

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,  
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

---

**Versuch 26**  
**Der Franck-Hertz-Versuch**

---

Praktikant/in:

E-Mail:

Betreuer/in:

Datum der Durchführung: 07.05.2024

Testat:

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>4</b>
2.1	Bohrsches Atommodell . . . . .	4
2.2	Der Franck-Hertz-Versuch . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1	Aufbau . . . . .	6
3.2	Experiment . . . . .	7
3.3	Sicherheit . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>8</b>
4.1	Bestimmung der Spannungsmaxima . . . . .	8
4.2	Anregungsenergie und Niveaus . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>14</b>
6.1	Formeln für Fehlerrechnung und lineare Regression . . . . .	15
	<b>Literatur</b>	<b>17</b>

---

# 1 Einleitung

Moderne Laser funktionieren wie das Prinzip des Franck-Hertz-Versuches, indem Elektronen in angeregten Atomen auf energetisch günstigere Zustände abfallen und dabei Photonen emittieren. Besonders der Helium-Neon-Laser, welcher rotes Licht aussendet, wird für die Nutzung, für welche kohärentes Licht benötigt wird, verwendet.

Der originale Franck-Hertz-Versuch war der erste experimentelle Nachweis für diskrete Energieniveaus in Atomen.

---

## 2 Theorie

### 2.1 Bohrsches Atommodell

Nach dem Bohrschen Atommodell sollen klassische Bewegungsgleichungen für Elektronen zwar gelten, diese sollen sich aber nur auf bestimmten Bahnen um den Atomkern bewegen können, wie schematisch in Abbildung 2.1 dargestellt.

Die Energie eines Elektrons auf der  $n$ -ten Bahn ist dabei

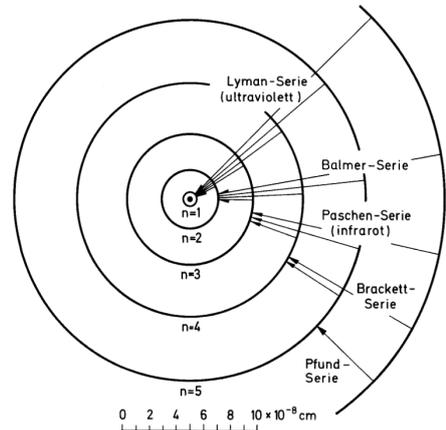
$$E_n = -\frac{Z^2 e^4 m_0}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad (2.1.1)$$

[3, S. 109].  $Z$  ist die Kernladungszahl,  $m_0$  die Elektronenmasse,  $e$  die Elementarladung,  $\hbar$  die reduzierte Planckkonstante,  $\epsilon_0$  die elektrische Feldkonstante und  $n \in \mathbb{N}$  die Zahl zum Energie-Niveau, auf dem sich das Elektron befindet.

Die Bewegung der Elektronen auf diesen fest definierten Bahnen ist strahlungsfrei, wechselt ein Elektron jedoch von einer Bahn weiter außen mit höherer Energie auf eine Bahn weiter innen mit niedrigerer Energie, so wird ein Photon emittiert mit der Energie

$$E_{\text{Photon}} = h\nu = E_n - E_{n-1}. \quad (2.1.2)$$

[3, vgl. S. 106]. Wird Licht einer entsprechenden Energie absorbiert, läuft dieser Prozess in die entgegengesetzte Richtung ab, ein Elektron wechselt also auf eine Bahn mit höherer Energie.



**Abbildung 2.1:** Bohrsches Modell einer Wasserstoff-Atoms mit den ersten fünf Energie-Niveaus und Übergängen zwischen diesen, [3, S. 107]

### 2.2 Der Franck-Hertz-Versuch

Der genaue Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs, wie er auch in diesem Experiment verwendet wird, ist in Unterabschnitt 3.1 beschrieben, der ursprüngliche Versuch wurde jedoch mit einer mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre durchgeführt.

Die aus der Glühkathode  $K$  (siehe Abbildung 3.1) herausgelösten Elektronen bewegen sich durch die mit Quecksilberdampf gefüllte Röhre. Je höher dabei die Spannung  $U_H$  ist, desto mehr Elektronen erreichen zunächst die Auffangelektrode  $A$ .

Sobald die Elektronen durch  $U_H$  ausreichend Energie besitzen, um das erste Energie-Niveau der Quecksilber-Atome anzuregen, fällt der in  $A$  gemessene Strom ab, da nun

die Elektronen nach einer Interaktion mit dem Quecksilber nicht mehr genug Energie haben, die leichte Potenzialdifferenz zur Auffangelektrode zu überwinden. An diesem Punkt gilt nun

$$eU_H = h\nu, \quad (2.2.1)$$

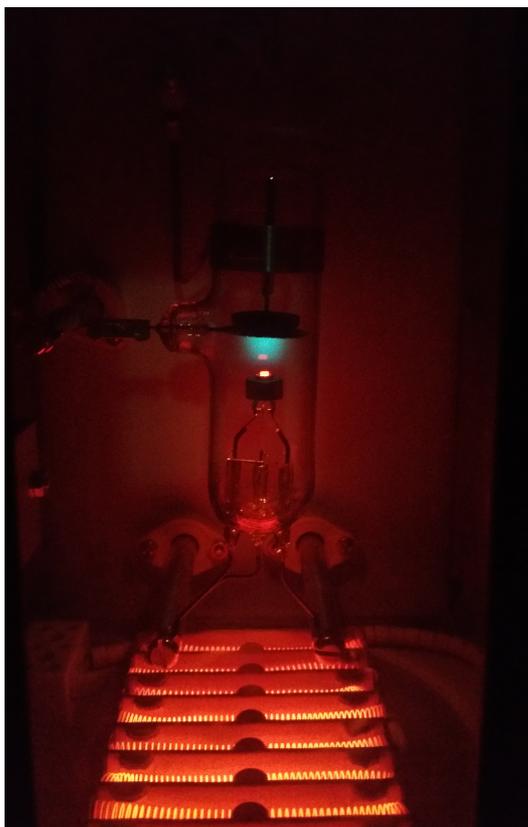
wobei  $U_H$  die beschriebene Beschleunigungsspannung ist,  $e$  die Elementarladung,  $h$  die Plancksche Konstante und  $\nu$  die Frequenz des ausgestrahlten Lichts. Das Licht, welches beim zurückfallen auf des ursprüngliche Energie-Niveau der Quecksilbers emittiert wird, ist nun im Quecksilberdampf als grünes Leuchten zu erkennen, wie in Abbildung 2.2 zu sehen.

Wird nun die Beschleunigungsspannung weiter erhöht steigt der an A gemessene Strom wieder an, bis die Elektronen genug Energie haben um ein weiteres mal mit einem Quecksilber-Atom zu interagieren.

Dies erlaubt die Differenz der Energien bei zwei aufeinanderfolgenden maximalen Strömen  $I_{\max, k}$  und  $I_{\max, k+1}$  an A zu bestimmen mit

$$\Delta E = e [U_H(I_{\max, k+1}) - U_H(I_{\max, k})] \quad (2.2.2)$$

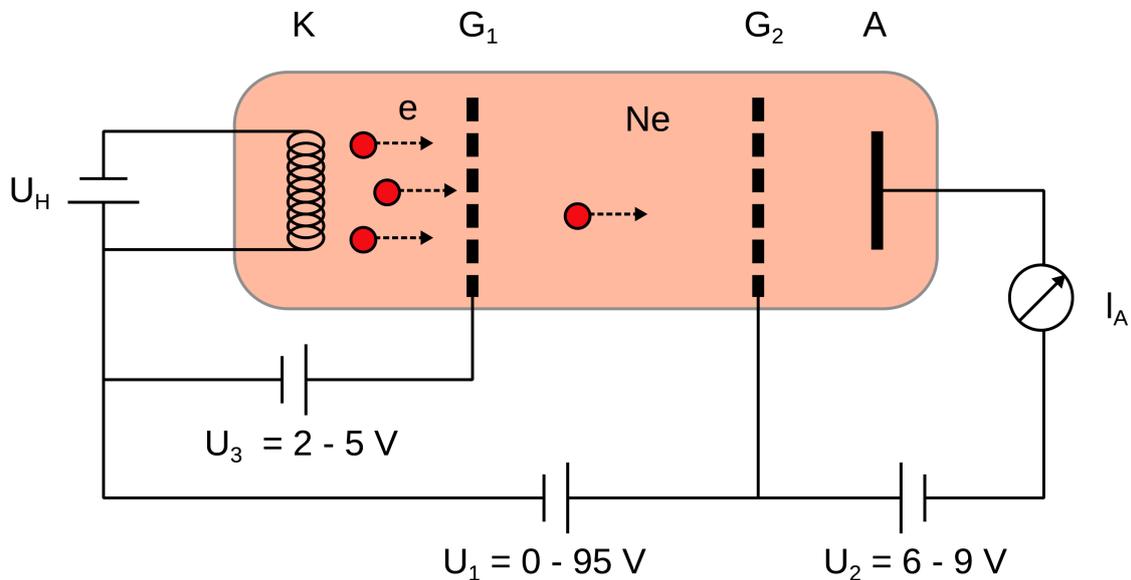
wobei  $e$  die Elementarladung und  $U_H(I)$  die beim entsprechenden Strom eingestellte Beschleunigungsspannung ist.



**Abbildung 2.2:** Leuchten im Quecksilberdampf durch die Anregung des ersten Energie-Niveaus des Quecksilbers durch Elektronen, aus [1]

## 3 Durchführung

### 3.1 Aufbau



**Abbildung 3.1:** Schaltplan des Versuchsaufbaus; orange hinterlegt ist die Neon-Röhre; zu beachten ist, dass die senkrechten parallelen Striche hier die Spannungen angeben sollen, die zwischen den Bauteilen besteht, obwohl das Zeichen eigentlich für „Batterie“ steht; Grafik aus [5, S. 71]

Bei dem Versuch wird eine Heizspannung  $U_H$  abgelegt, bei der Elektronen durch die Glühkathode  $K$  laufen und durch die Spannung  $U_3$  zwischen Kathode und Ladungsgitter  $G_1$  aus  $K$  herausgelöst werden und sich auf das Ladungsgitter absetzen. Durch die Beschleunigungsspannung  $U_1$ , zu sehen in Abbildung 3.1 und fortwährend  $U_B$  genannt, zwischen Kathode und Ladungsgitter  $G_2$  werden die Elektronen durch das Gas Neon (Ne) geschickt, wo sie, sofern sie die richtige kinetische Energie besitzen, die von der Beschl.-Spannung abhängt, die Anregungsenergie der Neon-Atome an diese angeben, wodurch die Gasatome angeregt werden. Hinter dieser Wechselwirkungszone befindet sich schließlich noch die Auffanganode, wobei eine geringe Spannung zwischen Ladungsgitter  $G_2$  und Anode angelegt ist, welche die einfliegenden Elektronen abbremst, sodass nur Elektronen mit genügend kin. Energie von der Anode aufgenommen werden. Der Strom dieser Elektronen an der Anode wird als Auffängerstrom bezeichnet und gemessen.

---

## 3.2 Experiment

Der restliche Aufbau besteht neben der Röhre noch aus einem Betriebsgerät und einem Multimeter. Zunächst wird das Betriebsgerät an der DIN-Buchse mit dem Ein-/Ausgang „ $U_H$ “ an der Ne-Röhre und über der BNC-Buchse „ $I_A$ “ am Gerät mit der oberen Buchse der Röhre verbunden. Das Multimeter wird mit dem Ausgang „ $U \sim I_A$ “ des Betriebsgeräts verbunden und in dem Modus Spannung betrieben. Dabei zeigt es eine Spannung  $U_A$  an, die proportional zu der Auffängerstrom  $I_A$  an der Anode ist.

Während das Betriebsgerät ausgeschaltet ist, zeigt das Multimeter noch einen Offset  $U_0$  an, der notiert und von den späteren Messwerten abgezogen werden muss.

Anschließend wird das Betriebsgerät mit dem Knopf unter der LED „Start/Stop“ eingeschaltet. Mit dem „Function“-Knopf wird der Modus „man.“ und mit dem „Display“-Knopf die Spannungen für  $U_H$ ,  $U_2$  und  $U_3$ , wie in Abbildung 3.1 bezeichnet, eingestellt. Unsere verwendeten Spannungen sind:  $U_H = 6,5 \text{ V}$ ,  $U_2 = 8 \text{ V}$  und  $U_3 = 3 \text{ V}$ . Da die Messung bei der Beschleunigungsspannung  $U_B = 0 \text{ V}$  beginnt, wird diese Spannung mit den „Display“-Knopf eingestellt und die „Start/Stop“-LED mit dem „Function“-Knopf aktiviert.

Nun werden 190 Messungen für  $U_B$  zwischen 0 und 95 V mit einem Inkrement von 0,5 V und  $U_A$  jeweils abgelesen, wobei es nötig sein kann, um die Maxima von  $U_A$  herum eine höhere Auflösung für  $U_B$  zu verwenden.

Während der Messung sollen die Lichterscheinungen durch die emittierten Photonen der Ne-Atome vor allem in ihrer Farbe notiert werden, wozu der Arbeitsplatz verdunkelt werden muss.

## 3.3 Sicherheit

Wird die Franck-Hertz-Röhre mit höheren Strömen als  $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ A}$  betrieben, kann es zu Gasentladungen kommen, welche die Röhre beschädigen können. Abseits der selbstregulierenden Funktion des Betriebsgeräts bezüglich der Ströme muss bei ungewöhnlich hellem Leuchten in der Röhre dennoch sofort das Betriebsgerät ausgeschaltet werden.

---

## 4 Auswertung

### 4.1 Bestimmung der Spannungsmaxima

Im Folgenden sollen die Spannungsmaxima im Auffängerstrom bestimmt werden, um daraus die Anregungsenergie des Neons bestimmen zu können.

Zunächst beläuft sich der Fehler der Beschleunigungsspannung durch halbe Skalenbreite auf  $\sigma_{U_B} = 0,25 \text{ V}$ . Da das Multimeter mit angeschaltetem Betriebsgerät aber bei  $U_B = 0$  eine Auffängerspannung angezeigt hat, müssen wir diesen Offset  $U_0$  von den genommenen Spannungswerten subtrahieren.

Für die gesamte Dauer der Messung schwankten die Auffängerspannungswerte um  $\sigma_s = 2 \text{ mV}$  und das Multimeter hat für Gleichspannung einen Fehler von

$$\sigma_{V,---} = 0,25 \% \cdot \text{Max.-Wert} + \text{kleinster Skalenteil} \quad (4.1.1)$$

nach [4, S. 17], sodass sich für den Offset und alle Spannungswerte vor Abzug des Offsets  $\tilde{U}_A$  ein Fehler von

$$\sigma_{\tilde{U}_A, \text{Offset}} = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_{V,---}^2} \quad (4.1.2)$$

ergibt. Nach Abzug von  $U_0$  haben die Auffängerspannungswerte einen Fehler von

$$\sigma_{U_A} = \sqrt{\sigma_{\tilde{U}_A}^2 + \sigma_{U_0}^2}. \quad (4.1.3)$$

Die erste Auftragung von  $U_A$  gegen  $U_B$  ist aus Abbildung 4.1 erkennbar.

Als nächstes werden Fittangenten mit `scipy.optimize` an die Werte einschließlich der Minima bis ausschließlich der Maxima an beide Flanken um jedes Maximum gelegt. Aus den Schnittpunkten der Tangenten pro Maximum lassen sich die Maximalstellen  $x_s$  berechnen, indem die Gleichungen beider Flankentangenten gleichgesetzt werden:

$$m_1 \cdot x + b_1 \stackrel{!}{=} m_2 \cdot x + b_2 \quad (4.1.4)$$

$$\Leftrightarrow x_s = \frac{b_2 - b_1}{m_1 - m_2}. \quad (4.1.5)$$

Daraus ergibt sich nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung 6.1.5 ein Fehler für  $x_s$  von

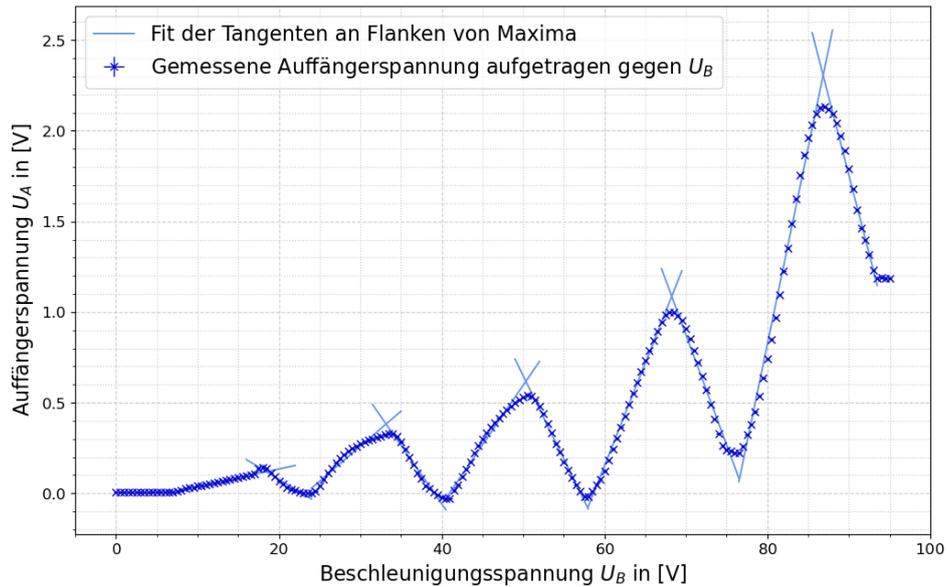
$$\sigma_{x_s} = \sqrt{(\sigma_{m_1}^2 + \sigma_{m_2}^2) \left( \frac{b_2 - b_1}{(m_1 - m_2)^2} \right)^2 + (\sigma_{b_1}^2 + \sigma_{b_2}^2) \left( \frac{1}{m_1 - m_2} \right)^2}. \quad (4.1.6)$$

Die Fitparameter der Tangenten sind in Tabelle 2 aufgelistet. Die Extremstellen in  $U_B$  befinden sich in Tabelle 1.

Ordnung des Maximums	Maximumstelle $x_s$ in [V]
1	$19 \pm 1$
2	$33,2 \pm 0,6$
3	$50,3 \pm 0,5$
4	$68,3 \pm 0,4$
5	$86,9 \pm 0,4$

**Tabelle 1:** Schnittstellen in der Beschleunigungsspannung  $U_B$  der Tangentenfits aus Tabelle 2 zur Bestimmung der Anregungsenergie von Neon

Der Fit der Tangenten mit den Parametern nach Tabelle 2 mit den Schnittpunkten aus Tabelle 1 und den gemessenen Datenpunkten sind nochmal in Abbildung 4.1 dargestellt.

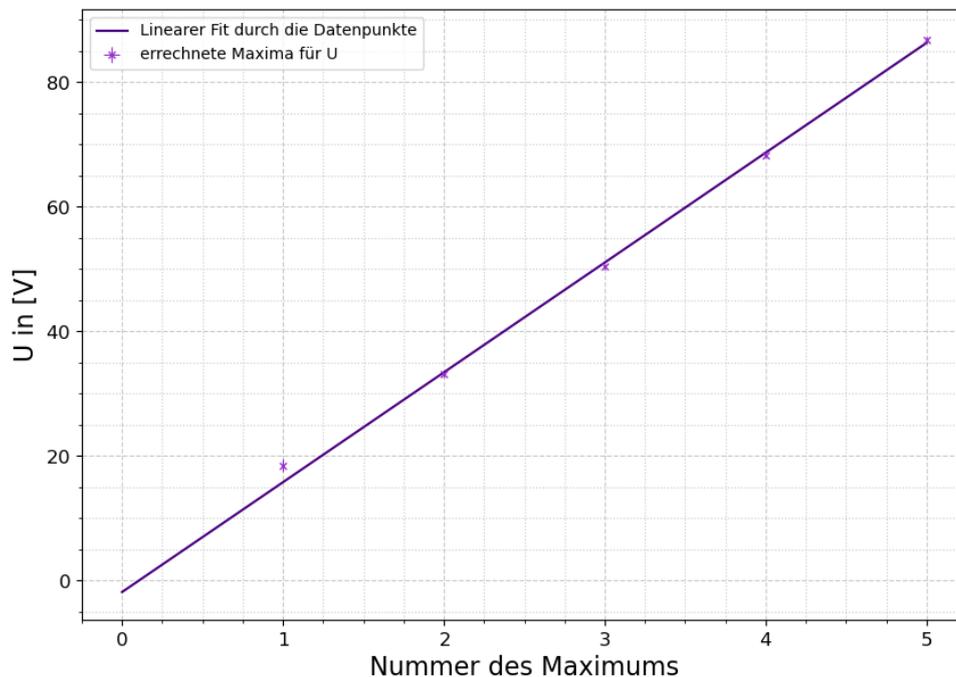


**Abbildung 4.1:** Tangentenfits nach Tabelle 2 an den Flanken von der Auffängerspannung  $U_A$ , welche aus dem Auffängerstrom  $I_A$  resultiert, aufgetragen gegen die eingestellte Beschleunigungsspannung; die Fehlerbalken sind eingezeichnet, aber sehr klein

---

## 4.2 Anregungsenergie und Niveaus

Die Anregungsenergie des Neons kann nun analog zu Gleichung 2.2.2 bestimmt werden. Zur schnelleren Berechnung wurden die jeweiligen  $U_H$  der Maxima aus Tabelle 1 gegen die Nummer des entsprechenden Maximums geplottet, zu sehen in Abbildung 4.2. Daraus ist die Anregungsenergie  $E_A$  aus der Steigung  $m$  abzulesen als  $E_A = m \cdot e$ , wobei  $e$  die Elementarladung ist. Dies gibt für die Anregungsenergie den Wert  $E_A = 17,63 \pm 0,18$  eV. Mit Gleichung 2.1.2 umgestellt zu  $\lambda = \frac{hc}{E}$  kann die daraus resultierende Wellenlänge bestimmt werden zu  $\lambda = 70,4 \pm 0,8$  nm, mit Fehler nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung 6.1.5 .



**Abbildung 4.2:** Die aus Abbildung 4.1 bestimmten Werte von  $U_H$  aufgetragen gegen die Nummer des entsprechenden Maximums, mit linearem Fit durch Python mit den Fit-Parametern für  $f(x) = m \cdot x + b$ ,  $m = 17,63 \pm 0,18$  und  $b = -1,9 \pm 0,7$

Mit dieser Energie kann man anhand von Abbildung 4.3 erkennen, dass es sich um eine Anregung in das  $^3P_1$  oder  $^1P_1$  Niveau handelt.

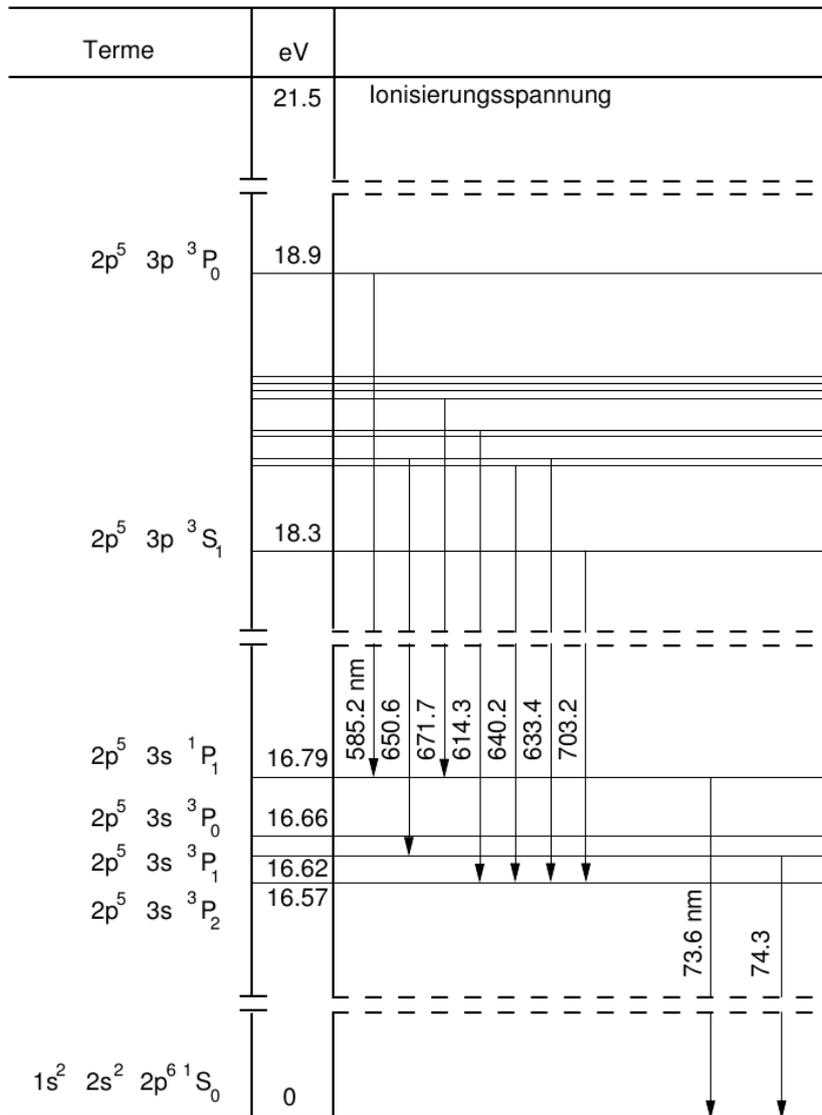


Abbildung 4.3: Termschema von Neon, nach [2]

---

## 5 Diskussion

Wie geeignet ein Messverfahren oder eine Berechnungsmethode sind, hängt immer vom Anwendungsfall ab, weswegen man nicht grundsätzlich sagen kann, dass die Bestimmung von Extremstellen durch die Schnittstelle von Tangenten besser geeignet ist, als die Extremalstelle einfach aus einem Array herauszusuchen.

Erstere Methode eignet sich vor allem dann, wenn die Auflösung der Datenpunkte um die Extrema herum zu gering ist, sodass die wahre Extremstelle zwischen zwei Punkten liegt. Außerdem lässt sich die Methode nur dann verwenden, wenn um den Extrempunkt herum lineare Fits überhaupt dem Verlauf der Datenpunkte entsprechen, was hier der Fall ist.

Grundsätzlich kann man sagen, dass der Fehler in x-Richtung eines Datenpunktes für das letztere erwähnte Verfahren auch dem Fehler der Extremalstelle entspricht, sodass dieser Fehler möglicherweise zu klein ist, da er zu wenig Unsicherheiten um den Extrempunkt herum, die sich aus der makroskopischen Streuung der Punkte ergeben; im Vergleich zum mikroskopischen Fehler eines einzelnen Datenpunktes. Genau für diese Fehlerabschätzung eignet sich das Verfahren der Tangentenschnittstelle ebenfalls und wurde hier angewendet.

Die aus den Messdaten bestimmte Anregungsenergie  $E_A = 17,63 \pm 0,18 \text{ eV}$  gibt Anregungen in Niveaus, die nach Abbildung 4.3 kein sichtbares Licht emittieren. Die dort angegebenen Wellenlängen geben mit  $\lambda_1 = 73,6 \text{ nm}$  und  $\lambda_2 = 74,3 \text{ nm}$  beide ein  $5\text{-}\sigma$ -Intervall für die aus der Energie berechnete Wellenlänge von  $\lambda = 70,3 \pm 0,8 \text{ nm}$ . Dies lässt auf andere Quellen von Ungenauigkeiten als nur das Spannungsmessgerät schließen. Zudem ist keine dieser Wellenlängen im sichtbaren Bereich. Für die Emission eines Photons im Bereich sichtbarer Wellenlängen in rot-oranger Farbe muss eine Anregung eines der  $S_1$ -Niveaus passiert sein. Dies kann erklärt werden durch einige Elektronen, die bei Erreichen der berechneten Anregungsenergie nicht sofort auf ein Neon-Atom treffen und so durch die Beschleunigungsspannung zusätzliche Energie erhalten, bevor sie schließlich mit einem Neon-Atom wechselwirken. Ist diese zusätzliche Energie ausreichend für eine Anregung des  $S_1$ -Niveaus, so wird das beim Experiment beobachtete Licht emittiert. Diese Erklärung deckt sich mit den Beobachtungen, da die Leuchterscheinungen immer erst deutlich nach Erreichen der Maxima des Auffängerstroms zu beobachten waren.

Es muss an dieser Stelle jedoch auch erwähnt werden, dass die Leuchterscheinungen nicht immer gut zu erkennen waren. Der Raum konnte nur bis zu einem gewissen Grad abgedunkelt werden, da die Spannungsmessgeräte keinen beleuchteten Bildschirm besitzen. Einige Gruppen verwendeten am Platz bereitgestellte Lampen, um die Messgeräte abzulesen, was während dieser Zeit das Erkennen von Veränderungen in den Leuchterscheinungen zusätzlich erschwert hat.

Abgesehen davon war es noch nicht weiter erschwert, die erste auftretende Linie zu erkennen, aber die Gitter in der Neonröhre haben das Erkennen jeder weiteren Linie

---

erschwert, da schon vorhandene Linien sich an diesem spiegeln und so unter einigen Blickwinkeln nicht zu erkennen ist, ob es sich um zwei Linien oder eine Linie und ihr Spiegelbild handelt.

Auch war das Ablesen der Werte am Spannungsmessgerät durch starke Schwankungen ungenau, weshalb hier zusätzlich noch ein Fehler von 2 mV beim Ablesen angenommen werden musste.

---

## 6 Anhang

	Ordnung des Maximums	linke Flanke	rechte Flanke
m in [1] b in V	1	$0,0096 \pm 0,0005$ $-0,058 \pm 0,006$	$-0,0274 \pm 0,0013$ $0,624 \pm 0,027$
m in [1] b in V	2	$0,0387 \pm 0,0006$ $-0,900 \pm 0,017$	$-0,0645 \pm 0,0010$ $2,52 \pm 0,04$
m in [1] b in V	3	$0,0657 \pm 0,0006$ $-2,689 \pm 0,027$	$-0,0919 \pm 0,0009$ $5,24 \pm 0,05$
m in [1] b in V	4	$0,1131 \pm 0,0006$ $-6,63 \pm 0,04$	$-0,1215 \pm 0,0008$ $9,38 \pm 0,06$
m in [1] b in V	5	$0,2166 \pm 0,0006$ $-16,51 \pm 0,05$	$-0,1742 \pm 0,0011$ $17,43 \pm 0,10$

**Tabelle 2:** Fitparameter der Tangenten, welche an die Flanken des Verlaufs ( $U_B, U_A$ ) gefittet wurden; geplottet in Abbildung 4.1

---

## 6.1 Formeln für Fehlerrechnung und lineare Regression

Mittelwert (Bestwert, für den die quadratischen Abweichungen minimal werden): wird verwendet, um verschiedene Werte für **dieselbe** gemessene Größe zu mitteln:

$$\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6.1.1)$$

Gewichteter Mittelwert: wird verwendet, um durch Mitteln der Ergebnisse mehrerer Messvorgänge, abhängig von unterschiedlichen Variablen, eine Größe zu bestimmen:

$$\bar{x} = \frac{\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (6.1.2)$$

Fehler des gewichteten Mittelwertes:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}}} \quad (6.1.3)$$

Gesamtfehler: der Gesamtfehler ist eine Möglichkeit, den statistischen und systematischen Fehler in der Formel zu verbinden und auf einen Fehler zu berechnen; der systematische Fehler ist ein Fehler, der sich beispielsweise durch eine falsche Messkalibrierung durch einen gesamten Versuch, auch bei Wiederholung desselben Experimentes, durchzieht. Der statistische Fehler ist ein zufälliger Fehler, der durch ungenaues Ablesen oder Zufälligkeiten im Versuchsaufbau entsteht:

$$\sigma_{ges} = \sqrt{\sigma_{sys}^2 + \sigma_{stat}^2} \quad (6.1.4)$$

Fehlerfortpflanzung: die zu berechnende Größe  $f$ , die von den zu bestimmenden Größen  $A$  und  $B$  abhängt, kann um weitere Variablen  $C$ ,  $D$ ,  $E$  usw. ergänzt werden, wenn sich die Formel so gestaltet; die Fehler für weitere Variablen werden nach derselben Logik unter der Wurzel hinzugefügt; wurde sie verwendet, wurden die jeweiligen Größen und Ableitungen in die Formel eingesetzt:

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\sigma_A \cdot \frac{\partial f}{\partial A}\right)^2 + \left(\sigma_B \cdot \frac{\partial f}{\partial B}\right)^2} \quad (6.1.5)$$

---

Lineare Regression: die Steigung  $m$  und der Achsenabschnitt  $b$  des linearen Fits werden – wenn benutzt – durch ein Skript in Python berechnet:

$$m = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6.1.6)$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6.1.7)$$

Fehler für die Fitwerte der linearen Regression:

$$\sigma_m^2 = \frac{n \sum (y_i - b - mx_i)^2}{(n - 2)(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)} \quad (6.1.8)$$

$$\sigma_b^2 = \frac{\sum x_i^2 \sum (y_i - b - mx_i)^2}{(n - 2)(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)} \quad (6.1.9)$$

---

## Literatur

- [1] [https://www.physikalische-schulexperimente.de/physo/Franck-Hertz-Versuch\\_mit\\_Hg\\_\(Quecksilber\)](https://www.physikalische-schulexperimente.de/physo/Franck-Hertz-Versuch_mit_Hg_(Quecksilber)), last access: 05.05.24.
- [2] [https://physik.osz-biv.de/LK13\\_2010/fh\\_versuch.php](https://physik.osz-biv.de/LK13_2010/fh_versuch.php), last access: 08.05.24.
- [3] H. C. Wolf H. Haken. *Atom- und Quantenphysik*. Springer, 8. Auflage edition, 2004.
- [4] Große-Knetter J. Schaaf, P. *Das Physikalische Praktikum, Handbuch 2022/2023 für Studentinnen und Studenten der Physik, Band I*. Universitätsverlag Göttingen, 2022.
- [5] Große-Knetter J. Schaaf, P. *Das Physikalische Praktikum, Handbuch 2023/2024 für Studentinnen und Studenten der Physik, Band II*. Universitätsverlag Göttingen, 2023.

---

## Abbildungsverzeichnis

2.1	Bohrsches Modell einer Wasserstoff-Atoms mit den ersten fünf Energie-Niveaus und Übergängen zwischen diesen, [3, S. 107] . . . . .	4
2.2	Leuchten im Quecksilberdampf durch die Anregung des ersten Energie-Niveaus des Quecksilbers durch Elektronen, aus [1] . . . . .	5
3.1	Schaltplan des Versuchsaufbaus; orange hinterlegt ist die Neon-Röhre; zu beachten ist, dass die senkrechten parallelen Striche hier die Spannungen angeben sollen, die zwischen den Bauteilen besteht, obwohl das Zeichen eigentlich für „Batterie“ steht; Grafik aus [5, S. 71] . . . . .	6
4.1	Tangentenfits nach Tabelle 2 an den Flanken von der Auffängerspannung $U_A$ , welche aus dem Auffängerstrom $I_A$ resultiert, aufgetragen gegen die eingestellte Beschleunigungsspannung; die Fehlerbalken sind eingezeichnet, aber sehr klein . . . . .	9
4.2	Die aus Abbildung 4.1 bestimmten Werte von $U_H$ aufgetragen gegen die Nummer des entsprechenden Maximums, mit linearem Fit durch Python mit den Fit-Parametern für $f(x) = m \cdot x + b$ , $m = 17,63 \pm 0,18$ und $b = -1,9 \pm 0,7$ . . . . .	10
4.3	Termschema von Neon, nach [2] . . . . .	11

---

## Tabellenverzeichnis

1	Schnittstellen in der Beschleunigungsspannung $U_B$ der Tangentenfits aus Tabelle 2 zur Bestimmung der Anregungsenergie von Neon . . . . .	9
2	Fitparameter der Tangenten, welche an die Flanken des Verlaufs $(U_B, U_A)$ gefittet wurden; geplottet in Abbildung 4.1 . . . . .	14