

# FHV – Franck-Hertz Versuch

## Auswertung

Yudong Sun  
Gruppe L8

22. August 2021

### Teilversuch 1: Messung des Elektronenstrom als Funktion der Anodenspannung für Quecksilber

Die optimale Messkurve und Einstellungen sowie die Erklärungen zu Fragen 2 und 3 der Auswertung finden Sie im Laborprotokoll.

Um die Energieniveaus zu finden, verwenden wir die Abstände  $d$  zwischen den einzelnen Minima/Maxima (Minimum  $\leftrightarrow$  Minimum bzw. Maximum  $\leftrightarrow$  Maximum):

Abstand $d$ (Max) / V	4,40	4,66	4,94	4,95	4,99	5,05
Abstand $d$ (Min) / V	4,86	4,81	4,90	4,86	4,99	5,08

Der Fehler des einzelnen Datenpunktes ist hier vernachlässigt, denn dieser irrelevant ist. Die Anzahl der Datenpunkten ( $N = 12$ ) ist groß genug, dass es sinnvoll ist, direkt der Mittelwert und die Standardabweichung zu bilden, anstatt irgendeine Fehlerfortpflanzung durchzuführen. Hier betrachten wir somit die Typ A Unsicherheit<sup>1</sup>.

Dazu nehmen wir eine Normalverteilung der Daten an:

$$\bar{d} = \frac{\sum_i d_i}{N} = 4,874\,17\,\text{V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.1)$$

$$\Delta d = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2} = 0,187\,348\,\text{V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.2)$$

Die obigen Rechnungen erfolgten im LibreOffice Calc mittels der Funktionen AVERAGE und STDEV.S.

Somit erhalten wir  $d = (4,87 \pm 0,19)\,\text{V}$ , also ist  $E_{\text{Hg, exp}} = (4,87 \pm 0,19)\,\text{eV}$ . Dieser Wert stimmt mit dem Literaturwert  $E_{\text{Hg, lit}} = 4,9\,\text{eV}$  überein.

---

<sup>1</sup><https://www.isobudgets.com/type-a-and-type-b-uncertainty/>, 22. August 2021

Ein Photon mit der Energie  $E = (4,87 \pm 0,19) \text{ eV}$  hat die Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 254,588 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.3)$$

$$\Delta\lambda = \left| -\frac{hc}{E^2} \Delta E \right| = 9,932 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (1.4)$$

oder  $\lambda = (255 \pm 10) \text{ nm}$ . Als Literaturwert haben wir aus  $E = 4,9 \text{ eV}$  eine Wellenlänge von  $\lambda_{\text{lit}} = 253 \text{ nm}$ . Ein Photon dieser Wellenlänge liegt in der ultraviolett Spektralbereich und ist somit nicht sichtbar (ca. 380 bis 750nm) [Starr, 2006].

Aus dem NIST Datenbank [A. Kramida u. a., 2020] für [Hg I] ( $= \text{Hg}^{0+}$ ) ist

$$5d^{10}6s^2 \text{ } ^1S_0 \leftarrow 5d^{10}6s6p \text{ } ^3P_1$$

mit einer Wellenlänge von 253,65 nm die nächste Emissionslinie. Da diese gut im Fehlerbereich unseres experimentelles Wertes liegt, ist diese der Übergang, der der gerade berechnete Linie entspricht.

## Teilversuch 2: Messung des Elektronenstrom als Funktion der Anodenspannung für Neon

Die optimale Messkurve und die entsprechende Einstellungen finden Sie im Laborprotokoll.

### Zur Frage 2

$U_1$  ist die Spannung zwischen die Kathode und das Gitter A1, ist also die „Saugspannung“. Sie besagt wie viel Elektronen im Stoßbereich ( $A1 \cdots A2$ ) ausgelöst wird. Je höher die Anzahl der Elektronen, desto höher der Strom  $I_A$  im Allgemein. Wegen der linearen Anstieg der Spannung  $U_{B1}$ , kann man die horizontale Achse auch als Zeit betrachten. Die Fläche unter die Kurve kann man somit als die Gesamtanzahl an Elektronen, die bei der Anode ankommen. Somit:

$$\uparrow U_1 \Rightarrow \uparrow \text{Anzahl } e^- \Rightarrow \uparrow \text{Kurvesteigung} \quad (2.1)$$

Deswegen kann man durch erhöhen (bzw. verkleinern) der Spannung  $U_1$  steuern, wie steil die Kurve ist.

$U_3$  ist die Spannung zwischen das Gitter A2 und die Anode, ist also die „Gegenspannung“. Sie ist mit der elektrischen Feld zwischen A1 und A2 entgegengesetzt, und deswegen bremst die Elektronen, die durch das Gitter A2 durchkommt. Elektronen, die nicht genug Energie haben, um diese Gegenspannung  $U_3$  zu überwinden, können somit die Anode nicht erreichen. Sie funktioniert somit als Energieschwelle.

Da die Stöße ein statistische Prozess ist, kann man ein gaußformige Verteilung der Elektronenergie vorstellen. Somit sieht die Anzahl der Elektronen, die die Anode erreichen, wie die Kurve in Abbildung 2.1, wobei horizontale Achse die Spannung

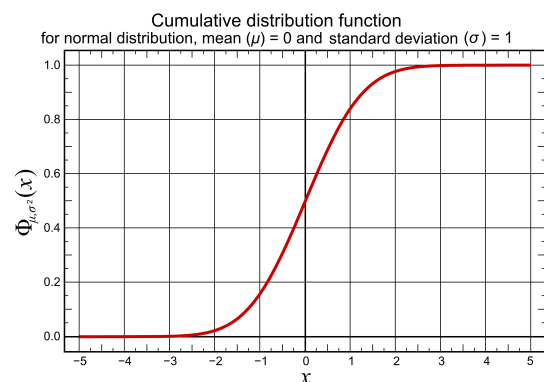


Abbildung 2.1: Gaußische kumulierte Verteilungsfunktion, © Wikimedia User:Mikael.Häggström

$U_3$  zugeordnet werden kann. Allerdings ist die Kurve gespiegelt: mit einer höheren Spannung  $U_3$  gibt es weniger Elektronen und bei einer niedrigen Spannung  $U_3$  mehr.

Da die Strom  $I_A$  bei der Minima genau die Anzahl die Elektronen besagt, die bei einer bestimmten Beschleunigungsspannung  $U_2$  durchkommen, kann man die Spannung  $U_3$  erhöhen, um die Minima-werten zu reduzieren (oder auch umgekehrt). Dadurch kann man dann die Ausprägung von Minima und Maxima steuern.

### Zur Frage 3

Während des Anstiegs der Beschleunigungsspannung  $U_2$  sieht man leuchtende Wolke/Schichten, die Richtung Gitter A1 bewegen. Ab eine bestimmte Punkt entsteht noch eine Wolke, was wiederum Richtung Gitter A1 bewegen. Am Ende gab es im Rohr 3 leuchtende Wolken. Siehe Laborprotokoll für die genauere Zeichnung.

Dazu kann man das Effekt in zwei Teile unterscheiden:

#### 1. Das Leuchten

Wenn es Elektronen gibt, welche Energie genau die Energieunterschied  $\Delta E_{1 \rightarrow 2}$  entsprechen, dann werden Ne-Atome nach einem Stoß angeregt. Da der angeregte Zustand nicht stabil ist, zerfällt das Atom sofort und ein Photon wird dann durch spontane Emission gestrahlt. Diese Photonen sehen wir dann als Leuchten.

#### 2. Bewegung Richtung Gitter A1

Siehe Laborprotokoll für eine Zeichnung. Die Spannung  $U_1$  regelt die E-Feldstärke entlang der A1  $\cdots$  A2 Achse. Je größer der E-Feldstärke, je kürzer die Strecke, die ein Elektron braucht, um auf die benötigte Energie zu beschleunigen. Somit schiebt sich der Punkt, wobei ein Elektron ein Ne-Atom anregen kann, in Richtung Gitter A1, wenn  $U_1$  erhöht ist.

Wenn  $U_1$  groß genug ist, kann Elektronen mehrmals in der Flugstrecke die benötigte Energie vom E-Feld gewinnen, somit entstehen mehrere leuchtende Wolken.

### Zur Frage 4

Da es nur zwei Minima in der Graphik gibt, gibt es nur einen Abstand, den man für die Berechnung der Energieniveau verwenden kann. Wir schätzen nun der Fehler der Spannung bei den Minima als  $\Delta U_{B1} = 0,03 \text{ V}$ , da diese die Auflösung der Tabelle im Programm war.

Der Abstand  $d$  zwischen der zwei Minima ist somit:

$$d = 6,17 \text{ V} - 4,26 \text{ V} = 1,91 \text{ V} \quad (2.2)$$

$$\Delta d = \sqrt{(\Delta 0,03 \text{ V})^2 + (\Delta 0,03 \text{ V})^2} = 0,04243 \text{ V} \quad (4 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.3)$$

Also erhalten wir:  $d = (1,91 \pm 0,05) \text{ V}$ . Das entspricht ein Energieunterschied  $\Delta E = (1,91 \pm 0,05) \text{ eV}$ , was ein Photon mit der Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 649,132 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.4)$$

$$\Delta \lambda = \left| -\frac{hc}{E^2} \Delta E \right| = 16,993 \text{ nm} \quad (5 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.5)$$

oder  $\lambda = (649 \pm 17) \text{ nm}$ .

Aus dem NIST Datenbank [A. Kramida u. a., 2020] für [Ne I] ( $= \text{Ne}^{0+}$ ) haben wir die folgende Emissionslinie zur Auswahl:

- |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| • 632,816 46 nm | • 638,299 14 nm | • 644,471 18 nm | • 664,000 95 nm |
| • 633,088 94 nm | • 640,1076 nm   | • 650,652 77 nm | • 664,080 nm    |
| • 633,442 76 nm | • 640,224 80 nm | • 653,288 24 nm | • 665,209 25 nm |
| • 635,185 32 nm | • 640,974 69 nm | • 659,895 28 nm | • 666,6892 nm   |
| • 636,499 63 nm | • 642,170 44 nm | • 660,290 07 nm |                 |

Dabei hat die Linien  $\lambda = 650,652 77 \text{ nm}$  und  $\lambda = 640,224 80 \text{ nm}$  (15000 bzw. 20000) die größte relative Intensität (also mehr wahrscheinlich). Da der Fehlerintervall aber zu groß relativ zum Unterschied zwischen die Emissionslinien ist, ist es schwer zu sagen, welcher genauer Übergang diese Energie entspricht.

Die Linien  $\lambda = 650,652 77 \text{ nm}$  ist mit dem Übergang

$$2s^2 2p^5 \left( {}^2P_{3/2} \right) 3s^2 [{}^{3/2}]_1 \leftarrow 2s^2 2p^5 \left( {}^2P_{3/2} \right) 3s^2 [{}^{5/2}]_2$$

verbunden. Die Linien  $\lambda = 640,224 80 \text{ nm}$  ist mit dem Übergang

$$2s^2 2p^5 \left( {}^2P_{3/2} \right) 3s^2 [{}^{3/2}]_2 \leftarrow 2s^2 2p^5 \left( {}^2P_{3/2} \right) 3s^2 [{}^{5/2}]_3$$

verbunden.

Alle diese Übergänge liegen im sichtbaren Bereich des EM-Spektrums.

In erster Linie sehe ich leider keine Widersprüche. Die leuchtende Wolken sehen rot/orange aus und die berechnete Wellenlänge liegt auch genau in diesem Bereich:

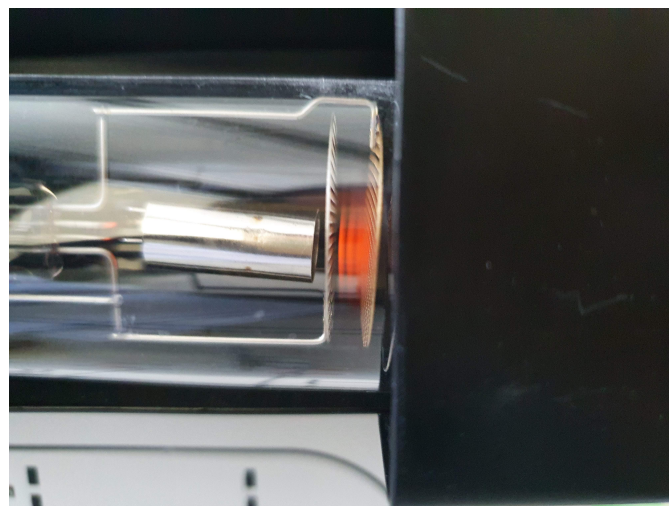


Abbildung 2.2: Die leuchtende Wolken

Was mir hier auffällt ist nur die etwa ungewöhnliche  $L = 3/2$  bzw.  $L = 5/2$  Zustände. Zu diesem Thema habe ich leider nicht viel im Internet gefunden. Ich würde mich freuen, wenn wir das und der in der Aufgabe genannte Widerspruch im Nachgespräch klären können.

### **Teilversuch 3: Aufnahme des Spektrums der Neon-Glimmentladung**

## Literatur

- A. KRAMIDA; YU. RALCHENKO; J. READER; AND NIST ASD TEAM, 2020 [NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.8), [Online]. Available: <https://physics.nist.gov/asd> [2021, August 22]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.].
- STARR, Cecie, 2006. *Biology concepts and applications. 6th ed.* Thomson Brooks/Cole. ISBN 978-0-534-46226-0. OCLC: 819453794.