



# Ausarbeitung zum "Franck-Hertz-Versuch"

Anfängerpraktikum Teil 3  
Technische Universität München

Clara Donat, Matthias Quintern  
Kurs Block A, Gruppe 5, Team 9

09. März 2021

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Bohrsches Atommodell . . . . .	2
2.2	Versuchsprinzip . . . . .	2
2.3	Anregung von Quecksilber . . . . .	3
2.4	Anregung von Neon . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Experimentelles Vorgehen</b>	<b>4</b>
3.1	Versuchsaufbau . . . . .	4
3.2	Versuchsdurchführung . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>5</b>
4.1	Quecksilber . . . . .	6
4.2	Neon . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Fragen</b>	<b>8</b>
5.1	Elastischer und inelastischer Stoß . . . . .	8
5.2	Elastischer Stoß bei kleinen Energien . . . . .	8
5.3	Kleiner Energieübertrag . . . . .	8
5.4	Energieabgabe des Atoms . . . . .	8
5.5	Arten der Atomanregung . . . . .	8
5.6	Bremsspannung . . . . .	8
5.7	Franck-Hertz-Röhre und Leuchtstofflampe . . . . .	9
5.8	Unterschied zur Röntgenröhre . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Behandlung von Messunsicherheiten</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>10</b>

# 1 Einleitung

Der Franck-Hertz-Versuch zählt zu den grundlegenden Experimenten in der Atomphysik [4]. Mit ihm lässt sich nachweisen, dass die Elektronen in den Atomhüllen nur diskrete Energien besitzen können. In diesem Praktikumsteil wird der Franck-Hertz-Versuch mit Quecksilber und Neon durchgeführt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Bohrsches Atommodell

Eine Grundannahme des Bohrschen Atommodells ist, dass sich Elektronen im Atom ausschließlich auf Bahnen bewegen dürfen, für deren Bahndrehimpuls  $L$  gilt:

$$L = m \cdot v \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi}. \quad (1)$$

Dabei bezeichnet  $m$  die Masse,  $v$  die Bahngeschwindigkeit,  $r$  den Bahnradius,  $n$  einen ganzzahligen Vorfaktor und  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum.

Wechselt ein Elektron von einer Bahn mit zugehöriger Energie  $E_2$  zum Energiezustand  $E_1$ , wird eine Spektrallinie mit Frequenz  $f$  gemäß folgender Beziehung emittiert:

$$h \cdot f = E_2 - E_1. \quad (2)$$

Treffen Elektronen mit ausreichend hoher kinetischer Energie auf Atome, so können sie diese anregen. Dabei geht ein Elektron im Atom in ein höheres Energieniveau über und kann anschließend unter Lichtemission zu energetisch niedrigeren Zuständen zurückkehren. Dabei sind allerdings nur bestimmte Übergänge möglich.

### 2.2 Versuchsprinzip

Der Versuchsaufbau des Experiments ist in Abbildung 1a skizziert. Man betrachtet eine mit Gas gefüllte

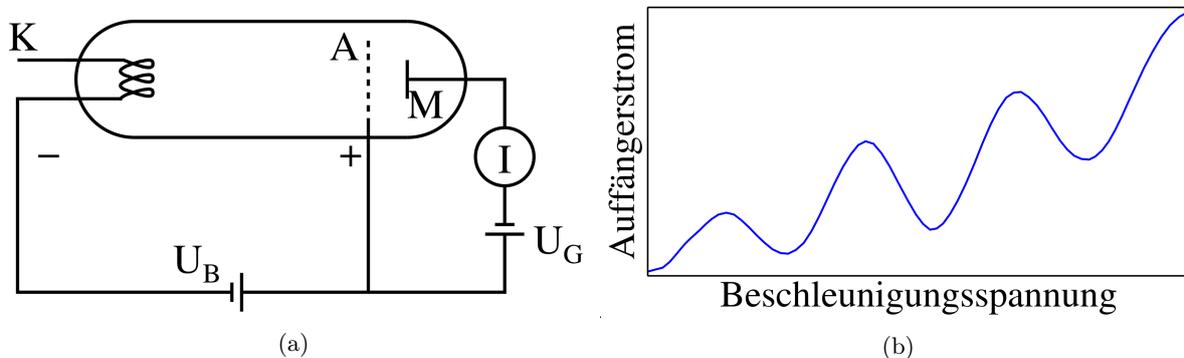


Abbildung 1: (a) schematischer Versuchsaufbau mit Glühkathode K, Anode A, Auffängerelektrode M, Auffängerstrom  $I$ , Beschleunigungsspannung  $U_B$  und Gegenspannung  $U_G$ , (b) Franck-Hertz Kurve mit  $I$  in Abhängigkeit von  $U_B$  (Grafiken kopiert aus [4])

Röhre, in der eine in Abbildung 1a mit  $K$  bezeichnete Glühkathode Elektronen emittiert. Diese werden durch eine angelegte Beschleunigungsspannung  $U_B$  in Richtung der Anode  $A$  beschleunigt. Zusätzlich legt man zwischen dem Anodengitter und der Auffängerelektrode  $M$  eine Gegenspannung  $U_G$  von ca. 0,5 V an.

Wenn die Elektronen genug Energie besitzen, um trotz der Gegenspannung zur Auffängerelektrode zu gelangen, kann ein Auffängerstrom  $I$  in Abhängigkeit von  $U_B$  gemessen werden.

Die Stromwerte erreichen dabei immer dann ein Minimum, wenn  $U_B$  so groß ist, dass die Energie  $e \cdot$

$U_B$  der Elektronen gerade ausreicht, um ein, zwei oder noch mehr Gasatome anzuregen. Während die Elektronen sonst nur elastische Stöße ausführen, liegt hier ein inelastischer Stoß vor, bei dem die Energie der Elektronen abnimmt. Daher erreichen sie die Auffängerelektrode nicht mehr und  $I$  nimmt in weiterer Folge stark ab. Abbildung 1b zeigt die so entstehende Strom-Spannungskennlinie.

### 2.3 Anregung von Quecksilber

Der niedrigste Anregungszustand für Valenzelektroden **con** Quecksilberatomen liegt bei 4,67 eV [4]. Setzt man diese in Gleichung 2 ein, erhält man:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}. \quad (3)$$

Umgestellt nach der Wellenlänge des Photons, das emittiert wird, ergibt sich  $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ . Diese Wellenlänge konnten Franck und Hertz tatsächlich experimentell nachweisen und so die Existenz der diskreten Energieniveaus im Bohrschen Atommodell bestätigen [4]. In Abbildung 2 ist diese Wellenlänge zusammen mit den anderen möglichen Wellenlängen bei verschiedenen Energieniveaus zu sehen.

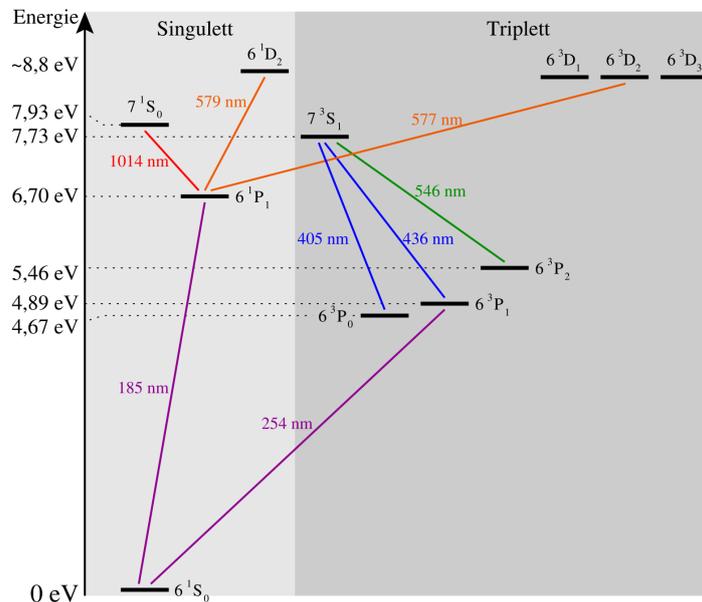


Abbildung 2: Anregungsschema von Quecksilber (Grafik aus [4])

### 2.4 Anregung von Neon

Im Gegensatz zu Quecksilber kehren angeregte Elektronen im Neonatom nicht direkt unter Emission von Photonen zu ihrem ursprünglichen Zustand zurück. Durch einen Elektronenstoß werden sie auf ein Energieniveau bevorzugt im Bereich von 18,3 eV bis 18,9 eV [4] angehoben. Anschließend geben die Elektronen spontan ca. 2 eV ihrer Energie ab und gehen zu Energiezuständen zwischen 16,57 eV und 16,79 eV über, welche auch in Abbildung 3 eingezeichnet sind. Die Photonen, die bei diesem Vorgang ausgesendet werden, haben Wellenlängen im sichtbaren Bereich von ungefähr 585 nm-703 nm (gelbes bis rotes Licht).

Zwischen Kathode und Anode beschleunigte Elektronen im Franck-Hertz-Versuch benötigen eine Energie von ca. 19 V, um kurz vor der Anode Neonatome anzuregen. Wird diese erreicht, fällt der Auffängerstrom  $I$  wie bei der Experiment-Variante mit Quecksilber ab und man kann das schwache Leuchten der emittierten Lichtquanten beobachten. Erhöht man die Beschleunigungsspannung weiter auf ca. 38 eV, erreichen die Elektronen schon auf halber Strecke zwischen Kathode und Anode die nötige Energie für

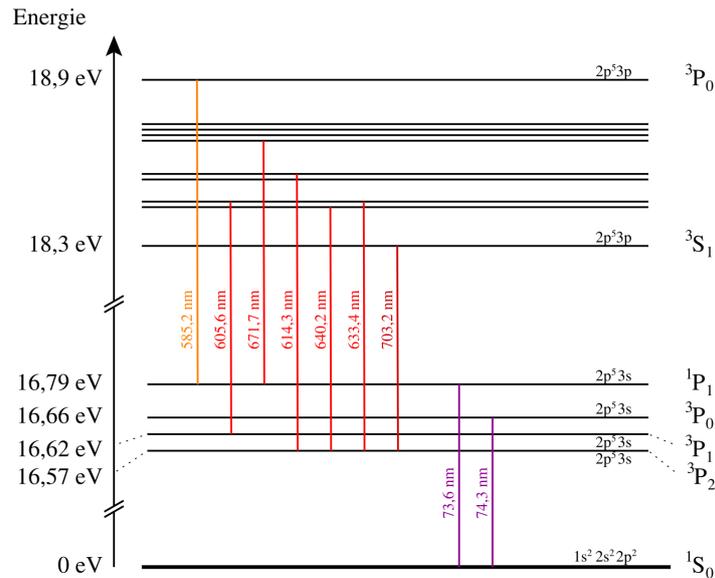


Abbildung 3: Anregungsschema von Neon (Grafik aus [4])

einen inelastischen Stoß mit Neonatomen. Danach werden sie von  $U_B$  wieder beschleunigt und können kurz vor der Anode ein weiteres Mal Atome anregen. Die zwei leuchtenden Schichten, die nun zu sehen sind, wandern bei weiterer Erhöhung von  $U_B$  immer weiter Richtung Kathode und in Abständen von etwa 19 eV kommen weitere Leuchtschichten hinzu.

### 3 Experimentelles Vorgehen

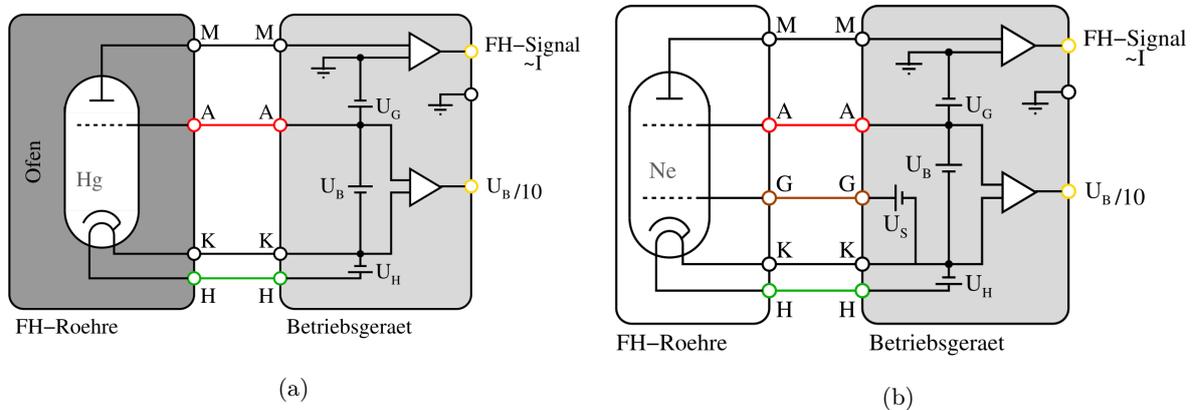


Abbildung 4: Versuchsaufbau mit Quecksilber (a) und Neon (b). Dargestellt sind die Kathode K, die Anode A, die Auffängerelektrode M, das Steuergitter G (b), die Gegenspannung  $U_G$ , die Beschleunigungsspannung  $U_B$ , die Steuerspannung  $U_S$  sowie die Heizspannung  $U_H$  (Grafiken aus [4])

#### 3.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Franck-Hertz-Röhre, deren Aufbau im Teil 2.2 beschrieben wurde. Durch Verstellen der Heizspannung  $U_H$  in der Glühkathode lässt sich die Anzahl der emittierten Elektro-

nen regeln. Die Stärke der Beschleunigungsspannung  $U_B$  bestimmt, wie stark die Elektronen beschleunigt werden. Durch die zwischen Anode und Auffängerelektrode angelegte Gegenspannung  $U_G$  werden sie dann abgebremst.

Die Röhre wird an ein Steuergerät angeschlossen, an dem sich die Spannungen regeln lassen. Am  $U_B/10$ -Ausgang des Steuergerätes liegt ein Zehntel der eingestellten Beschleunigungsspannung an, sodass diese zwischen dem Ausgang und der Masse gemessen kann. Dazu wird das Digitalmultimeter „Voltcraft VC-130“ benutzt.

Das Gerät wandelt zudem die Stromstärke der auf der Auffängerelektrode  $M$  auftreffenden Elektronen in Spannung um, so dass der Strom qualitativ auf einem Oszilloskop und einem analogen Spannungsmessgerät dargestellt werden kann. Das Oszilloskop befindet sich im X-Y Betrieb mit der Beschleunigungsspannung auf der X-Achse und dem in Spannung umgewandelten Strom  $I$  auf der Y-Achse.

Der Versuch wird für Quecksilber (Hg) und Neon (Ne) durchgeführt. Beim Versuch mit Quecksilber (siehe Abbildung 4a) befindet sich die Röhre in einem Ofen, der auf  $180^\circ\text{C}$ - $200^\circ\text{C}$  eingestellt wird, um einen Quecksilberdampfdruck von 1-2 kPa zu erzeugen. Die Beschleunigungsspannung  $U_B$  sollte 45 V nicht übersteigen, da es sonst zur Ionisation kommt.

Bei Neon darf die Beschleunigungsspannung bis ca. 80 V eingestellt werden. Um die Auflösung des Experiments zu verbessern, benötigt man ein zusätzliches Steuergitter, welches sich nah an der Kathode befindet. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4b dargestellt.

### 3.2 Versuchsdurchführung

Beim ersten Teil des Versuchs soll die charakteristische  $U$ - $I$  Kennlinie (Abbildung 1b) auf dem Oszilloskop dargestellt werden, um sicher zu gehen, dass alle Versuchsparameter richtig eingestellt sind. Dazu wird die Beschleunigungsspannung am Steuergerät in den *ramp*-Modus gesetzt. Bei diesem wird  $U_B$  von 0 bis zur eingestellten Maximalspannung während  $1/100$  s annähernd linear durchlaufen, wobei die Wiederholfrequenz 50 Hz beträgt. Der Oszilloskopchannel, an dem  $U_B$  anliegt, muss dann im AC-Modus sein. Sind alle Parameter passend eingestellt, sollte man eine Kurve wie in Abbildung 1b sehen. Beim Quecksilber sollten dabei mindestens vier und bei Neon mindestens drei Maxima sichtbar sein.

Beim zweiten Versuchsteil wird die Beschleunigungsspannung auf *manuell* und der entsprechende Oszilloskopchannel auf DC-Betrieb gestellt. Nun fährt man  $U_B$  langsam hoch und sucht dabei mit dem Oszilloskop und dem analogen Spannungsmessgerät, welche qualitativ den Anodenstrom darstellen, nach den Minima und Maxima. An den Extrema wird jeweils die Beschleunigungsspannung am Digitalmultimeter abgelesen.

Bei dem Versuch mit Neon sollen noch mit einem Taschenspektroskop, welches zuvor an einer Natriumdampfampe justiert wird, die Wellenlängen der in Teil 2.4 beschriebenen Leuchtschichten gemessen werden.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Da am Multimeter nur ein Zehntel von  $U_B$  angezeigt wurde, multipliziert man die gemessenen Beschleunigungsspannungswerte mit dem Faktor 10. Auf die Berechnung der Unsicherheiten von  $U_B$  wird in Teil 6 näher eingegangen.

Die Abstände aufeinanderfolgender Maxima bzw. Minima  $\Delta U_{B,max|min}$  von  $I$  erhält man nun, indem man deren Beschleunigungsspannungen subtrahiert. Anschließend bildet man noch jeweils den gewichteten Mittelwert für die Differenzen der Maxima bzw. Minima. Die Ergebnisse hierfür sind in Tabelle 1 aufgetragen.

Die zu den so erhaltenen Spannungswerten gehörenden Wellenlängen  $\lambda$  kann man durch Umstellen von Gleichung 3 berechnen, wobei:

$$E = e \cdot U_B \quad (4)$$

und  $h = 4,136 \cdot 10^{-15}$  eVs [4] sowie  $c = 2,9979 \cdot 10^8$  m/s [4] eingesetzt wird.

	$\Delta U_{B,Hg,max}$ [V]	$\Delta U_{B,Hg,min}$ [V]	$\Delta U_{B,Ne,max}$ [V]	$\Delta U_{B,Ne,min}$ [V]
Extremum 2 - 1	$4,6 \pm 1,0$	$5,2 \pm 1,0$	$18,6 \pm 1,6$	$21,3 \pm 1,6$
Extremum 3 - 2	$4,8 \pm 1,0$	$5,2 \pm 1,0$	$20,0 \pm 1,6$	$20,9 \pm 1,6$
Extremum 4 - 3	$5,2 \pm 1,0$	$4,9 \pm 1,0$	–	–
Extremum 5 - 4	$4,7 \pm 1,0$	$5,2 \pm 1,0$	–	–
Extremum 6 - 5	$4,9 \pm 1,0$	$5,0 \pm 1,0$	–	–
gew. Mittelwert	$4,8 \pm 0,4$	$5,1 \pm 0,4$	$19,3 \pm 1,1$	$21,1 \pm 1,1$

Tabelle 1: Spannungsdifferenzen für Maxima und Minima

## 4.1 Quecksilber

Die optimale Kennlinie beim Versuchsteil 1 wurde mit den Spannungen  $U_{G,Hg} = (1,3 \pm 0,4)V$  und  $U_{H,Hg} = (7,25 \pm 0,05)V$  erreicht. Die so entstandene Franck-Hertz-Kurve ist in Abbildung 5 zu sehen.

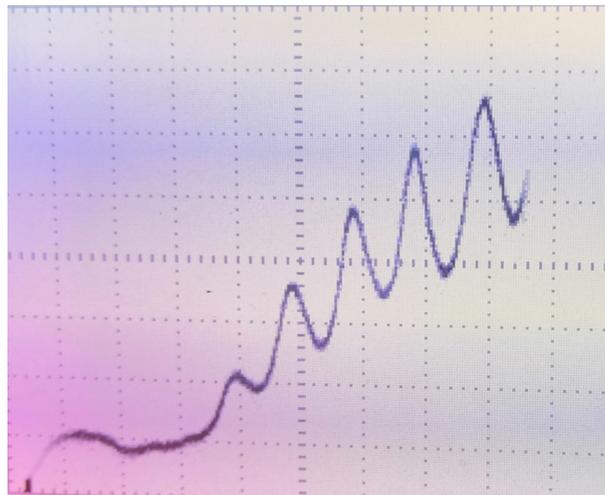


Abbildung 5: Foto der Franck-Hertz-Kurve bei Quecksilber

Die in Tabelle 1 aufgelisteten gewichteten Mittelwerte für die Spannungsdifferenz der Extrema bei Quecksilber stimmen innerhalb ihrer Unsicherheiten überein. Bildet man aus ihnen den gewichteten Mittelwert, erhält man  $\Delta U_{Hg} = (5,0 \pm 0,3)V$ , was einer Energie von  $E_{Hg} = (5,0 \pm 0,3)eV$  entspricht. Diese stimmt innerhalb der Unsicherheit mit dem erwarteten Wert von  $E = 4,9eV$  überein, also der Energie des niedrigsten angeregten Zustandes von Quecksilber.

Mit  $E_{Hg}$  berechnet sich die zugehörige Wellenlänge zu  $\lambda_{Hg} = (249 \pm 61)nm$ . Dies liegt auch sehr nah am Literaturwert von  $\lambda_{Hg,Lit} = 253,7nm$  [4]. Diese Wellenlänge liegt im ultravioletten Bereich und ist mit dem Auge nicht sichtbar. Um sie bei einem Versuch nachzuweisen, benötigt man demnach weitere technische Hilfsmittel wie beispielsweise ein UV-Spektrometer.

## 4.2 Neon

In diesem Versuchsteil wurden als Gegenspannung  $U_{G,Ne} = (2,77 \pm 0,05)V$ , als Heizspannung  $U_{H,Ne} = (6,93 \pm 0,05)V$  und als Steuerspannung  $U_{S,Ne} = (6,79 \pm 0,05)V$  eingestellt. Für die Strom-Spannungskennlinie ergibt sich ein Verlauf wie in Abbildung 6.

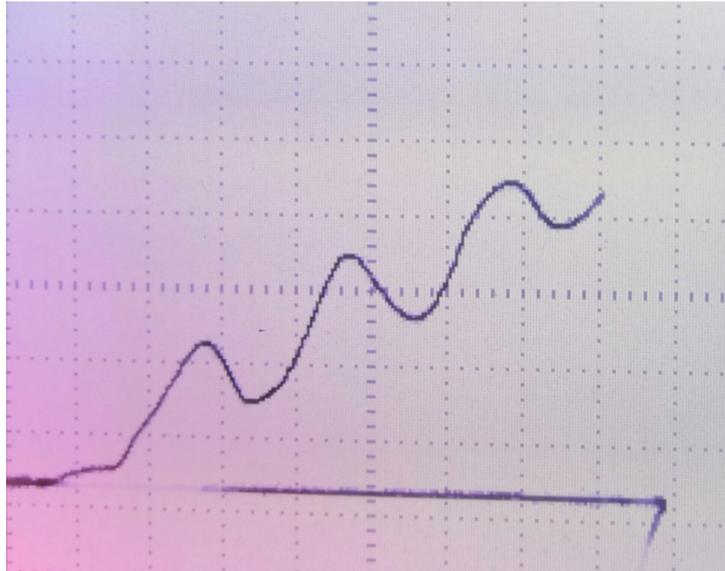


Abbildung 6: Foto der Franck-Hertz-Kurve bei Neon

Wie bei Quecksilber stimmen auch hier die beiden Spannungsdifferenzen für Minima und Maxima innerhalb der Unsicherheit überein (vgl. Tabelle 1). Für den gewichteten Mittelwert erhält man  $U_{\text{Ne}} = (20,2 \pm 0,8) \text{V}$ , bzw.  $E_{\text{Ne}} = (20,2 \pm 0,8) \text{eV}$ .

Wie in Teil 2.4 beschrieben, liegt der erwartete Wert für die Anregungsenergie bei  $E_{\text{Ne,Lit 1}} = 18,3 \text{eV}$  oder  $E_{\text{Ne,Lit 2}} = 18,9 \text{eV}$ . Der experimentell ermittelte Wert stimmt innerhalb der Unsicherheit allerdings mit keinem der beiden Literaturwerte überein. Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die Anzahl der messbaren Extrema für eine so genaue Messung nicht ausreichend ist. Betrachtet man die Werte für Minima und Maxima einzeln, stellt man fest, dass nur der Mittelwert für  $\Delta U_{\text{B,Ne,min}}$  von den Literaturwerten abweicht, der für  $\Delta U_{\text{B,Ne,max}}$  innerhalb der Unsicherheit mit beiden Werten übereinstimmt.

Für die Wellenlänge erhält man  $\lambda_{\text{Ne}} = (61,40 \pm 1,53 \text{nm})$ . Diese Wellenlänge wird bei diesem Versuch in Realität nicht auftreten, da sich Neon bei Anregung, wie bereits in Teil 2.4 beschrieben, anders verhält. Um den Wert dennoch überprüfen zu können, wird die theoretisch erwartete Wellenlänge, die beim direkten Übergang des angeregten Zustandes in den Grundzustand auftreten würde, mit dem Literaturwert  $E_{\text{Ne,Lit 1}}$  berechnet.

Man erhält  $\lambda_{\text{Ne,Lit}} = 65,6 \text{nm}$ . Wie auch bei der Anregungsenergie stellt man auch hier eine relativ große Abweichung fest.

Betrachtet man wieder Minima und Maxima getrennt, erhält man die Wellenlängen  $\lambda_{\text{Ne,max}} = (64,9 \pm 3,7) \text{nm}$  und  $\lambda_{\text{Ne,min}} = (58,8 \pm 3,1) \text{nm}$ . Die mit den Maxima berechnete Wellenlänge stimmt dann mit dem Literaturwert innerhalb der Unsicherheit überein. Der mit dem Minimum ermittelte Wert weicht jedoch stark ab. Dies legt nahe, dass bei der Messung der Minima Fehler gemacht wurden. Jedoch scheinen die Unsicherheiten passend zu sein, da bei sämtlichen gewichteten Mittelwertbildungen die interne Unsicherheit größer war als die externe.

Für ein aussagekräftigeres Ergebnis müsste man entweder mehr Extrema erhalten oder den Versuch mehrfach durchführen. Ersteres ist bei diesem Aufbau nicht möglich, da die Neonatome bei höheren  $U_B$  ionisiert würden.

Die in Teil 2.4 beschriebenen Leuchtschichten ließen sich im Versuch tatsächlich beobachten. Mit dem Taschenspektrometer konnten drei Spektrallinien mit den Wellenlängen  $\lambda_1 = (590 \pm 10) \text{nm}$ ,  $\lambda_2 = (635 \pm 30) \text{nm}$  und  $\lambda_3 = (680 \pm 30) \text{nm}$  ausgemacht werden.

Die Messung der Wellenlängen war aufgrund der schlechten Lichtverhältnisse schwer möglich und die Wellenlängen konnten nur kurz beobachtet werden. Die angegebenen Unsicherheiten sind Schätzungen. Die gelbe Spektrallinie bei  $\lambda_1$  war am besten zu erkennen und hat daher eine niedrige Unsicherheit. Die Wellenlängen liegen teils sehr nah an den in Abbildung 3 eingezeichneten Werten. Für  $\lambda_1$  findet sich

$\lambda_{1,\text{Lit}} = 585,2 \text{ nm}$ , für  $\lambda_2$  kommen  $\lambda_{2,1 \text{ Lit}} = 633,4 \text{ nm}$  und  $\lambda_{2,2 \text{ Lit}} = 640,2 \text{ nm}$  in Frage.  $\lambda_3$  liegt nahe bei  $\lambda_{3,1 \text{ Lit}} = 671,7 \text{ nm}$  sowie  $\lambda_{3,\text{Lit}} = 703,2 \text{ nm}$ .

## 5 Fragen

### 5.1 Elastischer und inelastischer Stoß

Beim elastischen Stoß ist die Summe der kinetischen Energien der beteiligten Körper vor und nach dem Stoß gleich. Im Gegensatz dazu wird beim inelastischen Stoß ein Teil der kinetischen Energie in Wärme umgewandelt.  $E_{kin}$  hat also nach dem Stoßprozess einen kleineren Wert als davor. Im Extremfall des vollkommen inelastischen Stoßes bewegen sich beide Körper nach dem Stoß gemeinsam mit derselben (verringerten) Geschwindigkeit fort [1].

Der Gesamtimpuls bleibt bei beiden Stoßprozessen erhalten, da die Bewegung des gemeinsamen Schwerpunkts der Körper durch den Stoß nicht beeinflusst wird [2].

### 5.2 Elastischer Stoß bei kleinen Energien

Die minimale Anregungsenergie für Quecksilber-Atome beträgt  $4,9 \text{ eV}$ . Elektronen, die eine niedrigere Energie haben, können diese Atome daher nicht anregen und verringern beim Stoß mit ihnen ihre kinetische Energie nicht. Dies entspricht genau der Definition eines elastischen Stoßes.

### 5.3 Kleiner Energieübertrag

Die Masse eines Elektrons ist sehr klein im Vergleich zu der eines Atoms, das auch schwerere Teilchen wie Protonen und Neutronen enthält. Bei einem elastischen Stoß zwischen einem Atom und einem Elektron ändert sich die kinetische Energie des Atoms also kaum, es wird somit nur wenig Energie übertragen.

### 5.4 Energieabgabe des Atoms

Wird ein Atom durch einen inelastischen Stoß mit einem Elektron oder einem anderen Atom angeregt, wechselt eines seiner Elektronen vom Grundzustand auf ein höheres Energieniveau. Bei der Rückkehr des Elektrons in seinen ursprünglichen Zustand wird ein Photon mit der Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} \quad (5)$$

emittiert, wobei  $\Delta E$  die Energiedifferenz zwischen den beiden Energieniveaus des Elektrons ist.

### 5.5 Arten der Atomanregung

Ein Elektron kann ein Atom immer dann anregen, wenn seine kinetische Energie mindestens der niedrigsten Anregungsenergie entspricht. Sollte das Elektron mehr Energie als notwendig haben, bewegt es sich danach mit verringerter Geschwindigkeit fort.

Bei der Atomanregung durch ein Photon ist dies anders; dessen Energie muss nämlich genau einer der Anregungsenergien des Atoms entsprechen. Das Photon wird bei dem Anregungsprozess vollständig absorbiert. Durch diesen Sachverhalt lassen sich beispielsweise Absorptionsspektren erklären.

### 5.6 Bremsspannung

Die Bremsspannung wird angelegt, damit nur diejenigen Elektronen zum Auffängerstrom  $I$  beitragen, deren kinetische Energie ausreicht, um  $U_G$  zu überwinden. Würde man diese Spannung weglassen, könnten alle Elektronen unabhängig davon, ob sie ein Atom angeregt haben, zur Auffängerelektrode gelangen. Man könnte also keine ausgeprägten Maxima und Minima beim Strom  $I(U_B)$  erkennen.

## 5.7 Franck-Hertz-Röhre und Leuchtstofflampe

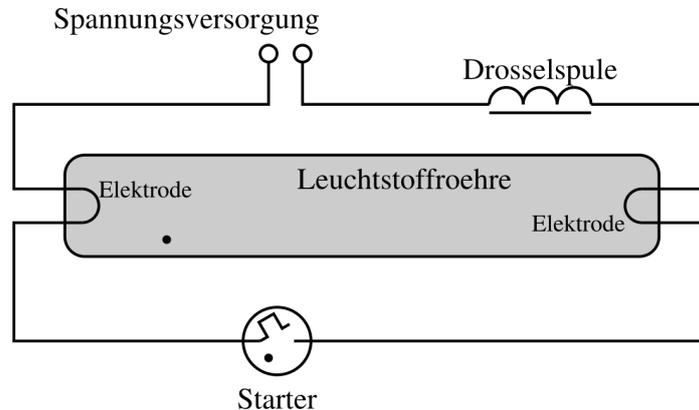


Abbildung 7: Aufbau einer Leuchtstoffröhre (Grafik kopiert aus [4])

Abbildung 7 zeigt den Aufbau einer Leuchtstoffröhre. Diese besteht wie beim Franck-Hertz-Versuch aus einer Röhre mit einer Anode und einer Kathode und nutzt ebenfalls die Anregung von Quecksilberatomen. Die Schaltung unterscheidet sich vor allem durch die Drosselspule und den Starter.

Beim Einschalten der Leuchtstoffröhre erhitzt sich ein Glühdraht (zur Erzeugung freier Elektronen). Dadurch schließt sich der Starter und Strom fließt am Glühdraht vorbei durch die Elektroden, die sich daraufhin erwärmen. Durch das Abkühlen des Glühdrahtes unterbricht der Starter wieder den äußeren Stromkreis. Die entstehende Spannungsspitze sorgt für eine ausreichende Beschleunigung der Elektronen, um einen Stromfluss in der Lampe herzustellen [3].

Beim Versuch wurde festgestellt, dass die Wellenlänge, die Quecksilber bei Anregung aussendet, im ultravioletten Bereich liegt. Die Außenwand der Röhre ist daher mit einem Leuchtstoff beschichtet, welcher UV-Licht in sichtbares Licht umwandelt [3]. Daher kommt auch der Name der Leuchtstoffröhre.

## 5.8 Unterschied zur Röntgenröhre

Ähnlich wie bei der Elektronenröhre werden auch bei der Röntgenröhre Elektronen zu einer Anode beschleunigt [6]. Bei einer Röntgenröhre möchte man jedoch hochenergetische Photonen erzeugen, daher sollten diese nicht auf dem Weg zur Anode schon Energie durch die Anregung von Gas verlieren. Sie werden mit mehreren Kilovolt beschleunigt und treffen dann ungebremst auf die Anode. Dadurch entstehen dann Gamma-Quanten mit deutlich niedrigeren Wellenlängen als im Franck-Hertz Versuch.

## 6 Behandlung von Messunsicherheiten

Alle quantitativ gemessene Werte des Versuchs (abgesehen von den Wellenlängen der Neon-Leuchtschichten) sind Spannungen und wurden mit dem Digitalmultimeter gemessen. Das Multimeter war dabei immer auf der „20 V“ Einstellung. Laut dem Datenblatt des Multimeters [7] hat dieses bei der „20 V“ Einstellung eine Genauigkeit von  $\pm(0,5\% + 8)$  bei einer Auflösung von 0,01 V. Mithilfe einer Rechteckverteilung erhält man dann den Messfehler der Spannung  $U$  zu [5]

$$u_1(U) = \sqrt{\left(\frac{0,5\% \cdot U}{\sqrt{3}}\right)^2 + (8^2 + 1) \cdot \left(\frac{0,01 \text{ V}}{\sqrt{3}}\right)^2}. \quad (6)$$

Für die Beschleunigungsspannung  $U_B$  wurde zusätzlich eine Bestimmungsunsicherheit  $u_2(U_B)$  abgeschätzt. Dafür wurde überprüft, wie weit man die Spannung an einem Maximum verändern kann, ohne einen merkbaren Unterschied bei der Stromstärke zu sehen. Dabei wurde  $u_{2, \text{Hg}}(U_B) = 0,05 \text{ V}$  und

$u_{2, \text{Ne}}(U_B) = 0.10 \text{ V}$  gefunden. Die Gesamtunsicherheit von  $U_B$  lässt sich dann berechnen mit:

$$u(U_B) = \sqrt{u_1(U_B)^2 + u_2(U_B)^2}. \quad (7)$$

Da aus der (auf zwei signifikante Stellen gerundeten) Gesamtunsicherheit nicht mehr erkennbar ist, ob die Fehlerrechnung tatsächlich durchgeführt worden ist, sind die Fehler  $u_1(U_B)$  zusätzlich in Tabelle 2 aufgetragen.

	$u_{1, \text{Hg}}(U_{\text{B,Hg}}/10)$	$U_{\text{B,Hg}}/10$	$u_{2, \text{Ne}}(U_{\text{B,Ne}})$	$U_{\text{B,Ne}}/10$
Maximum 1	0,0467	$1,22 \pm 0,068$	0,0469	$20,40 \pm 0,11$
Minimum 1	0,0467	$1,350 \pm 0,068$	0,0472	$27,20 \pm 0,11$
Maximum 2	0,0468	$1,680 \pm 0,070$	0,0479	$39,00 \pm 0,11$
Minimum 2	0,0469	$1,870 \pm 0,069$	0,04865	$48,50 \pm 0,11$
Maximum 3	0,0467	$2,160 \pm 0,069$	0,0496	$59,00 \pm 0,11$
Minimum 3	0,0471	$2,390 \pm 0,069$	0,051	$69,40 \pm 0,11$
Maximum 4	0,0472	$2,680 \pm 0,069$	–	–
Minimum 4	0,0479	$2,880 \pm 0,069$	–	–
Maximum 5	0,0474	$3,150 \pm 0,069$	–	–
Minimum 5	0,0476	$3,400 \pm 0,069$	–	–
Maximum 6	0,0477	$3,640 \pm 0,069$	–	–
Minimum 6	0,0479	$3,900 \pm 0,069$	–	–

Tabelle 2: Beschleunigungsspannungen  $U_B/10$  mit Messunsicherheit des Multimeters

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] *Elastischer und unelastischer Stoß*. lernort MINT. URL: <https://www.lernort-mint.de/physik/mechanik/anwendungen/elastischer-und-unelastischer-stoss/>.
- [2] *Elastischer und (vollkommen) unelastischer Stoß (Simulation)*. LEIFiphysik. URL: <https://www.leifiphysik.de/mechanik/impulserhaltung-und-stoesse/versuche/elastischer-und-vollkommen-unelastischer-stoss-simulation>.
- [3] *Funktionsprinzip von Leuchtstofflampen*. URL: <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/stromwirkungen/ausblick/funktionsprinzip-von-leuchtstofflampen>.
- [4] Fakultät für Physik. *Franck-Hertz-Versuch*. Technische Universität München. 18. Jan. 2019. URL: <https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/ap3/FHV.pdf>.
- [5] Fakultät für Physik. *Hinweise zur Beurteilung von Messungen, Messergebnissen und Messunsicherheiten (ABW)*. Technische Universität München. 4. Juni 2020. URL: <https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/org/ABW.pdf>.
- [6] Fakultät für Physik. *Röntgenstrahlung (RÖN)*. Technische Universität München. 9. März 2016. URL: <https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/ap3/XST.pdf>.
- [7] *VC130-1 Digital Multimeter*. 2014. URL: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/en/001090519DS01/datasheet-1090519-voltcraft-vc130-1-handheld-multimeter-digital-cat-iii-250-v-display-counts-2000.pdf>.