

# Versuch A2

Date: 2023-06-20

Tags: A2

Created by: Levin Schulz

---

## Versuch A2 - 626758

Die Platzhalter Bilder sind zu entfernen und mit eigenen zu Ersetzen. Überall wo eine blaue Markierung ist, sollte Text geschrieben werden.

Dieser Versuch wurde durchgeführt von:

	Name	Vorname	Matrikelnummer
1	Schulz	Levin	626758
2	Brinkmann	Samuel	624568

## Teil I): Messungen vor Ort:

1) Skizze zum Versuch anfertigen (beschriftet), Upload/Foto:

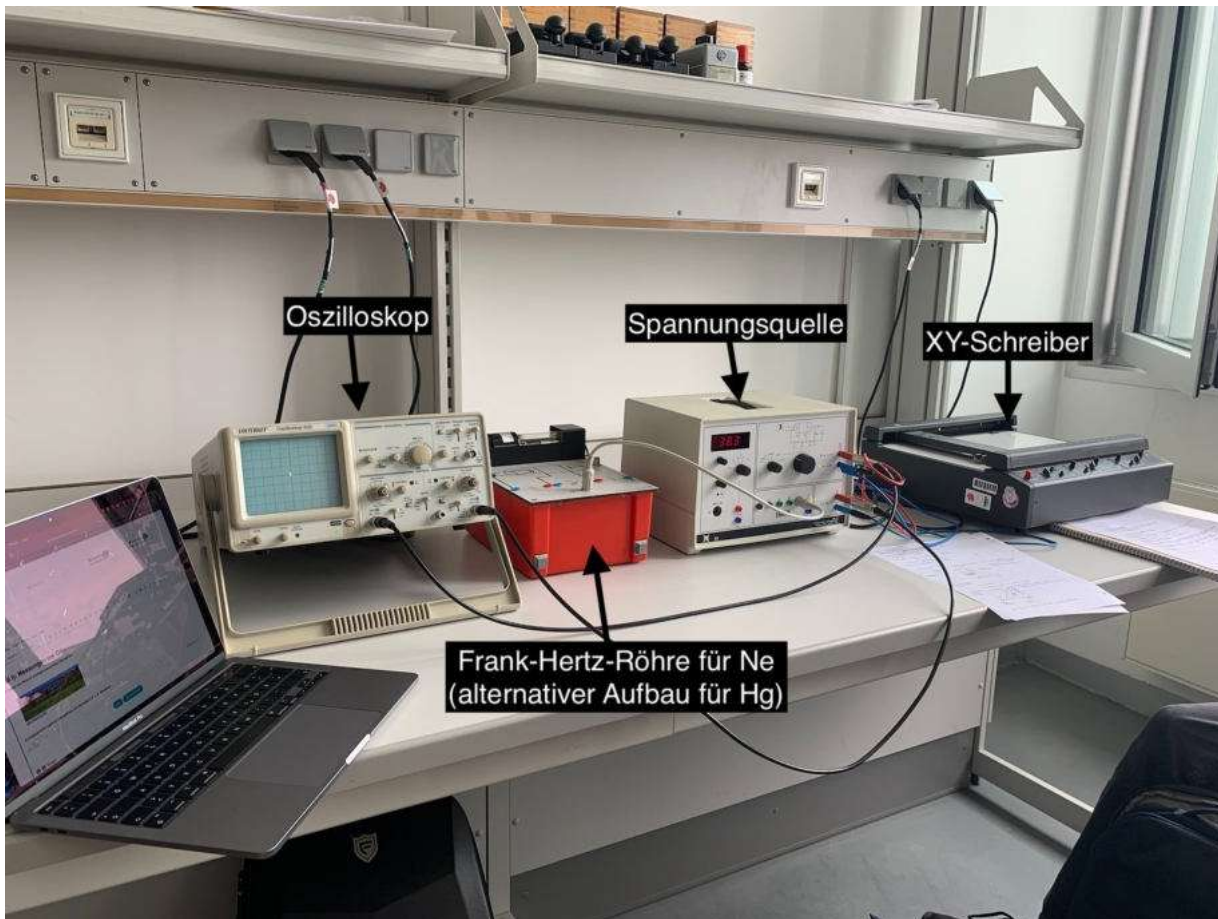


Abb.1: Beschrifteter Versuchsaufbau zur Messung der Ne-Kurve, für die Messung der Hg-Kurve wurde anstelle der Franck-Hertz-Röhre für Ne eine Hg-Röhre in einem Rohrofen zur Aufheizung von dieser verwendet

## 2) Aufgezeichnete Hg-Kurve (Upload/Foto) und Parameter $U_S$ , $U_G$ , Temperatur.

$U_S$	$U_G$	Temperatur
0.39V	3.44V	28°C

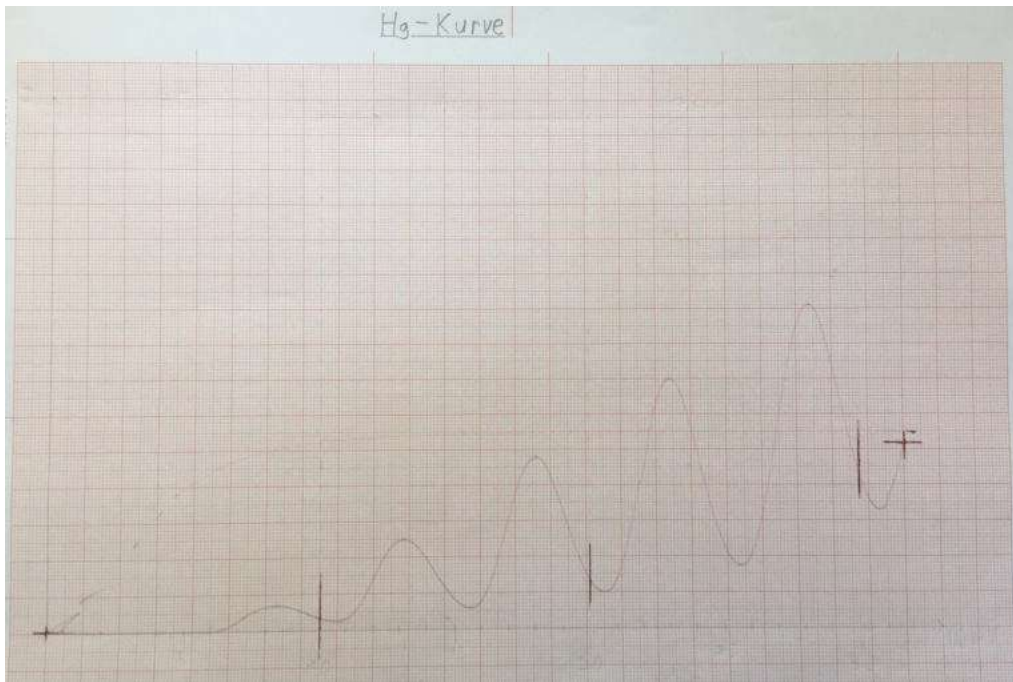


Abb.2: Vom X-Y-Schreiber aufgenommene Hg-Kurve mit Auffängerstrom  $I_A$  über Beschleunigungsspannung  $U_B$  mit senkrechten Markierungen bei  $U_B = 10V, 20V$  und  $30V$  von links nach rechts

### 3) Aufgezeichnete Ne-Kurve (Upload/Foto) und Parameter $U_S$ , $U_G$ , Temperatur.

$U_s$	$U_G$	Temperatur
2.66V	10.37V	28°C

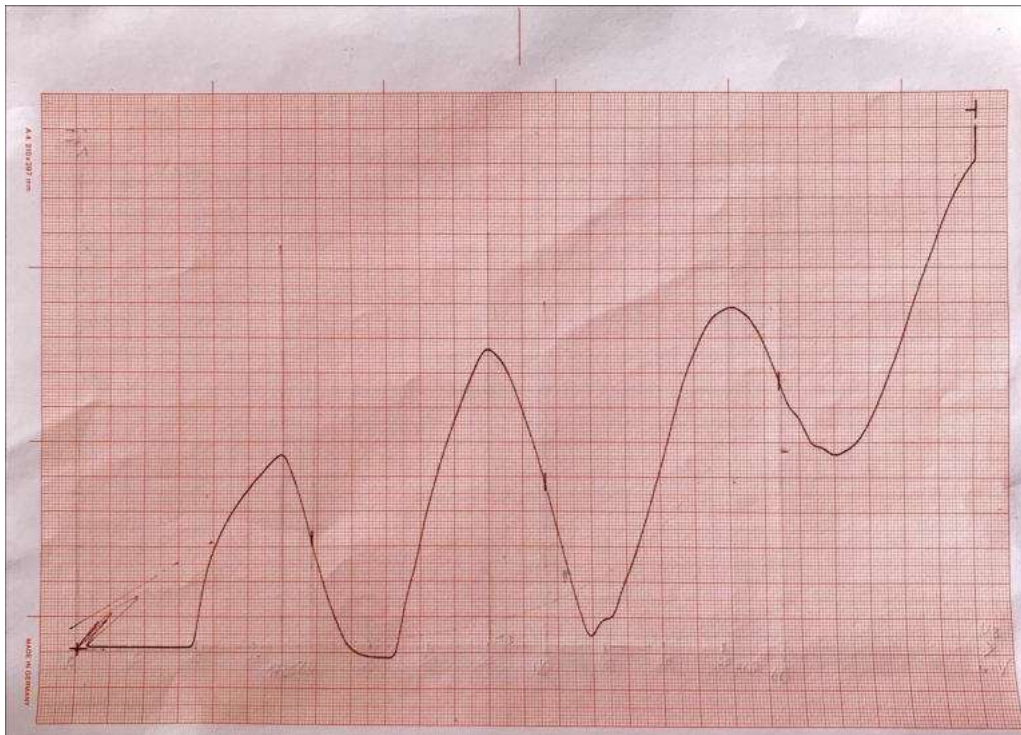


Abb.3: Vom X-Y-Schreiber aufgenommene Ne-Kurve mit Auffängerstrom  $I_A$  über Beschleunigungsspannung

$U_B$  mit senkrechten Markierungen bei  $U_B = 20V, 40V$  und  $60V$  von links nach rechts

#### 4) Leuchterscheinung bei Ne (Freitext und Abbildung [Foto] einfügen).

##### *Leuchterscheinung beschreiben*

Es bildet sich bei etwa 28V ein erster orange-roter Balken zwischen Gitter und Leuchtschirm. Ab etwa 42V erscheint ein zweiter Balken, welcher mit Spannungszunahme an Farbintensität gewinnt und den Abstand zum ersten Balken verringert. Bei etwa 60V bildet sich ein dritter Balken, erneut mit den schon beobachteten Eigenschaften des zweiten Balkens bei einer weiteren Spannungszunahme. Dies nimmt zu, bis bei einer maximalen

Spannung von 80V vier Balken erkenntlich sind. Für alle Balken gilt, dass sie mit Spannungszunahme sich in Richtung des

auf Abb. 4 dargestellten linken Gitters bewegen (also nach links).

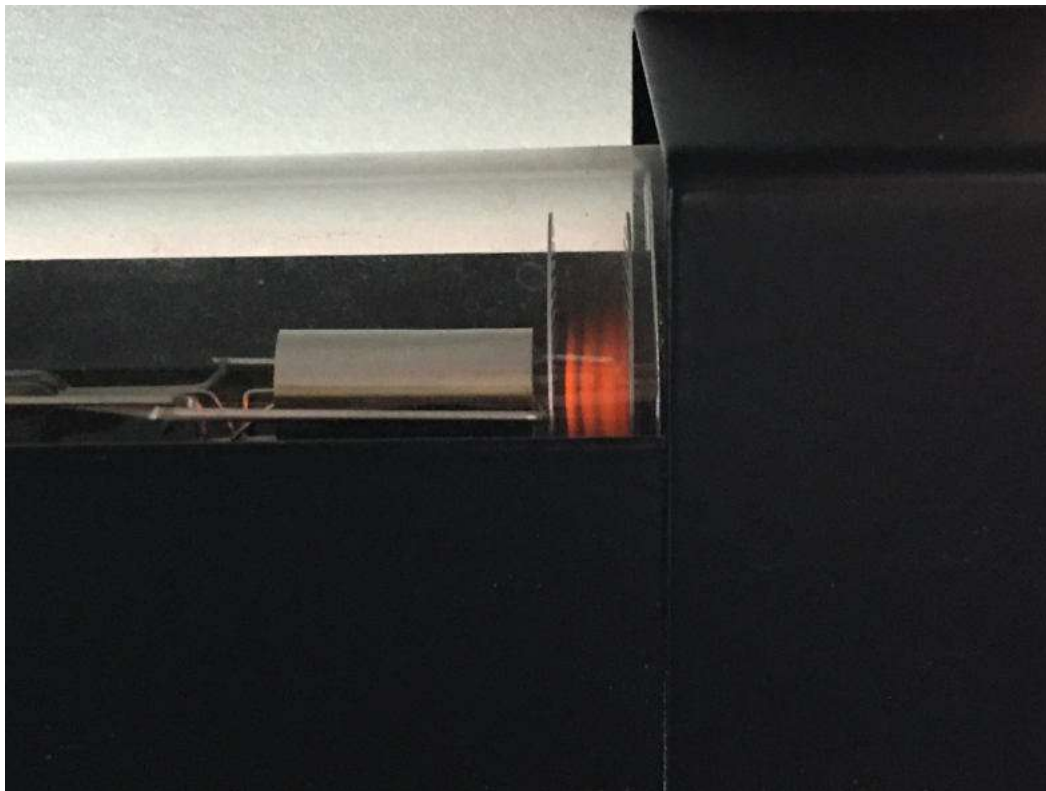


Abb.4: Aufgenommene sichtbare Leuchterscheinungen bei der Neonröhre zwischen den Gittern des Vierelektrodensystems

#### 5) Diskussion der verwendeten Unsicherheiten

*Hier bitte eine kurze Abschätzung der Unsicherheiten der gezeichneten Kurven schildern (z.B. die Kurve zwei mal zeichnen o.ä.):*



Da wir uns auf Grundlage der eingezeichneten und abgemessenen Beschleunigungsspannungen  $U_B$  (siehe Abb.2 und Abb.3) unsere Skalierung eingeteilt haben, ist der Ablesefehler dieser Orientierungsspannungen am Oszilloskop von

$$u_{U, \text{Ablese}} = 0.05V$$

in die Gesamtunsicherheit der Messwerte einzubeziehen.

Des weiteren ist von einem weiteren Ablesefehler aufgrund der Achsenskalierung auszugehen.

Dieser wird durch die Formel

$$u_{d, \text{Ablese}} = u_{\text{Papier, Ablese}} * \frac{\Delta U_B}{d} \quad (1)$$

$$u_{\text{Papier, Ablese}} = 0.05cm - \text{Ablesefehler des Millimeterpapiers,}$$

$\Delta U_B$  - Abstand zwischen den Orientierungsspannungen (bei beiden Messungen sind die Abstände gleichmäßig gewählt worden)

$d$  - Abstand zwischen den eingezeichneten Orientierungsspannungen auf dem Millimeterpapier (siehe z.B. Abb.6)

Es ist dabei festzustellen das die Abstände  $d$  zwischen den Orientierungsspannungen auf dem Millimeterpapier bei beiden Messungen untereinander um maximal 1mm abweichen.

Deshalb wird bei allen Unsicherheitsberechnungen von dem kleinstmöglichen Abstand  $d$  ausgegangen, da sich aus diesem eine größere Abschätzung der Unsicherheit  $u_{d, \text{Ablese}}$  ergibt (antiproportionales Verhältnis der beiden Größen siehe Gl. (1)).

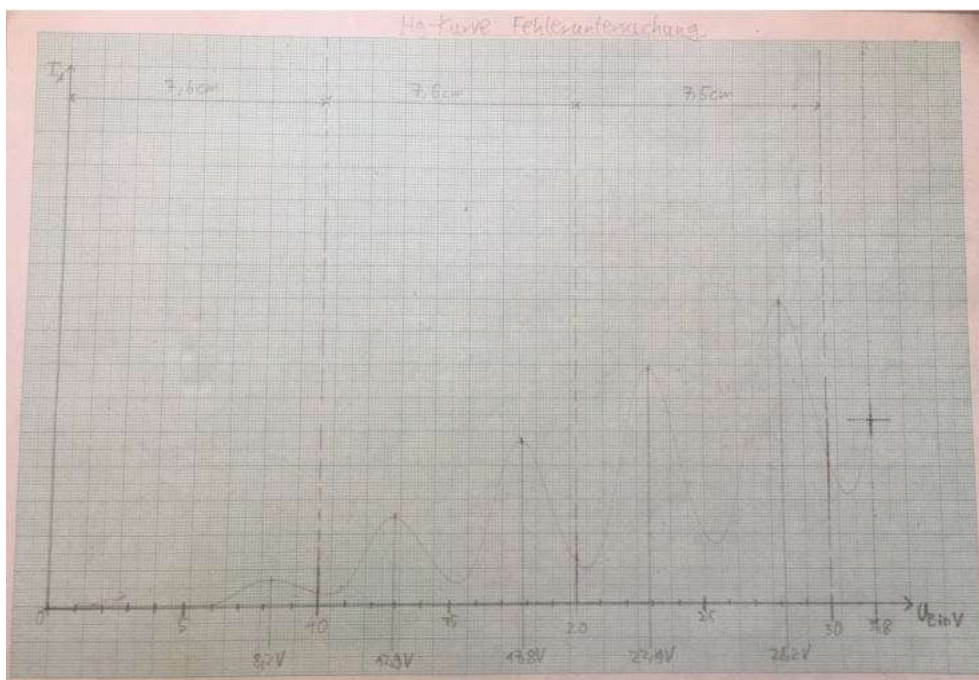


Abb. 5: Hg-Kurve zur Abschätzung einer statistischen Messunsicherheit der zugehörigen Messwerte

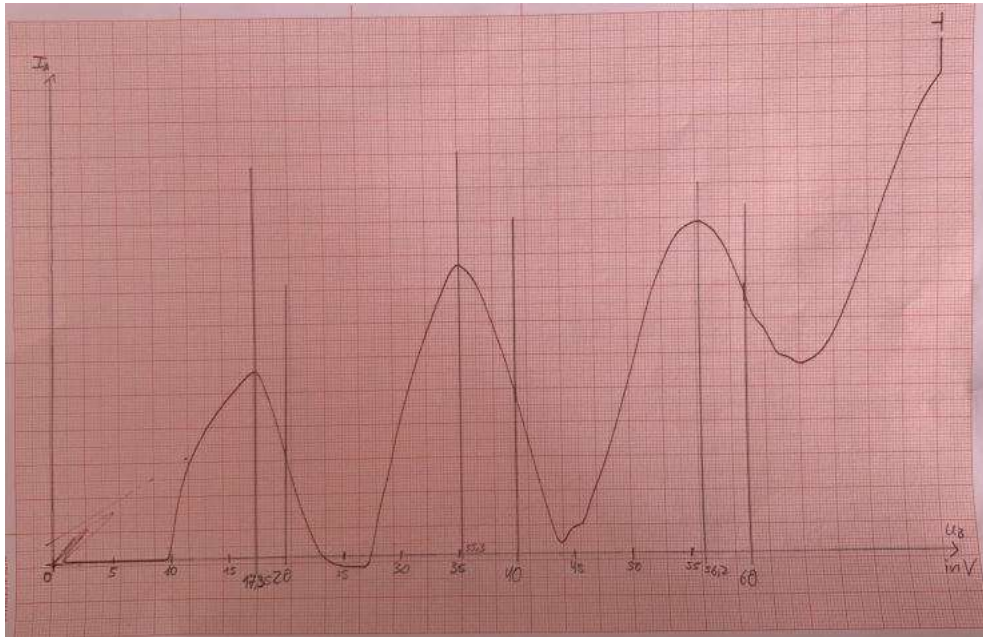


Abb. 6: Ne-Kurve zur Abschätzung einer statistischen Messunsicherheit der zugehörigen Messwerte

Weiterhin ergab sich durch das zweifache Zeichnen der beiden Kurven mittels des X-Y-Schreibers, sowie ein erneutes einzeichnen der lokalen Maxima in die jeweils andere Kurve zu Abb.2 (Abb.5) bzw. Abb.3 (Abb. 6), dass die jeweiligen Messwerte um maximal 0.3 V voneinander abweichen.

Aufgrund eines erneuten Unterschiedes der Abstände der Orientierungsspannungen zwischen den Abbildungen 2 und 5 bzw. 3 und 6, wurde die statistische Messunsicherheit der Messergebnisse von sowohl der Hg-Kurve, als auch der Ne-Kurve mit 0.2 V abgeschätzt.

Dies garantiert einen sich überschneidenden Unsicherheitsbereich aller Messwerte, als auch eine Berücksichtigung eines Skalierungsfehlers von jeweils beiden Graphen.

Es ergibt sich als Gesamtunsicherheit  $u_{Hg}$  bzw.  $u_{Ne}$  der Messwerte der beiden Messungen:

$$u_{Hg} = \sqrt{(0.05V)^2 + \left(0.05cm * \frac{10V}{7.5cm}\right)^2 + (0.2V)^2} = 0.22V$$

$$u_{Ne} = \sqrt{(0.05V)^2 + \left(0.05cm * \frac{20V}{6.8cm}\right)^2 + (0.2V)^2} = 0.26V$$

# Teil II): Bericht

## 1) Aufbau und Durchführung

Anmerkung: Es werden hier keine langen Texte gefragt. Es reicht wenn zu jedem punkt knapp 1-3 Sätze geschrieben werden.

ABBILDUNG MIT UNTERSCHRIFT: Abb. des Versuchsaufbaus mit Bildunterschrift einfügen, basierend auf Skizze.

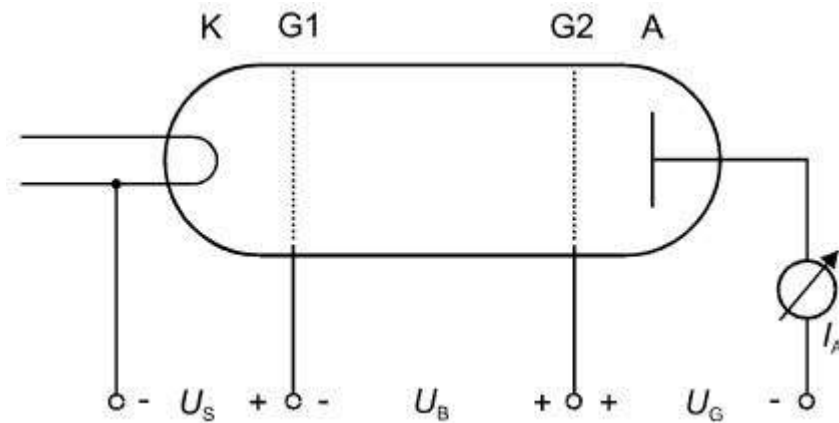


Abb.7: Beschaltung der Hg- und Ne-Röhren (Vierelektrodensystem) bei dem zur Messung verwendeten Aufbau (Abb.1), die  $U_B$ ,  $U_G$  und  $U_S$  konnten mit Hilfe des Oszilloskops (Abb. 1) eingestellt werden und inklusive des  $I_A$ , sowie der Soll- und Ist-Temperaturen an diesem abgelesen werden

FREITEXTFELD: Knappe Beschreibung der Versuchsdurchführung.

Nach der korrekten Verkabelung der zugehörigen Geräte (Abb. 1), mit Ausnahme des X-Y-Schreibers, und der bei der Hg-Röhre notwendigen Anheizphase, werden am Oszilloskop die zugehörige Saugspannung  $U_S$  zwischen der Kathode  $K$  und dem ersten Gitter  $G1$ , sowie die Gegenspannung  $U_G$  zwischen dem zweiten Gitter  $G2$  und dem Auffänger  $A$  (siehe Abb.7) passend eingestellt. Hierfür wird mit Hilfe der Anzeige des Oszilloskops (Abb. 1), sowie den zugehörigen Einstellungsmöglichkeiten an diesem eine möglichst genaue Darstellung der entsprechend zu messenden Kurve angepasst und auf der Anzeige eingestellt. Sofern dies der Fall ist wird der X-Y-Schreiber wie in Abbildung 1 dargestellt hinzugeschaltet und entsprechend auf die am Oszilloskop eingestellte Kurve justiert. Für das Zeichnen der entsprechenden Kurve wird nun die Beschleunigungsspannung  $U_B$  (siehe Abb.7, zwischen  $G1$  und  $G2$ ) am Oszilloskop langsam hochgefahren und die entsprechende Kurve vom X-Y-Schreiber auf einem Millimeterpapier aufgenommen.

## 2) Auswertung und Fehlerrechnung Hg

ABBILDUNG MIT BILDUNTERSCHRIFT: Kurve mit Annotationen.

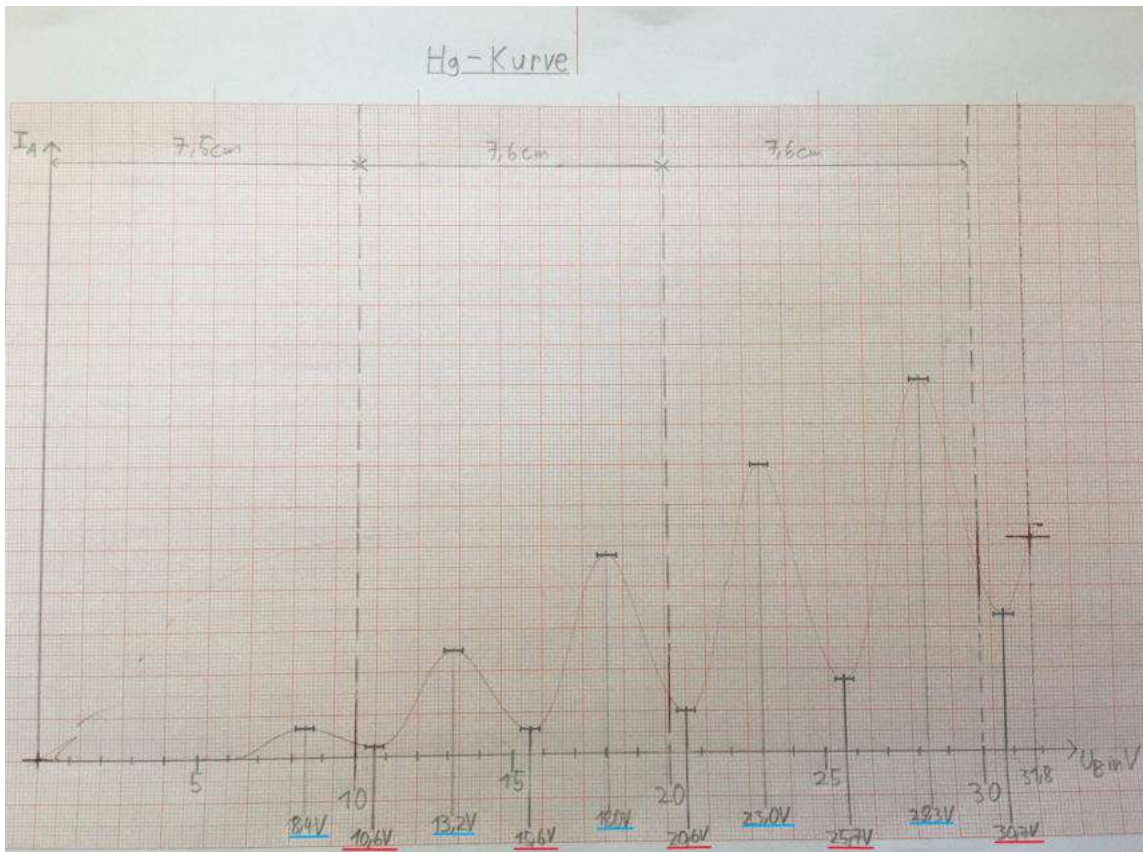


Abb.8: Beschriftete Version der Ergebniskurve Abb.2 mit eingezeichneter Skalierung der  $U_B$ -Koordinatenachse und zugehörigen Werten für die lokalen Maxima (blau) und Minima (rot) der Hg-Kurve unterhalb dieser, sowie den zugehörigen Unsicherheiten  $u_{Hg}$  dieser Messwerte auf der Kurve, und den Abständen  $d$  der Orientierungsspannungen  $U_B = 10V, 20V$  und  $30V$  in der oberen Hälfte der Abbildung auf dem Millimeterpapier

Tabelle 1: Gemessene Spannungsminima  $U_{Bmin}$  und Spannungsmaxima  $U_{Bmax}$  aus Abb. 8 und sich daraus ergebende Abstände dieser  $\Delta U_{Bmin}$  bzw.  $\Delta U_{Bmax}$  mit jeweils zugehörigen Unsicherheiten

Ordnung	$U_{Bmin}$ in V	$\Delta U_{Bmin}$ in V	$U_{Bmax}$ in V	$\Delta U_{Bmax}$ in V
1.	$10.6 \pm 0.22$	-----	$8.4 \pm 0.22$	-----
2.	$15.6 \pm 0.22$	$5.0 \pm 0.4$	$13.2 \pm 0.22$	$4.8 \pm 0.4$
3.	$20.6 \pm 0.22$	$5.0 \pm 0.4$	$18.0 \pm 0.22$	$4.8 \pm 0.4$
4.	$25.7 \pm 0.22$	$5.1 \pm 0.4$	$23.0 \pm 0.22$	$5.0 \pm 0.4$
5.	$30.7 \pm 0.22$	$5.0 \pm 0.4$	$28.3 \pm 0.22$	$5.3 \pm 0.4$

**FREITEXT:** Werten Sie Ihre Ergebnisse für Quecksilber aus und bestimmen Sie die erste Anregungsenergie und



## deren Unsicherheit.

Es lässt sich aus den Abständen der Spannungsminima  $\Delta U_{Bmin}$  und denen der Spannungsmaxima  $\Delta U_{Bmax}$  aus Tabelle 1 erkennen, dass die sich ergebenden Werte dieser sowohl untereinander als auch mit den jeweils anderen einen sich überschneidenden Unsicherheitsbereich aufweisen.

Dies entspricht den erwarteten Ergebnissen, da mit zunehmender Beschleunigungsspannung in konstanten Abständen die von der Glühkathode gelösten Elektronen eine Elektronenenergie erreichen, mit der sie eine zunehmende Anzahl von Quecksilberatomen in der Glasröhre anregen können. Hierzu muss die Elektronenenergie einem Vielfachen der Anregungsenergie  $E_{A1} - E_{Gr}$  entsprechen.

Gleichzeitig ergibt sich jedoch aus dem gleichmäßigen Abstand der Minima und Maxima der Kurve, dass vermutlich keine höheren Anregungszustände erreicht werden konnten.

Dies war mit der gegebenen experimentellen Anordnung unter anderem aufgrund der Richtungsänderung der Elektronen durch elastische Stöße mit den Atomen auch nicht zu erwarten.

Dennoch ermöglicht uns diese Tatsache eine aus den gegebenen Spannungsabständen  $\Delta U$  (Tab.1) folgernde Abschätzung der ersten Anregungsenergie des Quecksilbers  $E_1(Hg)$  mit zugehöriger Unsicherheit zu ermitteln.

Hierfür wird  $\Delta U_{avg}$  als arithmetischer Mittelwert (siehe Anmerkungen) aller ermittelten Spannungsabstände  $\Delta U_{Bmin}$  bzw.  $\Delta U_{Bmax}$  (Tab. 1) berechnet. Es ergibt sich aus einer Gesamtanzahl von  $n = 8$  Abstandswerten:

$$\Delta U_{avg} = \frac{4 \cdot 5.0V + 2 \cdot 4.8V + 5.1V + 5.3V}{8} = 5.0V$$

und eine zugehörige Unsicherheit  $u_{\Delta U, avg}$ , bei einer konstanten Messunsicherheit von  $0.4V$  bei allen Spannungsabständen in Tab. 1, von

$$u_{\Delta U, avg} = \sqrt{8 \cdot \left(\frac{0.4V}{8}\right)^2} = 0.15V$$

Also ein Ergebnis von  $\Delta U_{B, Hg} = \Delta U_{avg} \pm u_{\Delta U, avg} = (5.00 \pm 0.15)V$

Es ergibt sich daraus als erste Anregungsenergie des Quecksilbers mittels

$$E_1(Hg) = e\Delta U_{B, Hg} \quad (2)$$

mit zugehöriger Unsicherheit

$$u_{E1, Hg} = eu_{\Delta U, Hg} \quad (3)$$

$u_{\Delta U}$  - Unsicherheit des von  $\Delta U_{B, Hg}$  (entspricht  $u_{\Delta U, avg}$ )

ein Endergebnis von:

$E_1(Hg)$
$(5.00 \pm 0.15)eV$

### 3) Auswertung und Fehlerrechnung Ne

ABBILDUNG MIT BILDUNTERSCHRIFT: Kurve mit Annotationen.

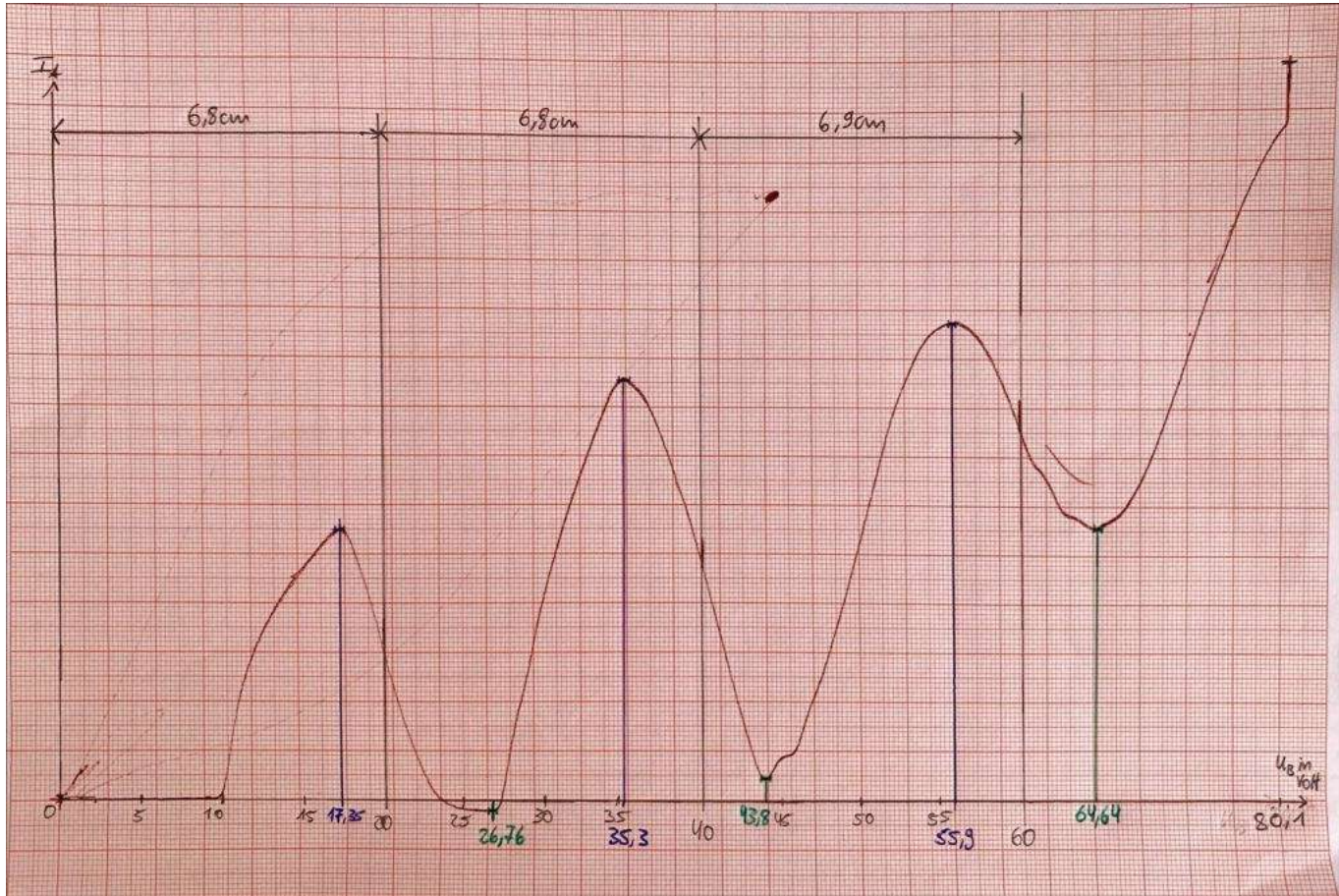


Abb.9: Beschriftete Version der Ergebniskurve Abb.3 mit eingezeichneter Skalierung der  $U_B$ -Koordinatenachse und zugehörigen Werten für die lokalen Maxima (blau) und Minima (grün) der Ne-Kurve unterhalb dieser, sowie den zugehörigen Unsicherheiten  $u_{Hg}$  dieser Messwerte auf der Kurve, und den Abständen  $d$  der Orientierungsspannungen  $U_B = 20V, 40V$  und  $60V$  in der oberen Hälfte der Abbildung auf dem Millimeterpapier

Tabelle 2: Gemessene Spannungsminima  $U_{Bmin}$  und Spannungsmaxima  $U_{Bmax}$  aus Abb. 9 und sich daraus ergebende Abstände dieser  $\Delta U_{Bmin}$  bzw.  $\Delta U_{Bmax}$  mit jeweils zugehörigen Unsicherheiten

Ordnung	$U_{Bmin}$ in V	$\Delta U_{Bmin}$ in V	$U_{Bmax}$ in V	$\Delta U_{Bmax}$ in V
1.	$26.76 \pm 0.26$	-----	$17.35 \pm 0.26$	-----
2.	$43.80 \pm 0.26$	$17.04 \pm 0.4$	$35.30 \pm 0.26$	$17.95 \pm 0.4$
3.	$64.64 \pm 0.26$	$20.84 \pm 0.4$	$55.90 \pm 0.26$	$20.60 \pm 0.4$

**FREITEXT: Werten Sie Ihre Ergebnisse für Neon aus und bestimmen Sie die erste Anregungsenergie und deren Unsicherheit.**

Es ist festzustellen, dass die  $\Delta U_{Bmin}$  und die  $\Delta U_{Bmax}$  untereinander keine Schnittpunkte in ihren Unsicherheitsbereichen aufweisen.

Vergleichen wir jedoch die  $\Delta U_{Bmin}$  mit den  $\Delta U_{Bmax}$  gleicher Ordnung, so fällt auf, dass die Werte 3. Ordnung einen sich überschneidenden Unsicherheitsbereich aufweisen.

Die Werte 2. Ordnung besitzen zwar keinen sich überschneidenden Unsicherheitsbereich, liegen aber mit ihren Unsicherheitsbereichen verhältnismäßig näher aneinander, als die  $\Delta U_{Bmin}$  bzw.  $\Delta U_{Bmax}$  Werte unterschiedlicher Ordnungen

(Abstand der Unsicherheitsbereiche 2. Ordnung: 0.17 V, die der  $\Delta U_{Bmin}$ : 3.06V bzw.  $\Delta U_{Bmax}$ : 1.91 V, für Berechnungen siehe Anmerkungen).

Zur Bestimmung der Anregungsenergie wird trotz dieser schwankenden Werte unterschiedlicher Ordnungen, der arithmetische Mittelwert (siehe Anmerkungen)  $\Delta U_{avg}$  aller Spannungsabstände  $\Delta U_{Bmin}$  bzw.  $\Delta U_{Bmax}$  aus Tabelle 2 ermittelt und genutzt.

Es ergibt sich aus einer Gesamtzahl von  $n = 4$  Abstandswerten:

$$\Delta U_{avg} = \frac{17.04V + 17.95V + 20.84V + 20.60V}{4} = 19.1075V$$

und eine zugehörige Unsicherheit  $u_{\Delta U, avg}$ , bei einer konstanten Messunsicherheit von 0.4V bei allen Spannungsabständen in Tab. 2, von

$$u_{\Delta U, avg} = \sqrt{4 * \left(\frac{0.4V}{4}\right)^2} = 0.2V$$

Also ein Ergebnis von  $\Delta U_{B, Ne} = \Delta U_{avg} \pm u_{\Delta U, avg} = (19.1 \pm 0.2)V$

Es ergibt sich daraus als ermittelte erste Anregungsenergie des Neons mittels

$$E_1(Ne) = e\Delta U_{B, Ne} \text{ (Analog zu 2)}$$

mit zugehöriger Unsicherheit

$$u_{E1, Ne} = eu_{\Delta U, Ne} \text{ (Analog zu 3)}$$

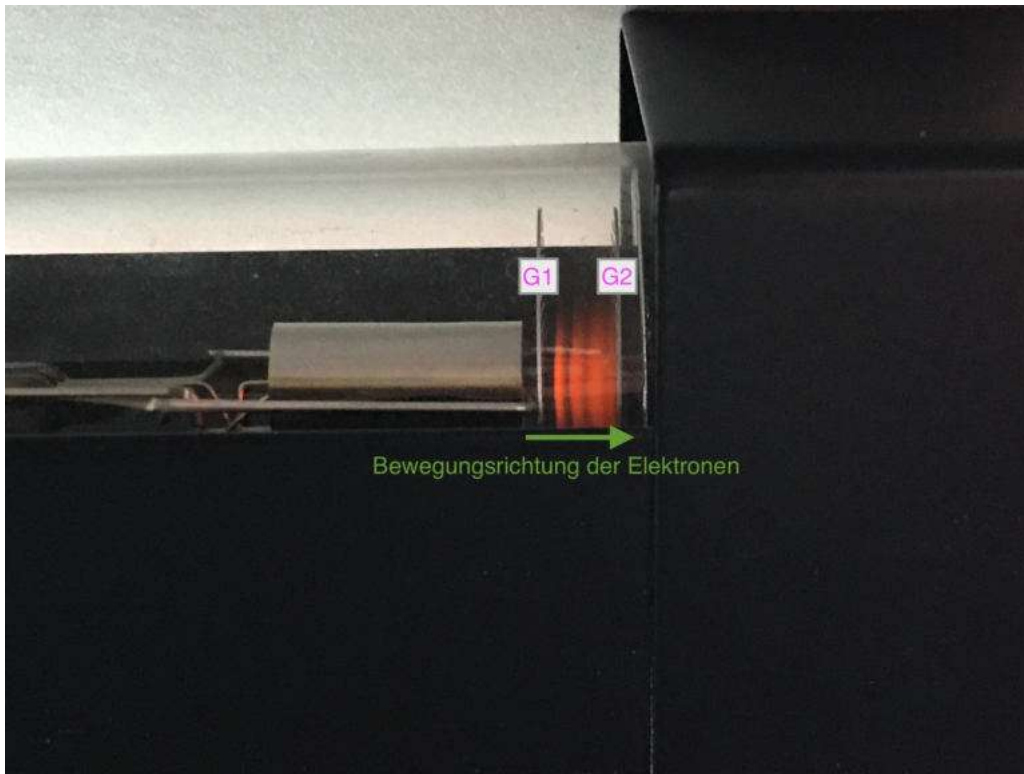
$u_{\Delta U}$  - Unsicherheit des von  $\Delta U_{B, Ne}$  (entspricht  $u_{\Delta U, avg}$ )

ein Endergebnis von:

$E_1(Ne)$
$(19.1 \pm 0.2) \text{ eV}$

#### 4) Leuchterscheinung Ne

*ABBILDUNG MIT BILDUNTERSCHRIFT: Foto der Leuchterscheinung*



*Abb.10:* Leuchterscheinungen beim Franck-Hertz-Versuch mit Neongaß bei einer Beschleunigungsspannung  $U_B$  von 80V unter näherungsweise ähnlichen Bedingungen wie zur Aufnahme der Ne-Kurve in Teil I), 3)

*FREITEXT: Erklären Sie die beobachtete  $U_B$ -abhängige Leuchterscheinung.*

Die in Abb. 10 erkenntlichen Leuchterscheinungen entstehen durch die Abregung von, aufgrund von unelastischen Stößen mit den beschleunigten Elektronen zwischen den Gittern der Franck-Hertz-Röhre (vergleiche Abb. 7), energetisch angeregten Neonatomen.

Diese werden mit der größten Wahrscheinlichkeit in Energiezustände zwischen 18.3 und 18.9 eV (siehe Abb.12) angeregt und können aus diesen aufgrund der nur quantenphysikalisch begründbaren Auswahlregeln nur über einen jeweiligen Zwischenzustand (zwischen 16.5 und 16.8 eV) abgeregt werden.

Aufgrund des damit verbundenen Energieverlustes emittiert das entsprechend angeregte Neonatom ein Photon, was eine Wellenlänge zwischen 580 und 705nm (siehe Abb.12) aufweist.

Diese Wellenlängen entsprechen denen von sichtbarem Licht<sup>1</sup>, welches im Farbspektrum zwischen gelb und rot liegen würde (gelb, orange, rot), wodurch die sichtbaren orange-roten Leuchterscheinungen in der Franck-Hertz-Röhre (siehe Abb. 10) erzeugt werden.



Die restliche Energie zum Übergang aus dem Zwischenzustand in den Grundzustand wird durch Emission von Photonen im Spektrum des UV-Lichts abgegeben und sind somit für den Menschen mit bloßem Auge nicht sichtbar.

Es ist weiterhin in Abb.10 zu beobachten, dass sich in bestimmten Abständen mehrere rot-orange farbene Balken ausbilden (in Abb.10 sind hierbei drei deutlich und ein weiterer ansatzweise zu erkennen).

Diese Balken sind abhängig von der angelegten Beschleunigungsspannung  $U_B$ , da Aufgrund der Zunahme dieser die Energie der beschleunigten Elektronen entlang der Franck-Hertz-Röhre zwischen den Gittern in Bewegungsrichtung (siehe Abb.10) entsprechend zunimmt.

So wird mit zunehmender Beschleunigungsspannung die benötigte Elektronenenergie zur Anregung der Neonatome in geringerem Abstand vom, in Beschleunigungsrichtung, ersten Gitter  $G1$  erreicht und der entsprechende Balken, welcher den Abschnitt der angeregten Neonatome darstellt, welche bei ihrer Abregung die orange-rote Leuchterscheinung erzeugen wandert aufgrund dessen in Richtung von diesem ersten Gitter  $G1$ .

Ab einer bestimmten Beschleunigungsspannung  $U_B$  erreichen die Elektronen nach ihrem ersten unelastischen Stoß mit den Neon-Atomen in der Franck-Hertz-Röhre erneut eine so große Energie, dass sie zwischen den beiden Gittern der Neon-Röhre ein weiteres Neon-Atom, entlang der Bewegungsrichtung verschoben (siehe Abb. 10), anregen können. Es bildet sich ein weiterer sichtbarer Balken. Dieser Vorgang kann sich mit zunehmender Beschleunigungsspannung wiederholen, sodass zum Beispiel in Abbildung 10, nahezu vier eindeutig erkennbare Balken erscheinen.

Es ist hierbei anzumerken, dass mit zunehmendem Abstand vom ersten Gitter  $G1$  die Elektronen aufgrund von unter anderem elastischen Stößen mit den Neon-Atomen in der Röhre eine höhere Dilatation in ihren jeweiligen Energien aufweisen. Dies zeigt sich unter anderem in einer Verbreiterung der entsprechenden Balken, sowie einer geringeren farblichen Intensität dieser.

## 5) Diskussion der Ergebnisse

**FREITEXT:** Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit Literaturwerten und diskutieren Sie in diesem Zusammenhang die bestimmten Unsicherheiten, aber auch ggf. mögliche andere Fehlerquellen und versuchen Sie deren Stärke abzuschätzen. Gehen Sie auf die für Neon beobachtete Feinstruktur des Kurvenverlaufs ein und versuchen Sie diese anhand von recherchierten Energiediagrammen zu erklären.

Es lässt sich Anhand von Abbildung 11 erkennen, dass der erste Anregungszustand von Quecksilber mit einer ermittelten Anregungsenergie von  $E_1(Hg) = (5.00 \pm 0.15)eV$  die Anregungsenergie von  $4.87 eV$  des  $6^3P_1$ -Anregungszustandes in ihrem Unsicherheitsbereich beinhaltet. Dies entspricht unserem Referenzwert für den ersten stabilen Energiezustand, da der darunterliegende  $6^3P_0$ -Anregungszustand einem sogenannten metastabilen Zustand (also schwach stabilen Zustand) entspricht und somit durch die steigende Beschleunigungsspannung  $U_B$  bei der Aufzeichnung der Hg-Kurve mit Hilfe des X-Y-Schreibers die Quecksilberatome nicht für längere Zeit in diesem Zustand stabil existieren könnten.

Der Referenzwert liegt somit im Unsicherheitsbereich der ermittelten ersten Anregungsenergie. Die zugehörige

Unsicherheit, sowie der Ergebniswert hätten in ihrer Genauigkeit jedoch vermutlich durch die Aufnahme weiterer Kurven mit dem X-Y-Schreiber zur besseren Abschätzung der statistischen Messunsicherheit, sowie zur Ermittlung weiterer Spannungsabstände  $\Delta U$  und der damit angestrebten optimierten Ermittlung eines arithmetischen Mittelwerts  $\Delta U_{avg}$  verbessert werden können. Hierfür hätte zum Beispiel bereits die Abb. 5 weiter ausgewertet und in die hier verwendete Berechnung der ersten Anregungsenergie einbezogen werden können. Die hier verwendete Fehlerabschätzung wird jedoch hier mit Blick auf den Referenzwert als hinreichend genau angesehen.

Der für die Neon-Kurve beobachtete Kurvenverlauf in Abb. 9 kann mit Hilfe des zugehörigen Energiediagramms in Abb.12 genauer untersucht werden. So ergibt sich im Vergleich zu der Hg-Kurve, bei der die Abstände zwischen Spannungsmaxima  $U_{Bmax}$  und Minima  $U_{Bmin}$  gleicher Ordnung ein jeweils gleichmäßiger Abstand von etwa 2V (siehe Tabelle 1), wohingegen der Abstand der entsprechenden Maxima und Minima der ersten Ordnung der Ne-Kurve einen deutlich höheren Abstand im Vergleich zu denen höherer Ordnungen aufweisen (siehe Tabelle 2). Dies ist jedoch durch das in Abb. 12 erkenntlichen Anregungsenergiezustandsspektrum zwischen 18.3 eV und 18.9 eV zu erklären, welches bedeutet, dass über einen längeren Abschnitt der Beschleunigungsspannungszunahme (siehe Abb. 9) weitere Energiezustände bei dem unelastischen Stoß der Elektronen mit den Neon-Atomen erreicht werden können und somit ein Zustand entsteht in dem nahezu alle Elektronen an Neon-Atome ihre Energie abgeben und damit, aufgrund einer ebenfalls zunehmenden Zahl von elastischen Stößen der Elektronen mit den angeregten Atomen, nicht am Auffänger ankommen. Es wird damit nahezu kein Auffängerstrom  $I_A$  gemessen (siehe erstes Minimum Abb.9).

Bei weiterer Zunahme der Beschleunigungsspannung  $U_B$  erreichen die Elektronen eine Elektronenenergie, mit welcher sie nun mehrere Neonatome zwischen den Gittern  $G1$  und  $G2$  anregen können (siehe Abb.7) hierbei haben sie jedoch aufgrund der vorherigen Anregungen eine diskretere Energieverteilung, wodurch wir in gleichmäßigere Abnahmen des gemessenen Auffängerstroms  $I_A$  übergehen.

Es ist festzustellen, dass die ermittelte erste Anregungsenergie von Neon mit  $E_1(Ne) = (19.1 \pm 0.2)eV$  den oberen Rand des möglichen Anregungszustandsspektrums (siehe Abb.12) beinhaltet, was unter anderem mit der geringen Anzahl an ermittelten Spannungsabständen  $\Delta U$  (vier unterschiedliche Abstände, siehe Tab. 2) und der damit einhergehenden größeren Anfälligkeit der berechneten Anregungsenergie für Fehlbestimmungen erklärt werden kann. Es gilt hierbei analog zu den Hg-Kurven eine Vermeidung dieser durch Aufnahme und Einbeziehung weiterer Messdaten, sowie eine weitere Anpassung und Berücksichtigung möglicher systematischer Fehler.

So lässt sich an der Abb. 9 erkennen, dass der vom X-Y-Schreiber maximal aufgenommene Spannungswert von  $U_B = 80.1V$ , welcher am Oszillator eingestellt wurde, nicht mit der Skalierung der Achse übereinstimmt. Dies lässt auf eine Fehleinstellung des Oszillators oder des X-Y-Schreibers zurückzuführen sein, was unter anderem für eine Behinderung der Aufnahme eines weiteren Spannungsmaximums bzw. Spannungsminimums, wie es sich Anhand der vier erkennbaren Lichtbalken in Abb.10 bei einer Beschleunigungsspannung von  $U_B = 80.1V$  vermuten ließe, verhindert haben könnte.

Es wäre also im weiteren Verlauf, unter Einbeziehung der Referenzwerte Abb.12 eine Anpassung der ermittelten ersten Anregungsenergie von Neon durch eine genauere Abschätzung möglicher systematischer Fehler, sowie eine größere Abschätzung der statistischen Unsicherheit ratsam.

Weiterhin sei hier vermerkt, dass die in Abb.10 erkannten Leuchterscheinungen unter Hinzuziehung der Abb.9,

sowie der Beschreibung der Leuchterscheinung in Teil I), 4), in der die Spannungen genannt wurden, ab denen diese Leuchterscheinungen zu erkennen sind, in etwa bei den Spannungsminima der Kurve in Abb.9 zu verzeichnen wären. Dies lässt sich damit erklären, dass durch die an diesen Punkten erreichte hohe Dichte von angeregten Neon-Atomen eine größere Anzahl dieser in die Zwischenzustände (siehe Abb.12) zurückfällt und somit eine hinreichende Anzahl von Photonen mit einer Wellenlänge im sichtbaren Licht<sup>1</sup> erreicht werden kann, welche mit dem bloßen Auge unter dem gegebenen Aufbau sichtbar gemacht werden konnte. Diese bildet sich durch die in Abb. 10 erkennbaren Leuchterscheinungen aus.

Abschließend kann die Bestimmung der ersten Anregungsenergie des Quecksilberatoms anhand der hier aufgenommenen Hg-Kurve als erfolgreich angenommen werden. Dagegen hat eine eingehende Untersuchung der Ne-Kurve ergeben hat, dass deren ermittelte erste Anregungsenergie, aufgrund von systematischen Fehlern wie einer Fehleinstellung des Oszilloskops oder des X-Y-Schreibers und statistischen Fehlern zum Beispiel die Anfälligkeit der Ergebnisse bezüglich Fehlmessungen durch die geringen Zahl an gemessenen Spannungsabständen, in einer weiteren Betrachtung oder erneuten Messung optimiert und mit einer größeren Unsicherheit angepasst werden müsste.

#### ABBILDUNG: Recherchierte Energiediagramme.

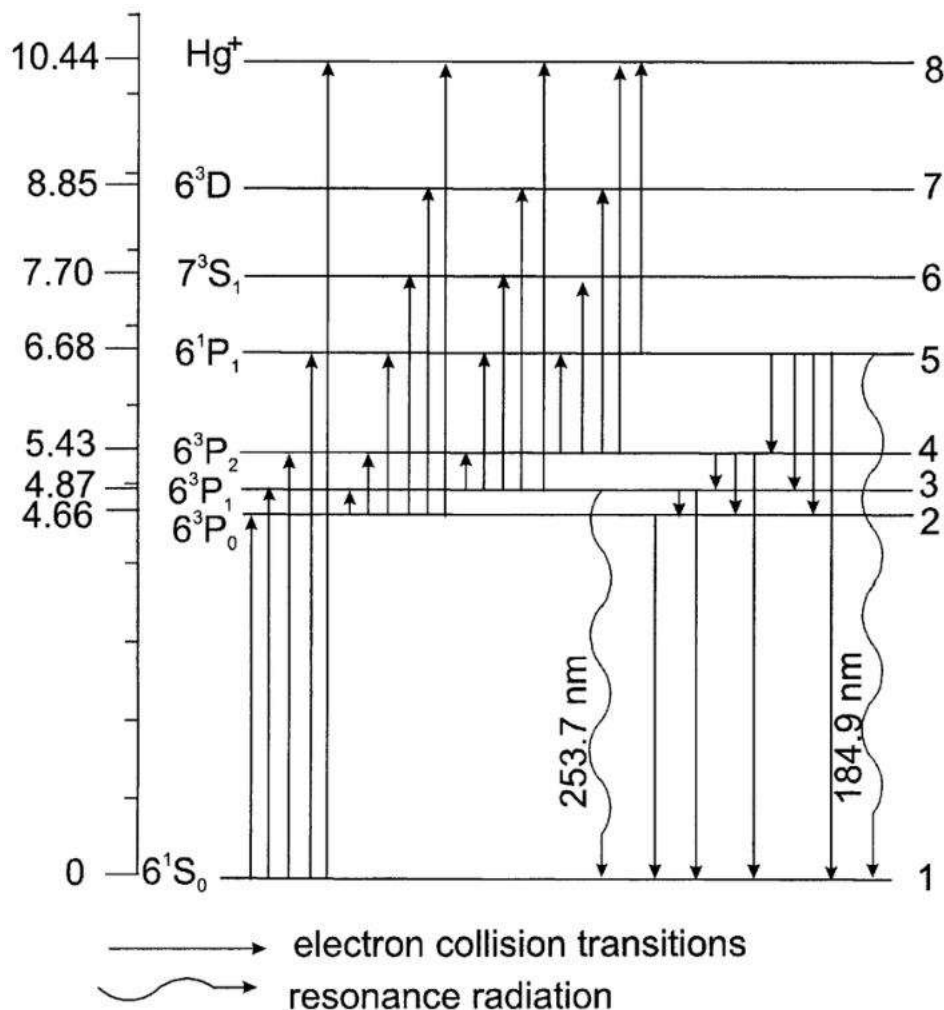


Abb.11: Energiediagramm für die diskreten Anregungszustände von Quecksilber mit Anregungsenergien zu den jeweiligen Anregungszuständen in eV auf der linken Seite der Abbildung

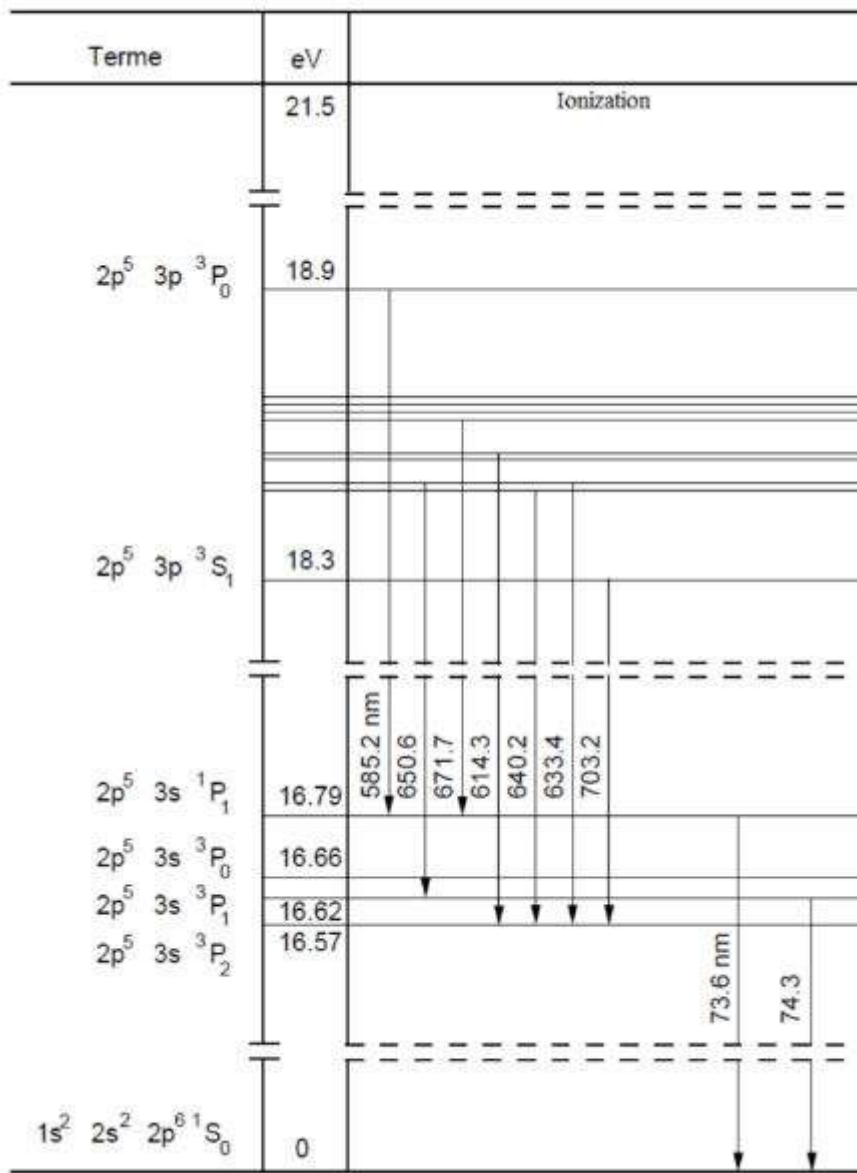


Abb. 12: Energiediagramm für die diskreten Anregungszustände von Neon zwischen 18.3 und 18.9 eV und die Zwischenzuständen zwischen 16.57 und 16.79 eV

## 7) Quellen

Referenzen:

<sup>1</sup>George State University(2016), HyperPhysics.

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/atspect2.html#c1>

## Bildquellen:

Abb. 7:

A2 Franck-Hertz-Versuch, Versuchsdurchführung (Abb.3)



Abb. 11:

Baeva, M.; Reiter, D. (2002) Monte Carlo Simulation of Radiation Trapping in Hg-Ar Fluorescent Discharge Lamps (Figure 1)

[https://www.researchgate.net/publication/226415521\\_Monte\\_Carlo\\_Simulation\\_of\\_Radiation\\_Trapping\\_in\\_Hg-Ar\\_Fluorescent\\_Discharge\\_Lamps](https://www.researchgate.net/publication/226415521_Monte_Carlo_Simulation_of_Radiation_Trapping_in_Hg-Ar_Fluorescent_Discharge_Lamps)

Abb. 12:

Tolba, T.; Ancu, L.; Pommerol A. (2013) Franck-Hertz (Figure 6)

[https://www.physik.unibe.ch/unibe/portal/fak\\_naturwis/b\\_paw/a\\_fphyast/content/e41821/e41822/e140946/e148625/e270487/files270494/Franck-Hertz\\_ger.pdf](https://www.physik.unibe.ch/unibe/portal/fak_naturwis/b_paw/a_fphyast/content/e41821/e41822/e140946/e148625/e270487/files270494/Franck-Hertz_ger.pdf)

## 8) Anmerkungen

Jegliche Berechnungen wurden mit den in diesem Protokoll notierten gerundeten Werten und Unsicherheiten vorgenommen. Es wurde die Rundungsmethode des physikalischen Grundpraktikums Teil I aus dem Wintersemester 2022/2023 verwendet.

Alle Unsicherheiten zu verwendeten Formeln wurden entsprechend der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berechnet.

### Berechnung der Unsicherheitsbereichsabstände [Teil II), 3)]

$\Delta U_{Bmin,i}$  Abstände mit i-Ordnung (siehe Tabelle 2):

$$(\Delta U_{Bmin,3} - 0.4V) - (\Delta U_{Bmin,2} + 0.4V) = (20.84V - 0.4V) - (17.04V + 0.4V) = 3.06V$$

$\Delta U_{Bmax,i}$  Abstände mit i-Ordnung (siehe Tabelle 2):

$$(\Delta U_{Bmax,3} - 0.4V) - (\Delta U_{Bmax,2} + 0.4V) = (20.60V - 0.4V) - (17.95V + 0.4V) = 1.91V$$

### 2. Ordnung :

$$(\Delta U_{Bmax,2} - 0.4V) - (\Delta U_{Bmin,2} + 0.4V) = (17.95V - 0.4V) - (17.04V + 0.4V) = 0.17V$$

## Arithmetischer Mittelwert

Dieser wurde mittels der Formel:

$$X_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

mit  $X_i$  den entsprechenden einzelnen Messwerten und n der Gesamtanzahl an einbezogenen Messwerten.

Es ergibt sich dann entsprechend der Gaußschen Fehlerfortpflanzung eine Unsicherheit von:

$$u_{X,avg} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{u_{X,i}}{n}\right)^2}$$

## Attached files

unknown.png

sha256: 99e1c04b5dc840005bdd53e23ab5d89fe07c2c0d25e1eb6d7613f383eff78d17



grafik.png

sha256: 31d6d969d2b4f76f18ce78b0871af5fde7033096d27c7577f530fb0f7ac665bd



grafik.png

sha256: 82dfa8678be78e5430098df36bacb1b5a28ef9c9c51933f51a04a5c6f0608ef0



unknown.png

sha256: 2fdccd7d5a69b3670f36f0226d81498daa9947cd1913d35d38e2d58d6b72da36



unknown.png

sha256: dd42115617bb7c252922f1793ab7019f0390eaa72b6d59ba08abab45a4a1d5bb



unknown.png

sha256: 2d2cad96fca228512cd0a7be665a2c09a67ec204961a2b298c68729dda6f6e93



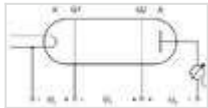
unknown.png

sha256: 0b7184b3520d99631a80fec299556a6708e8d58326941f9a6b86ee5dcb5820d5



unknown.png

sha256: 92df16ed5bd0d4328cf2a76b5b192341e3a26b78773f48e1e50cfefaba456987



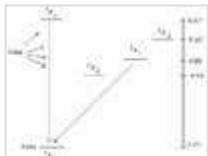
unknown.png

sha256: ff55c8f38935a4047b371dbf5ad1e89129a985e8510b835d9ef835c24b22464c



grafik.png

sha256: 8af9e2c2538affa46c91e1831e5517a71f86341d19e8521d011c779a06d961e8



grafik.png

sha256: 87ab0603e7663c6227e1fddacc943b55a2d4ef973714ddcbb1f34c95503c23d6



Unique eLabID: 20230620-64b779a8be66bab2c8610bcee5c8a4f1eda81d79  
Link: <https://elabftw.physik.hu-berlin.de/experiments.php?mode=view&id=1960>