

# FHV – Franck-Hertz Versuch

## Auswertung

Yudong Sun  
Gruppe L8

23. 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

Tabelle 1.1: Teilversuch 1 Messreihe

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 irgendwelche 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 obige Rechnung erfolgte 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/>, 23. 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

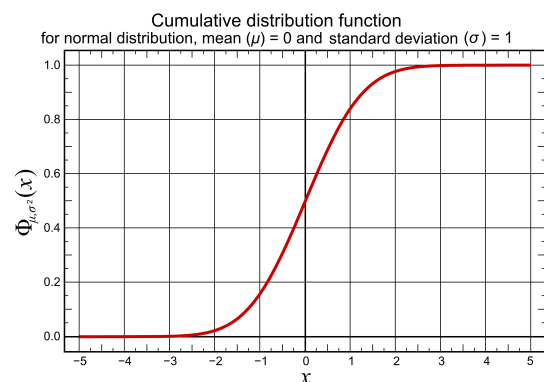


Abbildung 2.1: Gaußische kumulierte Verteilungsfunktion, © Wikimedia User:Mikael.Häggström

$U_3$  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 kurzer 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 mit  $U_{B1} = U_2/10$ :  $d' = (19,1 \pm 0,5) \text{ V}$ . Das entspricht ein Energieunterschied  $\Delta E = (19,1 \pm 0,5) \text{ eV}$ , was ein Photon mit der Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 64,9132 \text{ nm} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.4)$$

$$\Delta \lambda = \left| -\frac{hc}{E^2} \Delta E \right| = 1,6993 \text{ nm} \quad (5 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.5)$$

oder  $\lambda = (64,9 \pm 1,7) \text{ nm}$ .

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

- |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| • 59,870 56 nm | • 60,272 63 nm | • 61,910 23 nm |
| • 59,888 97 nm | • 61,562 83 nm | • 62,682 32 nm |
| • 60,003 65 nm | • 61,867 16 nm | • 62,973 88 nm |

4 Dabei hat der Übergang mit  $\lambda = 62,973\,88\text{ nm}$  ein Wellenlänge, die im Vergleich zu unserem experimentelle Wert am nächsten ist. Das Unterschied kommt vielleicht aus der ungenaue Bestimmung der Energieunterschied mit was ist effektiv nur einen Datenpunkt. Diese Übergang ist mit:

$$2s^2 2p^6 \, ^1S_0 \leftarrow 2s^2 2p^5 \left( ^2P_{3/2} \right) 4s \, ^2[3/2]_1$$

assoziiert.

Diese Wellenlänge (ultraviolett) liegt weit außerhalb dem sichtbaren Bereich. Es besteht hier also ein Widerspruch, weil wir im Versuch rote/orange Wolken erkennen konnten:

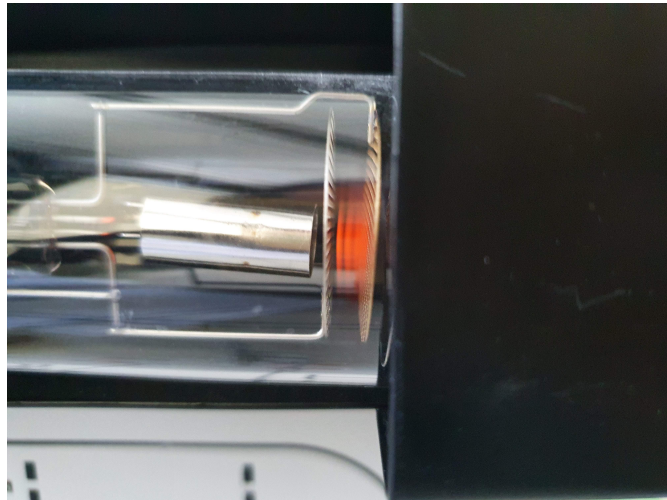


Abbildung 2.2: Die leuchtende Wolken

Diese rote/orange Wolken besagt eine Wellenlänge, die etwa 10-Fach größer ist. Ich habe am Anfang  $U_2 = U_{B1}$  anstatt  $U_2 = 10 \times U_{B1}$  gerechnet und die Wellenlänge hat gut gepasst, was interessant ist.

Was mir hier auch auffällt ist die etwa ungewöhnliche  $L = 3/2$  Zustand. Zu diesem Thema habe ich leider nicht viel im Internet gefunden. Ich würde mich freuen, wenn wir das im Nachgespräch klären können.

### Zur Frage 5

Die Unterstruktur, die man beim dritten Minima erkennen kann, lässt sich vermutlich mit der Feinstrukturaufspaltung erklären. Aus der Termschema von Ne sehen wir viele Energieniveau, die zwar unterhalb unsere  $\Delta E = (19,1 \pm 0,5)\text{ V}$  sind, aber kein Grundzustand ( $2s^2 2p^6 \, ^1S_0$ ) ist. Die angeregte Elektronen

können dann erst in diesem Energieniveau zerfallen, bevor sie im Grundzustand landen, was Photonen im sichtbaren Bereich (weniger Energie) erzeugt. Diese Energieniveaus erscheinen in unserem Versuch dann als diese Unterstruktur.

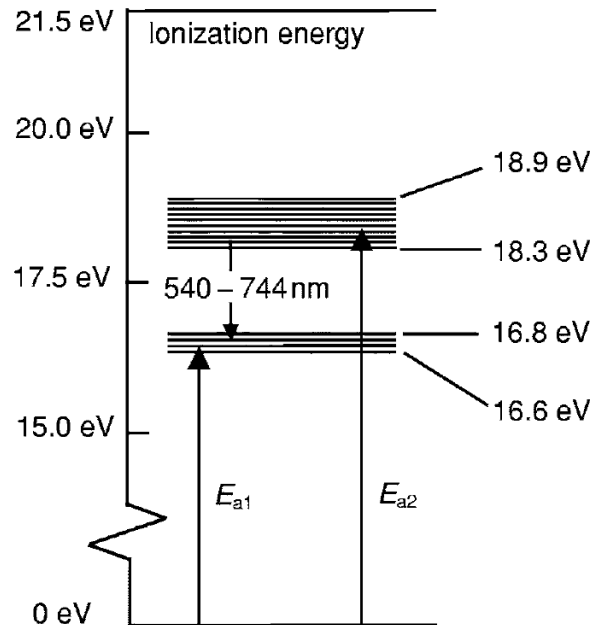


Abbildung 2.3: Ausgewählte Ne Niveaus [Rapier u. a., 2006]

Wenn wir den Energieunterschied zwischen den Unterstrukturen berechnen, finden wir auch genau den erwarteten Energieunterschied. Beispielsweise:

$$61,7 \text{ V} - 59,8 \text{ V} = 1,9 \text{ V} \implies \lambda = 653 \text{ nm} \quad (3 \text{ sig. Zif.}) \quad (2.6)$$

Hier wird keine Fehlerrechnung durchgeführt, da diese Rechnung nur zur Anschauung des Effekts dient.

### Zur Frage 6

Aus [Rapier u. a., 2006] werden folgenden Phänomenen beschrieben, was ich auch im Versuch beobachtet habe:

- Abstände zwischen nacheinander folgenden Minima bzw. Maxima steigen an und bleiben nicht konstant. Siehe Tabelle 1.1.
- Die Anzahl der Dips steigt an mit steigender Minimum-Nummer. (Unterstruktur deutlich bei dritten Maxima im Vergleich zu zweiten. Es liegen sogar mehr Unterstrukturen, siehe Teilversuch 2 Laborprotokoll)

Der Versuchsaufbau im [Rapier u. a., 2006] ist etwa der gleiche als unser Aufbau. Es ist also zu erwarten, dass wir ähnliche Phänomene beobachten können. Der Haupteffekt ist im Paper beschrieben:

... We will show that this increase is due to the additional acceleration of electrons over the mean free path after the excitation energy has been reached, but before inelastic collisions with atoms occur...

Sie haben dann mithilfe unterschiedliche Temperatur diese Phänomenen untersucht. Die Erklärung war anschaulich und interessant. Wir haben zwar nur ein Temperatur untersucht, aber die Ergebnisse sind auch in unserem Versuch erkannt und infolgedessen reproduzierbar.

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

Diese Linien liegen alle innerhalb des sichtbaren Bereichs (ca. 380 bis 750nm) [Starr, 2006] und sogar im orangen/roten Bereich. Es gibt auch sehr viele Spektrallinien. Genau weißt ich eigentlich nicht, warum das zu erwarten ist:

- Warum orangen/roten Bereich?
- Warum so viele Spektrallinien?

Ich kann mich aber mithilfe des Termschemas erwarten, dass die Spektrallinien genau die Energieunterschiede zwischen die Energieniveau sind. Bei einer Glimmentladung wird sehr viele Atomen angeregt. Sie zerfallen und produzieren wegen des genauen Unterschieds zwischen die Energieniveau auch entsprechend Photonen von bestimmten Wellenlängen. Da die Energieunterschiede im Bereich orange/rot liegen, erhalten wir auch durch die Glimmentladung diese Linien.

Ich würde mich jedoch freuen, wenn wir diese Aufgabe auch im Nachgespräch diskutieren können.

### 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.].
- RAPIOR, Gerald; SENGSTOCK, Klaus; BAEV, Valery, 2006. New features of the Franck-Hertz experiment. *American Journal of Physics online* Jg. 74, Nr. 5, S. 423–428 [besucht am 2021-08-23]. ISSN 0002-9505, ISSN 1943-2909. Abger. unter DOI: 10.1119/1.2174033.
- STARR, Cecie, 2006. *Biology concepts and applications. 6th ed.* Thomson Brooks/Cole. ISBN 978-0-534-46226-0. OCLC: 819453794.