peaks präzise eingegrenzt. Die Maxima werden dabei abgeschätzt und die Fehlerintervalle symmetrisch gewählt: Eine Hilfslinie wird an die eine Seite des obersten Plateaus gesetzt, die andere an die gegenüberliegende Seite. Falls ein Plateau aufgrund der begrenzten Stichprobengröße vom erwarteten Maximum abweicht, wird die weiter entfernte Hilfslinie entsprechend näher an den Mittelpunkt verschoben. Der obere Peak der Kurve sollte idealerweise genau über dem unteren Peak liegen (durch die Vielzahl der Messungen als breitere Struktur sichtbar).

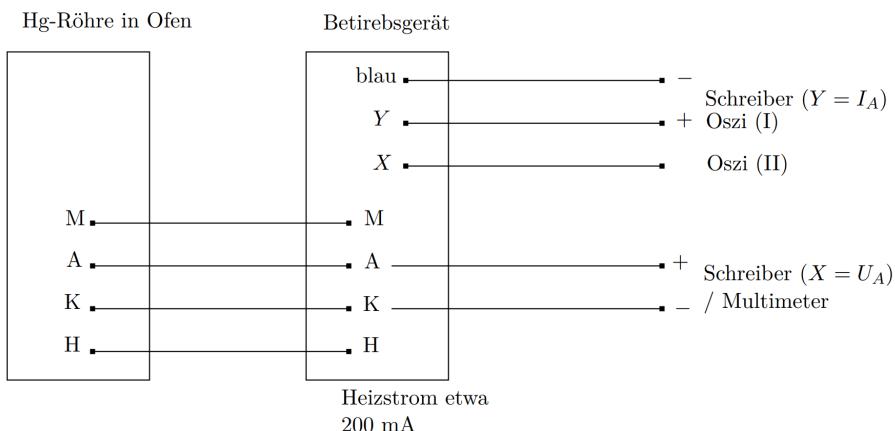
Für die drei identifizierten Peaks werden die U_B -Werte systematisch erfasst. Dabei wird pro Peak der Wert des rechten Endes des Plateaus, der Wert des linken Endes sowie der

Abstand zwischen beiden notiert, der von der Software direkt angezeigt wird. Alle erfassten Messdaten werden zudem für eine detailliertere Auswertung als TXT-Datei gespeichert (Dateiname: FHZ Neon Palex).

4.3 A1: FH-Kurve beobachten und optimieren (Hg bei 190°C)



(a) Beschriftetes Foto des Versuchsaufbaus (eigene Anfertigung)



(b) Schaltbild (Freie Universität Fachbereich Physik 2025)

Abbildung 5: Versuchsaufbau und Schaltbild von Aufgabe 1 (Franck-Hertz-Versuch mit Quecksilber)

Der eingebaute Ofen der Hg-Franck-Hertz-Röhre wird auf eine Temperatur von etwa 190°C vorgeheizt. Zur präzisen Temperaturüberwachung wird ein Thermometer in die dafür vorgesehene Öffnung eingeführt.

Die Hg-Franck-Hertz-Röhre wird analog zur Neonröhre (siehe Kapitel 4.2 und Abbildung 5b) mit dem Betriebsgerät, dem Oszilloskop und dem Picoscope verbunden, welches über ein USB-Kabel mit einem Computer gekoppelt ist. Da sich dieser Versuchsaufbau an einem anderen Tisch befindet als jener in Aufgabe 4, kommt ein anderes Oszilloskop (Modell HM 203-5) sowie ein weiteres, jedoch baugleiches Betriebsgerät zum Einsatz.

Falls erforderlich, wird die Temperatur nachgeregelt, sodass sie auf dem Thermometer einen stabilen Wert von etwa 190°C erreicht. Anschließend werden die Spannungen sowie die Anzeigeparameter des Oszilloskops so eingestellt, dass möglichst viele Peaks der Franck-Hertz-Kurve sichtbar sind (siehe Kapitel 4.2).

4.4 A2: FH-Kurve aufnehmen (Hg bei 190°C)

Aufbauend auf die vorherige Aufgabe, in der der Versuchsaufbau erstellt und die Franck-Hertz-Kurve optimiert wurde, werden nun die U_B -Werte der Peaks mithilfe der Picoscope-Software erfasst. Die Vorgehensweise entspricht dabei der in Aufgabe 4 beschriebenen Methode (siehe Kapitel 4.2). In der Messung werden insgesamt 11 Peaks identifiziert und entsprechend ihrer U_B -Werte von der kleinsten bis zur größten nummeriert.

Um präzise Messwerte zu erhalten, wird die Datenerfassung so gestartet und gestoppt, dass die Temperatur der Hg-Franck-Hertz-Röhre währenddessen etwa 190°C beträgt. Da der Temperaturregler eine gewisse Ungenauigkeit aufweist und häufig eine leicht zu hohe oder zu niedrige Temperatur erzeugt, erfolgt die Messung während eines Aufwärm- oder Abkühlprozesses.

Alle erfassten Messdaten werden zusätzlich in einer TXT-Datei gespeichert, um eine detaillierte spätere Auswertung zu ermöglichen (Dateiname: FHZ Hg Palex 1).

4.5 A3: FH-Kurven (Hg) für 150°C und 210°C registrieren

Ergänzend dazu sollen für zwei weitere Temperaturen im Ofen Kurven aufgenommen werden. Für die jeweiligen Temperaturen – zunächst 210°C und anschließend 150°C – wird der Ofen gemäß der zuvor beschriebenen Methode aufgeheizt bzw. abgekühlt (siehe Kapitel 4.3). Die Kurven werden erneut durch die Anpassung der Messparameter so eingestellt, dass eine maximale Anzahl klar erkennbarer Peaks dargestellt wird. Über die Picoscope 6-Software werden die Kurven auf dem Computer angezeigt und abschließend als Bilddateien zur späteren Vergleichsanalyse gespeichert (Dateinamen: FHZ Hg Palex 2 und FHZ Hg Palex 3).

5 Auswertung

5.1 Bestimmung der Übergangsenergie bei Quecksilber mit Franck-Hertz-Kurve (A1)

Mit einem Oszilloskop wurden die verschiedenen Spannungen des Franck-Hertz-Rohres aufgenommen, anschließend digitalisierte ein *Picoscope* die Messwerte und speicherte sie als Dateien ab. In einer X-Y-Darstellung des Oszilloskops wurden die Beschleunigungsspannung U_B und der Auffängerstrom, hier als $I_A = R \cdot U_A$ angegeben, aufgezeichnet. Da Oszilloskope Ströme nicht direkt messen können, wurde deren Proportionalität zur Spannung ausgenutzt. Der konkrete Wert von R musste dabei nicht bestimmt werden, weil letztlich nur die Werte von U_B von Interesse sind.

Da die Daten digitalisiert wurden, ist die Punkteverteilung durch die endliche Auflösung geprägt. Viele Messwerte überlagern sich, wenn über mehrere Zeiträume hinweg Daten aufgenommen werden. Um eine ausreichende Genauigkeit zu erzielen, erfolgte die Aufnahme über einen großen Zeitraum, der etwa 900 000 Zeilen pro Datei umfasste. Für eine sinnvolle Darstellung, bei der sich teils 50 oder mehr Punkte überlagern, wurde die Punktgröße variiert und an die logarithmische Anzahl übereinanderliegender Messwerte angepasst. So zeigt sich, in welchen Bereichen sich die meisten Datenpunkte konzentrieren.

Bei $T = 190^\circ\text{C}$ wurde eine Franck-Hertz-Kurve für Quecksilber aufgenommen (siehe Grafik 6), um die Übergangsenergie der Elektronen zu bestimmen. Zusätzlich erfolgten Messungen bei $T = 210^\circ\text{C}$ (Grafik 7) und bei $T = 150^\circ\text{C}$ (Grafik 8). Die Kurven verlaufen bei allen Temperaturen ähnlich, zeigen aber Unterschiede im Bereich kleiner und hoher Spannungen. In Grafik 6 findet sich zwischen $U_B \approx 20\text{ V}$ und 55 V eine flach ansteigende, nahezu sinusförmige Struktur. Für $U_B < 20\text{ V}$ herrscht ein starker chaotischer Bereich mit wechselnden Oszillationen, während die Kurve ab $U_B > 50\text{ V}$ stark ansteigt und den Darstellungsbereich verlässt. Insgesamt treten hier neun Peaks auf, von denen sich sieben gut analysieren lassen.

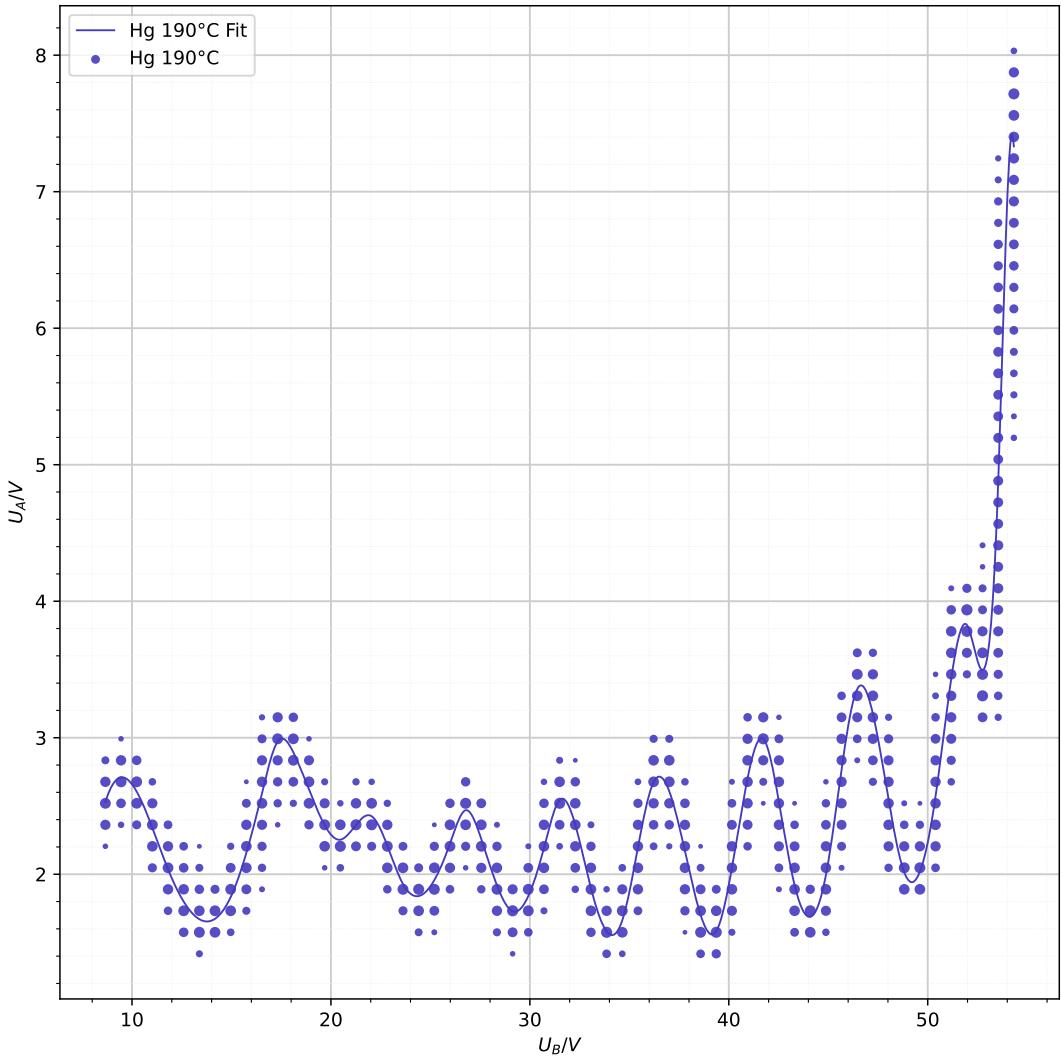


Abbildung 6: Franck-Hertz-Kurve von Quecksilber bei 190°C. Die Dicke der Punkte repräsentiert die logarithmische Konzentration überlappender Messwerte; bei größeren Punkten liegen mehr Werte übereinander. Die Auffangspannung wird in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung aufgetragen. Der Spline-Fit dient zur Bestimmung der Peakpositionen.

In den anderen Messungen sieht man ähnliche Muster: Bei $T = 210^\circ\text{C}$ (Grafik 7) weitet sich der spannungsabhängige Bereich stärker aus, und es treten etwa elf Peaks auf. Bei $T = 150^\circ\text{C}$ (Grafik 8) ist die Struktur unregelmäßiger, da die niedrigen Werte im mittleren Spannungsbereich liegen; dennoch können einige Peaks identifiziert werden. Verschiebungen der Kurven lassen sich unter anderem durch unterschiedliche Dampfdruckverhältnisse bei verschiedenen Temperaturen erklären.

Zur exakten Peakbestimmung wurde ein Spline-Fit angewendet. Dazu wurden für jeden Spannungswert U_B gemittelte U_A -Werte (gewichtete Mittelwerte, basierend auf der Anzahl der Datenpunkte) ermittelt. Die Positionen der Maxima ergaben sich aus der ersten und zweiten Ableitung des Splines. Dieses Verfahren bildet die tatsächlichen Kurvenverläufe recht zuverlässig nach.

Mit den ermittelten Maxima (also den Energien, bei denen neue Lichtbänder entstehen) lässt sich ein linearer Zusammenhang erwarten. Theoretisch sollten diese Maxima bei ganzzahligen Vielfachen der Anregungsenergie liegen, weshalb ein Plot der Peakpositionen gegen ihre Peaknummer eine Gerade ergeben sollte.

Trägt man alle Peakpositionen gegen ihre Peaknummer auf (Abbildung 9), so erhält man für den mittleren Bereich eine nahezu (fast perfekte) lineare Steigung. Aus einer

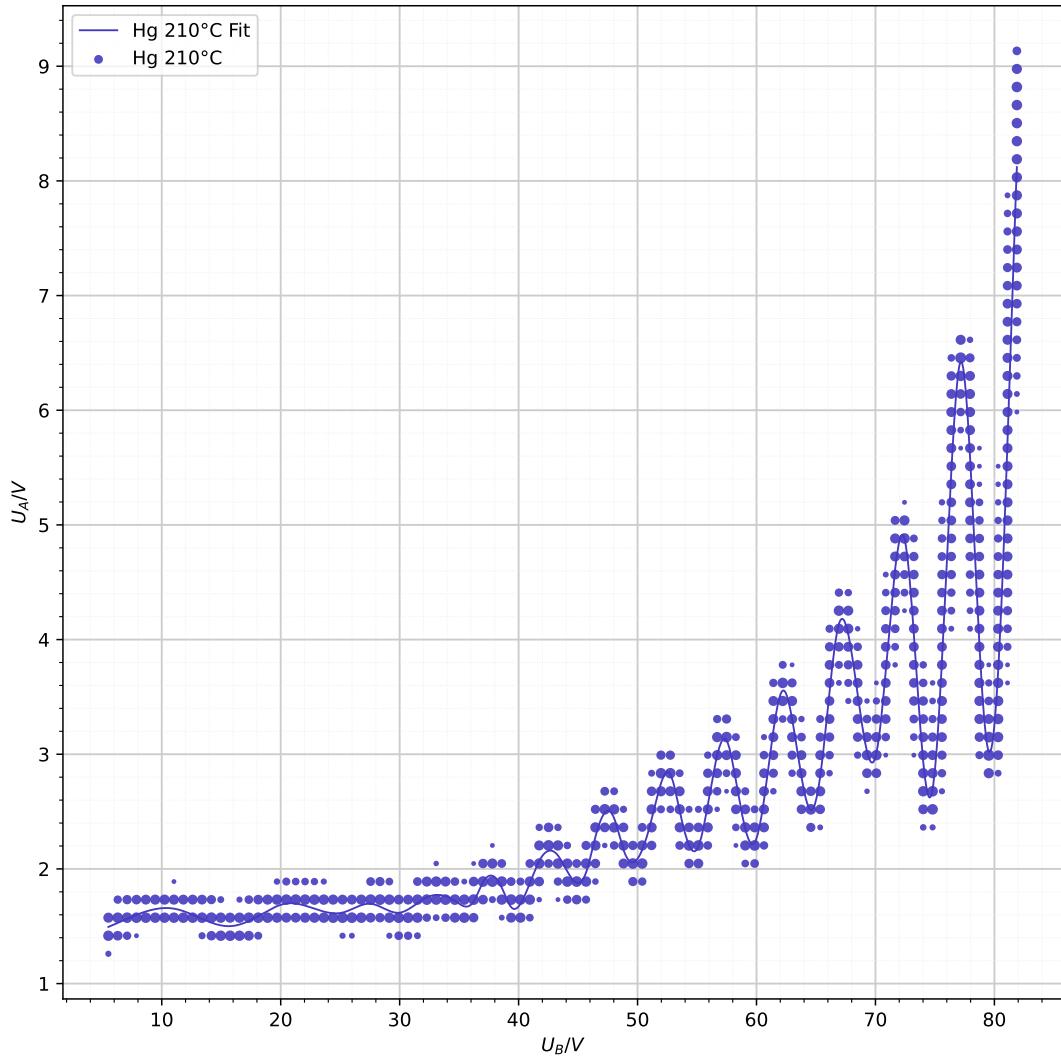


Abbildung 7: Franck-Hertz-Kurve von Quecksilber bei 210°C mit Spline-Anpassung.

linearen Anpassung ergeben sich folgende Übergangssenergien:

$$E_{150^\circ\text{C}} = (5,147 \pm 0,044) \text{ eV}, \quad E_{190^\circ\text{C}} = (4,989 \pm 0,030) \text{ eV}, \quad E_{210^\circ\text{C}} = (4,910 \pm 0,016) \text{ eV}.$$

Vergleicht man dies mit dem Literaturwert von etwa 4,9 eV, so stimmen die Werte bei 190 °C und 210 °C gut überein; beim niedriger temperierten Rohr (150 °C) ist die Abweichung größer.

Aus

$$\lambda = \frac{hc}{eU} \quad \text{und} \quad f = \frac{c}{\lambda},$$

wobei h , c und e die Plancksche Konstante, Lichtgeschwindigkeit und Elementarladung bezeichnen, erhält man folgende Wellenlängen:

$$\lambda_{150^\circ\text{C}} = 240.9 \pm 2.1 \text{ nm}, \quad \lambda_{190^\circ\text{C}} = 248.5 \pm 1.5 \text{ nm}, \quad \lambda_{210^\circ\text{C}} = 252.51 \pm 0.81 \text{ nm},$$

und die dazugehörigen Frequenzen:

$$f_{150^\circ\text{C}} = (1.245 \pm 0.011) \times 10^{15} \text{ Hz}, \quad f_{190^\circ\text{C}} = (1.2064 \pm 0.0072) \times 10^{15} \text{ Hz}, \quad f_{210^\circ\text{C}} = (1.1872 \pm 0.0038) \times 10^{15} \text{ Hz}$$

Diese liegen im ultravioletten Bereich.

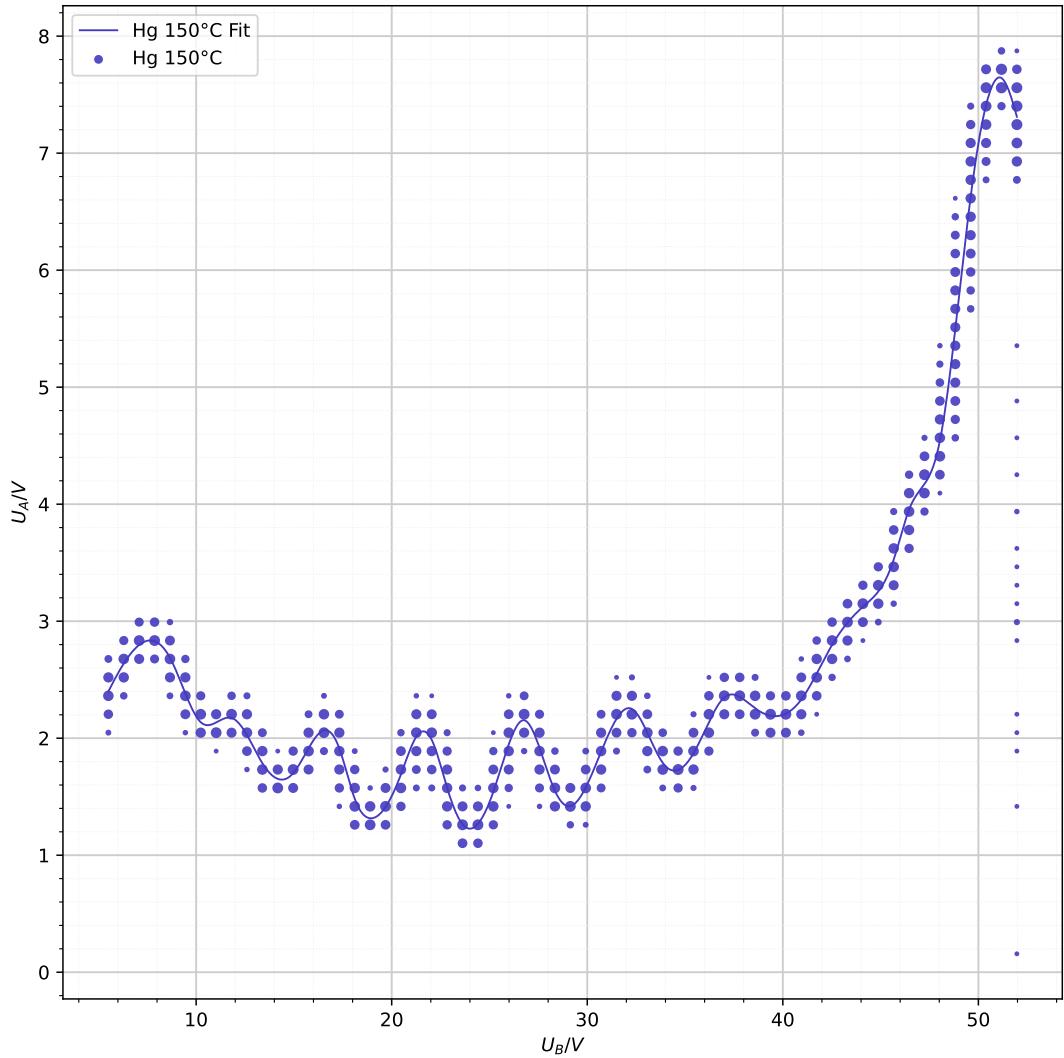


Abbildung 8: Franck-Hertz-Kurve von Quecksilber bei 150°C mit Spline-Anpassung.

5.2 Messfehler

Die Verwendung eines Picoscopes bedingt eine digitale Auflösung, weshalb U_B und U_A in festen Schritten aufgezeichnet werden (z.B. 1,5748 V pro Schritt bei U_B und 0,07874 V für U_A). Zusätzlich können Offset- und Kontaktpotenziale an den Elektroden zu systematischen Abweichungen führen, die sich insbesondere bei hohen oder niedrigen Temperaturen stärker bemerkbar machen. Außerdem wurden pro Datei zwar bis zu 900 000 Datenpunkte aufgenommen, allerdings sind nur ein Teil davon im sinnvollen Bereich (andere Punkte sind teils Null oder negativ). Durch eine Gewichtung der mehrfach übereinanderliegenden Messwerte bei gleicher Spannung konnte dennoch ein Spline-Fit mit hoher Stabilität erstellt werden. Bei der linearen Regression zur Peakbestimmung ergeben sich statistische Fehler, die in die Unsicherheit der ermittelten Energiewerte und in die berechneten Wellenlängen bzw. Frequenzen eingehen. Eine weitergehende quantitative Fehleranalyse könnte diese Einflüsse (z. B. Kontaktpotenzial) noch genauer abschätzen.

Zur Berechnung der Wellenlänge und Frequenz kommt es natürlich auch zum Fehler, welchen man mit der Fehlerfortpflanzung folgendermaßen berechnen kann, wenn man die Konstanten als Fehlerfrei behandelt:

$$\Delta\lambda = \frac{hc\Delta U}{eU^2}, \quad \Delta f = \frac{e\Delta U}{h}$$

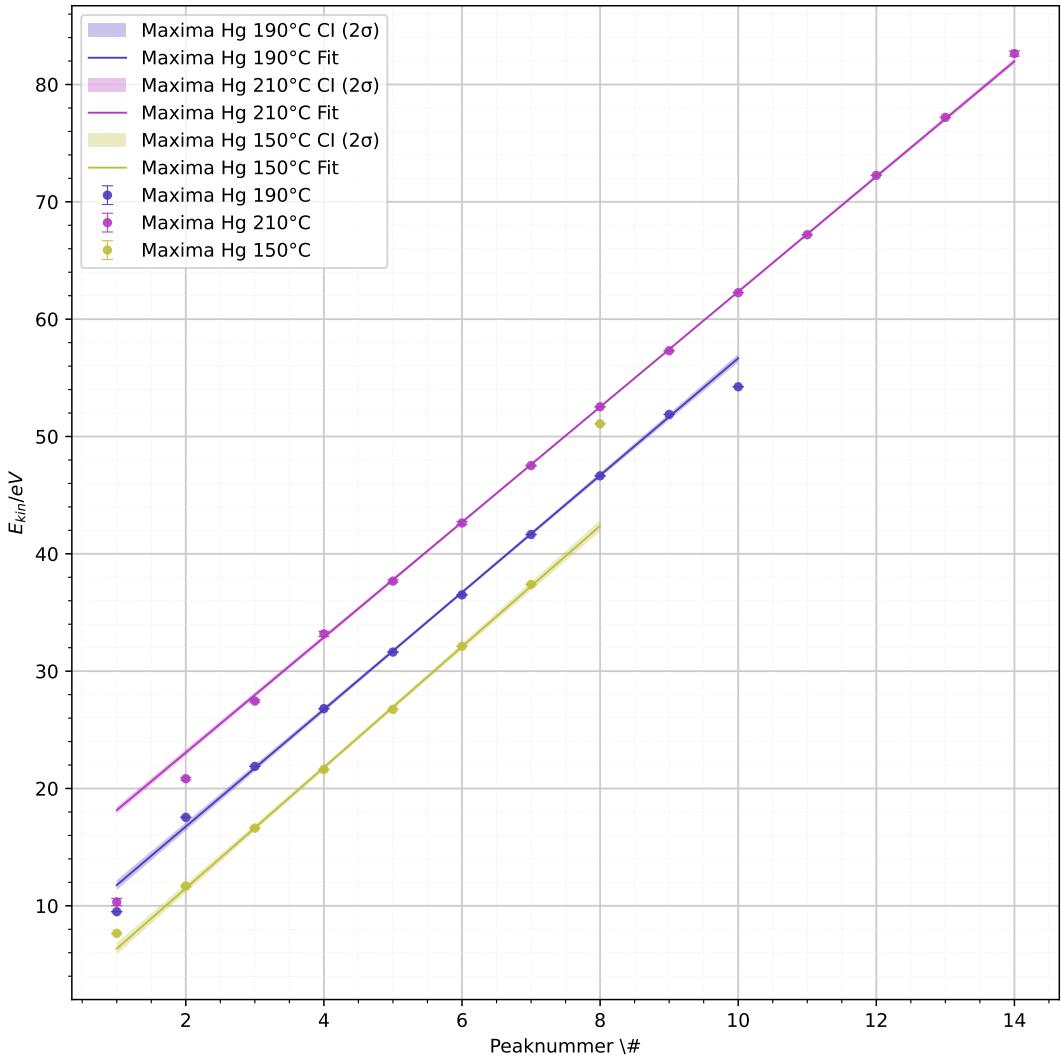


Abbildung 9: Ermittelte Peakenergien $E_{\text{kin}} = U_A \cdot e$ in Abhängigkeit der Peaknummer. Alle Peakdaten aus den vorherigen Plots sind hier zusammengefasst. Eine lineare Regression wurde zur Bestimmung der Steigungen durchgeführt.

5.3 Aufnahme der Neon-Franck-Hertz-Kurve (A2)

Für Neon wurde das Franck-Hertz-Rohr bei Raumtemperatur (etwa 19°C) betrieben. Da die Anregungsenergie von Neon deutlich über der von Quecksilber liegt, konnte innerhalb des gewählten Spannungsbereichs nur eine begrenzte Zahl ausgeprägter Maxima erzeugt werden (siehe Abbildung 10). Analog zu Abschnitt 5.1 wurde ein Spline-Fit genutzt, um die Kurve zu glätten und die Peakpositionen besser zu identifizieren. Insgesamt konnten drei markante Peaks ausgemacht werden. Diese Struktur entspricht qualitativ der erwarteten Franck-Hertz-Charakteristik.

In Grafik 11 sind die Peakenergien gegen ihre jeweilige Peaknummer aufgetragen, woraus sich bei nur drei Punkten eine gerade Linie anpassen lässt:

$$E = (21,076 \pm 0,061) \text{ eV}.$$

Der Literaturwert liegt bei etwa $18,7 \text{ eV}$. Die Abweichung kann auf systematische Effekte (z. B. Kontaktpotenziale, begrenzte Genauigkeit der Spannungsversorgung, geringe Peakzahl) oder Fehler durch die digitale Datenerfassung zurückzuführen sein. Mit

$$\lambda = \frac{hc}{eU} \quad \text{und} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

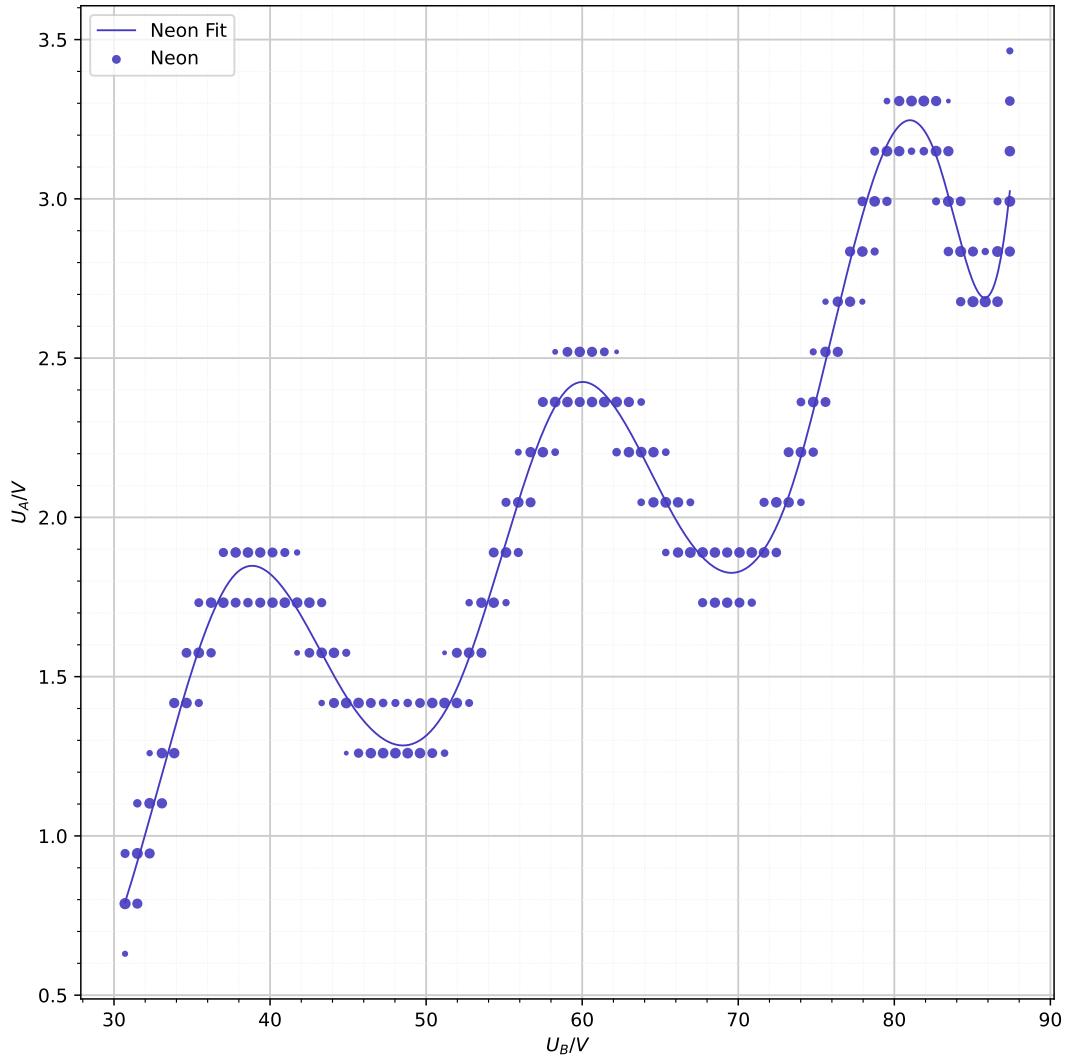


Abbildung 10: Franck-Hertz-Kurve von Neon-Gas bei 19°C mit drei deutlich erkennbaren Peaks. Angepasster Spline zur Unterstützung der Peakbestimmung.

erhält man für Neon ungefähr:

$$\lambda_{Ne} = (58.83 \pm 0.17) \text{ nm}, \quad f_{Ne} = (5.096 \pm 0.015) \times 10^{15} \text{ Hz},$$

was im kurzweligen UV-Bereich liegt. Trotz der größeren Abweichung zeigt die Messung qualitativ die erwarteten Schritte für inelastische Elektronenstöße, nur mit einem deutlich höheren Spannungsbedarf als bei Quecksilber.

6 Zusammenfassung und Diskussion

Bei diesem Experiment wurden mit Hilfe eines Franck-Hertz-Rohres verschiedene Gase (Quecksilber und Neon) bei unterschiedlichen Temperaturen und Einstellungen untersucht, um deren atomare Übergangsenergien zu bestimmen. Hierfür wurde in regelmäßigen Zeitabständen die Beschleunigungsspannung U_B moduliert und über ein Oszilloskop aufgezeichnet. Da dieses nur Spannungen messen kann, wurde der Auffängerstrom der Elektronen über das Verhältnis

$$I_A = R \cdot U_A$$

bestimmt. Der Widerstandswert R diente als Proportionalitätsfaktor, sodass bei der Auswertung der Kurven letztlich nur die angelegte Beschleunigungsspannung U_B von zentraler Bedeutung war.

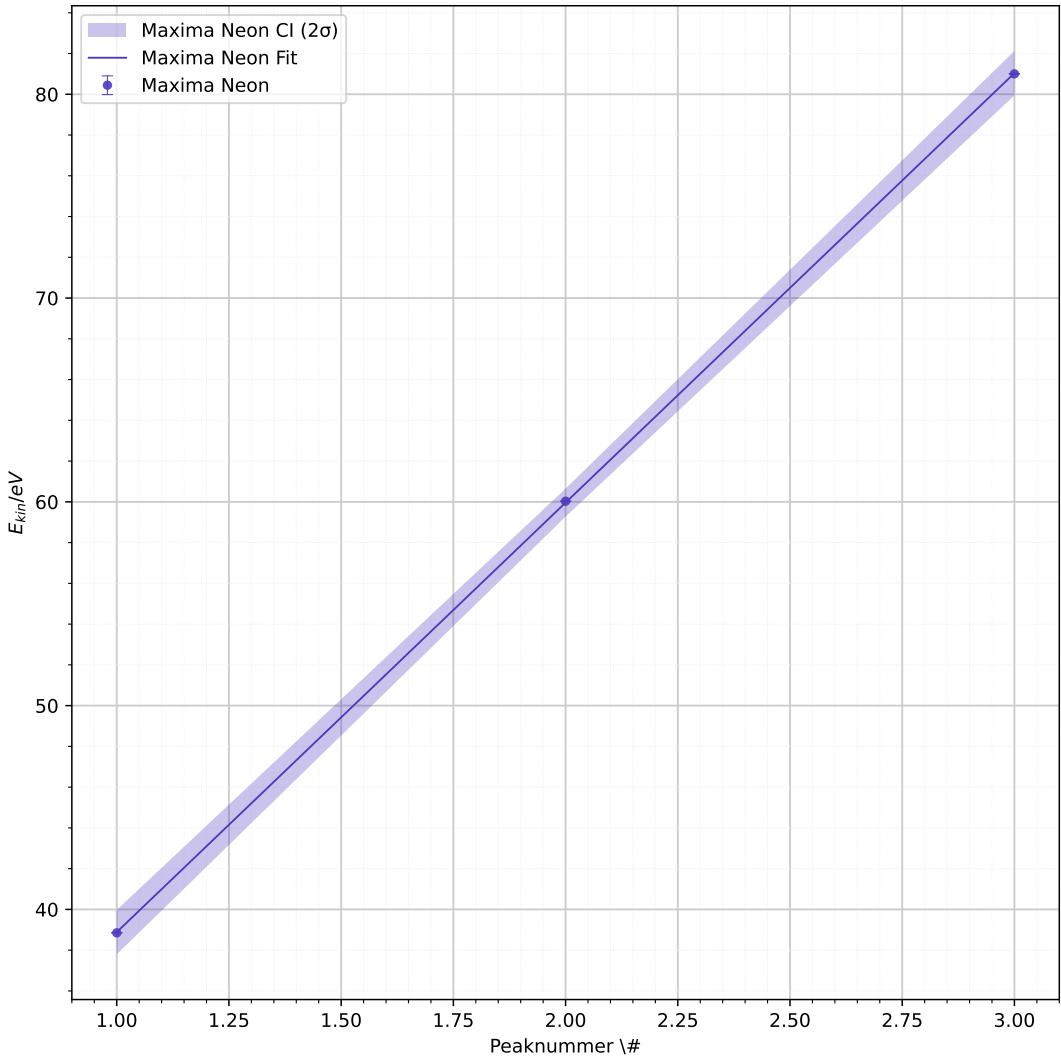


Abbildung 11: Peakpositionen in Abhängigkeit ihrer Peaknummer und lineare Regression der Neon-Franck-Hertz-Daten (aus Abbildung 10).

6.1 Franck-Hertz-Kurve bei Quecksilber

Zur Untersuchung von Quecksilbergas (im Franck-Hertz-Rohr) wurden drei verschiedene Temperaturen gewählt, nämlich

$$T = 150^\circ\text{C}, \quad 190^\circ\text{C} \quad \text{und} \quad 210^\circ\text{C}.$$

Durch Variation der Betriebsparameter (z. B. Heizstrom und maximale Beschleunigungsspannung) konnte man in jedem Fall mehrere ausgeprägte Maxima in der Franck-Hertz-Kurve erhalten. Die Form dieser Kurven unterscheidet sich jedoch teils deutlich voneinander, insbesondere im Bereich niedriger sowie hoher Spannungen. Eine Zunahme der Temperatur führte dabei meist zu etwas „regelmäßigeren“ und weiter in den hohen Spannungsbereich verschobenen Peaks.

- Bei $T = 190^\circ\text{C}$ wurde ein relativ stabiler Bereich gefunden, in dem etwa 9 Maxima detektiert werden konnten. Aus einer linearen Anpassung der Peakpositionen in Abhängigkeit ihrer Indexnummer ergab sich eine Übergangsenergie von

$$E = (4,99 \pm 0,03) \text{ eV}.$$

- Bei $T = 210^\circ\text{C}$ ließen sich etwa 11 deutliche Peaks identifizieren. Die daraus resul-

tierende Steigung führte zu

$$E = (4,91 \pm 0,02) \text{ eV},$$

was dem Literaturwert von ca. 4,9 eV sehr nahe kommt.

- Bei $T = 150^\circ\text{C}$ fielen die Ergebnisse hingegen unregelmäßiger aus. Die Kurve zeigte teils chaotische Bereiche mit unsauber ausgeprägten Peaks. Dennoch ließen sich einige Maxima fitten; diese führten auf eine Übergangsenergie von

$$E = (5,15 \pm 0,05) \text{ eV},$$

was eine spürbare Abweichung vom Literaturwert darstellt.

Die beobachteten Unterschiede zwischen den Temperaturen können auf mehrere Faktoren zurückzuführen sein, darunter kontaktpotenzialabhängige Verschiebungen, veränderte Druckverhältnisse (aufgrund der Quecksilberdampfdichte) und potentielle Fehler in der Spannungsversorgung. Typischerweise können Kontaktpotenziale von bis zu einigen Zehntel Volt das Messergebnis beeinflussen; bei hohen Temperaturen und Spannungen macht sich dies besonders bemerkbar. Insgesamt zeigen die Ergebnisse aber eine gute Übereinstimmung mit dem Literaturwert von rund 4,9 eV, besonders bei 190°C und 210°C .

6.2 Franck-Hertz-Kurve bei Neon

Für Neon wurde das Franck-Hertz-Rohr bei etwa 19°C betrieben. Im Gegensatz zu Quecksilber benötigt Neon eine wesentlich höhere Anregungsenergie für elektronische Übergänge (literaturgemäß rund 18,7 eV). Folglich erstreckt sich der Bereich der relevanten Beschleunigungsspannungen über deutlich größere Spannungswerte, und die Kurven können weniger Peaks aufweisen.

In der praktischen Umsetzung traten lediglich drei gut ausgeprägte Maxima auf. Um diese noch klar abzubilden, musste der Messbereich angepasst werden. Die Auswertung mithilfe einer linearen Regression der Peakpositionen ergab:

$$E = (21,08 \pm 0,07) \text{ eV},$$

was von dem zu erwartenden Literaturwert von ca. 18,7 eV um etwa 3 eV abweicht. Dieser systematische Unterschied könnte durch folgende Faktoren verstärkt werden:

- **Systematische Fehler:** Ungenauigkeiten in der Spannungsversorgung oder Offsetfehler im Oszilloskop.
- **Kontaktpotenziale:** Auch bei Neon können zusätzliche Elektroden-Potenziale für Verschiebungen sorgen, die sich als konstante Offsetspannung bemerkbar machen.
- **Geringe Anzahl an Peaks:** Nur drei Datenpunkte führen zu einer eingeschränkten statistischen Grundlage für die lineare Anpassung.
- **Bedingungen im Neon-Gas:** Druck- und Temperaturabweichungen verändern die Stoßwahrscheinlichkeiten und können einzelne Peaks beeinflussen.

Obwohl die Diskrepanz zum Literaturwert relativ groß erscheint, zeigt das Ergebnis qualitativ das erwartete Verhalten: Neon besitzt eine deutlich höhere Anregungsenergie als Quecksilber. Bereits eine kleine zusätzliche Offsetspannung im Bereich von 1 V bis 1,5 V könnte hier schnell eine Verschiebung von ein bis zwei Elektronenvolt bei der Auswertung erzeugen.