

# VERSUCHSBERICHT ZU

## A2 - FRANCK-HERTZ-VERSUCH

Gruppe 14Mo

Alexander Neuwirth (E-Mail: a\_neuw01@wwu.de)  
Leonhard Segger (E-Mail: l\_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 30.04.2018  
betreut von  
Fabian Schöttke

6. Mai 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>4</b>
3.1	Beobachtung . . . . .	4
3.2	Datenanalyse . . . . .	5
3.2.1	Unsicherheiten . . . . .	5
3.2.2	Quecksilber-Charakteristik . . . . .	6
3.2.3	Neon-Charakteristik . . . . .	6
3.2.4	Bestimmen von Anregungsenergie, Wellenlänge und Frequenz der Strahlung . . . . .	7
3.2.5	Berechnen der mittleren freien Weglänge der Elektronen . . . . .	8
3.3	Diskussion . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>9</b>

# 1 Kurzfassung

Der Franck-Hertz-Versuch erlaubt es die gequantelten Energieniveaus in Atomen nachzuweisen, da sich bei passender mittlerer freier Weglänge zwischen den Atomen eine charakteristische  $I_A/U_B$ -Kurve messen lässt. Diese ist nur erklärbar, wenn die Übergänge der Elektronen zwischen den Energieniveaus diskrete Energiedifferenzen bedeuten.

Dementsprechend erwarteten wir bei einer Neonröhre und bei aufgeheizter Quecksilberdampföhre die Franck-Hertz-Kennlinie der Röhren mit mehreren Extremwerten. Die mittlere freie Weglänge, die sich aus den Extrema bestimmen lässt, sollte kleiner sein als der Abstand zwischen Kathode und Anode, was sich so zeigen ließ. Die Wellenlängen der erzeugten Strahlung erwarteten wir gemäß den wahrscheinlichen Übergängen in den Termschemata von Quecksilber und Neon. Tatsächlich haben wir aber im Fall von Neon einen der Übergänge, der nicht im Bereich des sichtbaren Lichts liegt, gemessen, aber in beiden Fällen bestätigen unsere Messwerte einen der Übergänge im jeweiligen Atom.

Bei kalter Quecksilberöhre wurde hingegen ein monotoner, plötzlicher Anstieg des Anodenstroms mit der Beschleunigungsspannung erwartet, da hier die mittlere freie Weglänge zu groß ist, um eine nennenswerte Anzahl von inelastischen Zusammenstößen zu ermöglichen und somit keine Minima auftreten. Dies konnte aufgrund eines Fehlers in der Messapparatur weder nachgewiesen noch widerlegt werden.

# 2 Methoden

Untersucht wurde eine Franck-Hertz-Röhre mit Quecksilberfüllung und eine mit Neonfüllung. Diese wurden, wie in Abb. 1 dargestellt, verschaltet. Die Quecksilberöhre befand sich in einem Ofen, der sie auf bis zu 300 °C aufheizen kann. Der Anodenstrom ist sehr klein, weshalb er vom Betriebsgerät in eine Spannung  $U_A$  umgewandelt wurde, die zum Anodenstrom proportional ist.

Zunächst wurde die  $I_A/U_B$ -Charakteristik der Röhre mit Quecksilberfüllung bei Raumtemperatur aufgenommen. Dazu wurde die Beschleunigungsspannung  $U_B$  langsam erhöht und diese sowie die Spannung  $U_A$  gemessen.

Im Anschluss wurde der Ofen auf ca. 180 °C erhitzt. Dann wurde das Betriebsgerät so eingestellt, dass es eine Dreiecksspannung mit einer Frequenz von 60 Hz als Beschleunigungsspannung ausgibt. Der resultierende Anodenstrom wurde zunächst mit einem Oszilloskop betrachtet und Bremsspannung  $U_B$  und Heizstrom  $I_H$  so eingestellt, dass sich mindestens drei Minima der Franck-Hertz-Kurve ablesen ließen. Dann wurde mithilfe manueller Regelung der Beschleunigungsspannung die  $I_A/U_B$ -Charakteristik wie zuvor aufgenommen und die Temperatur im Ofen gemessen.

Analog wurde die Neon-Röhre bei Raumtemperatur untersucht, wobei hier zusätzlich ein Steuergitter (mit Spannung  $U_S$ ) verwendet wurde, um störende Einflüsse durch Abstoßung der Elektronen untereinander zu verringern.

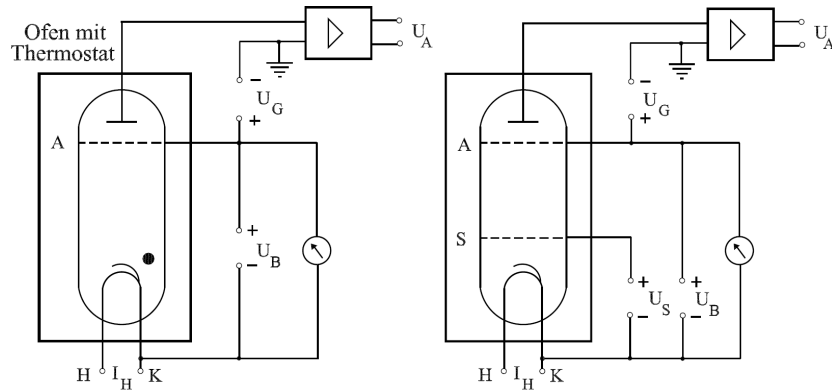


Abbildung 1: Schaltungen der Franck-Hertz-Röhren mit Quecksilber (links) und Neon (rechts).[4]

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Beobachtung

Die vom Operationsverstärker ausgehende niedrigste Gegenspannung beträgt 1,25 V. Zunächst wurde die Franck-Hertz-Röhre mit Quecksilber bei Raumtemperatur ( $(19,0 \pm 1,5)^\circ\text{C}$ ) untersucht. In Abb. 2 ist der gemessene  $I_A/U_B$ -Verlauf dargestellt.

Darauf wurde der Ofen der Quecksilberröhre eingeschaltet und mit einer Sägezahnspannung betrieben. Während des Heizvorgangs war am Oszilloskop die Bildung von Maxima und Minima, die der charakteristischen Franck-Hertz-Kurve ähnelten, sichtbar. Ein Erhöhen der Gegenspannung hatte eine geringere Messspannung, bzw. Stromstärke, zur Folge. Die durch manuelle Aufnahme einzelner Messpunkte bestimmte Quecksilbercharakteristik bei einer Temperatur von  $165^\circ\text{C}$  bis  $180^\circ\text{C}$  ist in Abb. 3 abgebildet. Erwärmt man die Röhre weiter über eine Temperatur von  $190^\circ\text{C}$  sieht man am Oszilloskop, dass die Maxima abfallen und verschwimmen. Zu keinem Zeitpunkt sahen wir emittiertes Licht in der Quecksilberröhre.

Die Neonröhre wurde ebenfalls bei Raumtemperatur betrieben und es entstand ein orange-rötlicher Lichtstreifen, der sich durch Variation der Beschleunigungsspannung verschieben ließ. Dem Steigern der Spannung folgte eine Annäherung des Lichts an die Kathode. Bei einer groß genug gewählten Spannung sahen wir nahe der Anode einen neuen zweiten Lichtstreifen. Um die Neon-Charakteristik aufnehmen zu können mussten Heiz- und Beschleunigungsspannung mit Hilfe des Oszilloskop angepasst werden. Die gemessene Charakteristik ist in Abb. 4 enthalten. Beim Messen dieser Frank-Hertz-Kurve waren kein Licht mehr in der Neonröhre sichtbar.

Auffällig ist, dass beide Charakteristiken bei einer Beschleunigungsspannung von ca. 0 V eine Stromstärke deutlich größer Null aufweisen. Die Auftretenden Maxima und Minima haben mit steigender Beschleunigungsspannung höhere Stromstärken. Im späteren Verlauf des Experiments stellte sich heraus, dass die Beschleunigungsspannung am Frank-Hertz-Generator ungleich der direkt an Anode und Kathode gemessenen Span-

nung ist. In Abb. 2 wurde  $U_B$  noch am Generator gemessen. Bei geringster Beschleunigungsspannung wurde eine Beschleunigungsspannung von ca. 23 V angezeigt. Wenn man diese Spannung jedoch an Anode und Kathode misst, ergibt sich ca.  $U_B = 0$  V.

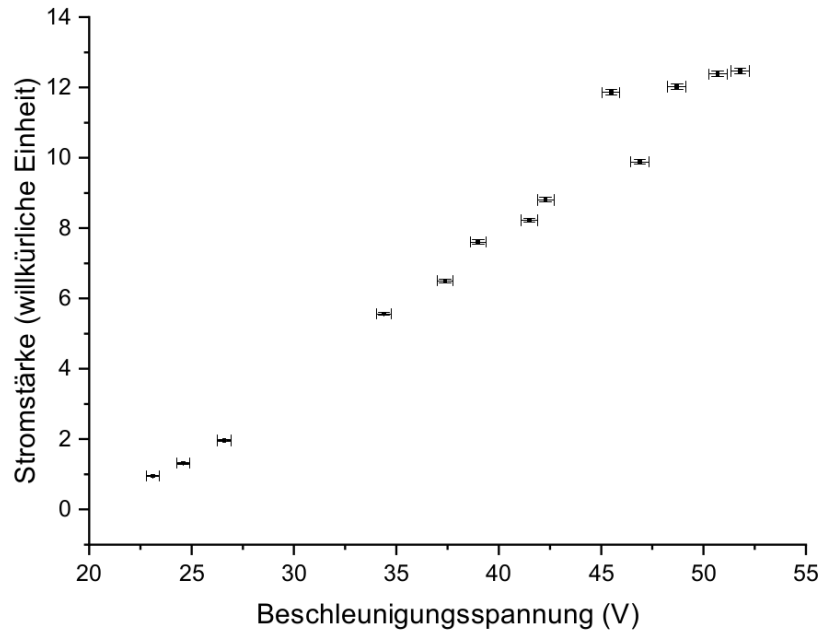


Abbildung 2: Aufgenommene Quecksilber-Charakteristik bei  $T=(19,0 \pm 1,5)^\circ\text{C}$ . Die Stromstärke wurde mit einem Operationsverstärker in eine messbare Spannung umgewandelt.

## 3.2 Datenanalyse

### 3.2.1 Unsicherheiten

Die Unsicherheit des Voltmeters beträgt  $\pm(U \cdot 0,5\% + 200 \text{ mV})$  für die Beschleunigungsspannung und  $\pm(U \cdot 0,5\% + 20 \text{ mV})$  für die gemessene Spannung (0,5% vom angezeigten Wert).[6] Die zusätzliche Unsicherheit des Operationsverstärkers wird als demgegenüber vernachlässigbar angenommen.

Die Unsicherheit des Thermometers vom Typ K ist  $1,5^\circ\text{C}$  in dem gemessenen Temperaturintervall.[1] Zusätzlich ist die Temperatur nicht überall im Heizkasten gleich und schwankte beim Aufnehmen der Quecksilber-Charakteristik von  $165$  bis  $180^\circ\text{C}$ , deshalb wählen wir für diese Messung die Unsicherheit als  $7^\circ\text{C}$ .

Bei der Bestimmung der Beschleunigungsspannung an Extremstellen nehmen wir die Unsicherheit als aus dem Verlauf der Kurve und dem Abstand zum nächsten Messpunkt zusammengesetzt an.

### 3.2.2 Quecksilber-Charakteristik

In Abb. 3 ist die  $I_A/U_B$ -Charakteristik des Quecksilbers bei  $T=(175 \pm 7)^\circ\text{C}$  dargestellt. Daraus lassen sich folgende Abstände ablesen:

- Maxima:

$$\Delta U_1 = (27,1 \pm 0,3) \text{ V} - (21,0 \pm 0,1) \text{ V} = (6,1 \pm 0,3) \text{ V}$$

- Minima

$$\Delta U_2 = (29,4 \pm 0,2) \text{ V} - (24,1 \pm 0,2) \text{ V} = (5,3 \pm 0,3) \text{ V}$$

$$\Delta U_3 = (24,1 \pm 0,2) \text{ V} - (18,0 \pm 0,5) \text{ V} = (6,1 \pm 0,5) \text{ V}$$

Im Mittel ergibt sich ein  $\Delta U_{\text{Hg}}$  von  $(5,8 \pm 0,2) \text{ V}$ .

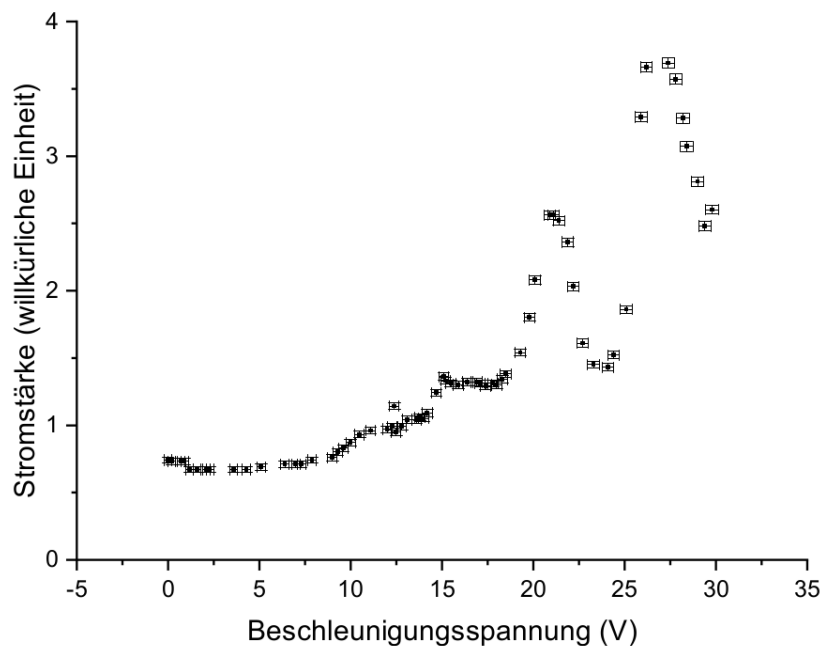


Abbildung 3: Aufgenommene Quecksilber-Charakteristik bei  $T=(175 \pm 7)^\circ\text{C}$ . Die Stromstärke wurde mit einem Operationsverstärker in eine messbare Spannung umgewandelt.

### 3.2.3 Neon-Charakteristik

In Abb. 4 ist die  $I_A/U_B$ -Charakteristik des Neons bei  $T=(19,0 \pm 1,5)^\circ\text{C}$  dargestellt. Daraus lassen sich folgende Abstände ablesen:

- Maxima:

$$\Delta U_1 = (38,8 \pm 0,2) \text{ V} - (20,8 \pm 0,4) \text{ V} = (18,0 \pm 0,4) \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = (57,2 \pm 0,2) \text{ V} - (38,8 \pm 0,2) \text{ V} = (18,4 \pm 0,3) \text{ V}$$

- Minima

$$\Delta U_3 = (44,9 \pm 0,5) \text{ V} - (27,5 \pm 0,3) \text{ V} = (17,4 \pm 0,6) \text{ V}$$

$$\Delta U_4 = (62,9 \pm 0,5) \text{ V} - (45,5 \pm 0,4) \text{ V} = (18,0 \pm 0,7) \text{ V}$$

Im Mittel ergibt sich ein  $\Delta U_{\text{Ne}}$  von  $(17,9 \pm 0,3) \text{ V}$ .

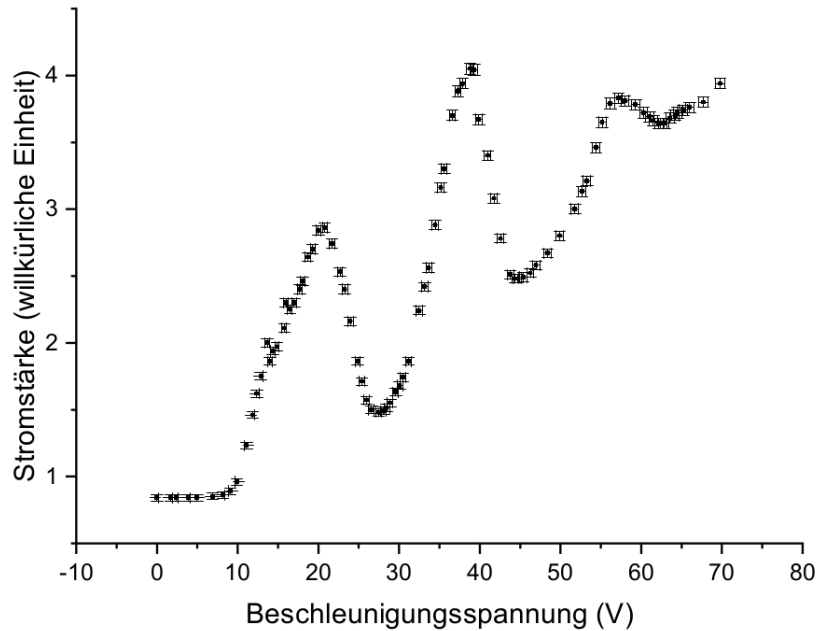


Abbildung 4: Aufgenommene Neon-Charakteristik bei  $T=(19,0 \pm 1,5) ^\circ\text{C}$ . Die Stromstärke wurde mit einem Operationsverstärker in eine messbare Spannung umgewandelt.

### 3.2.4 Bestimmen von Anregungsenergie, Wellenlänge und Frequenz der Strahlung

Aus den Spannungen lässt sich die kinetische Energie eines Elektrons bestimmen, die notwendig ist um den Resonanzzustand des Atoms anzuregen. Sie beträgt  $\Delta E = \Delta U e$ . Die Frequenz folgt aus  $\nu = \Delta E/h$  und die Wellenlänge aus  $\lambda = c/\nu$ . [5] Die jeweiligen Werte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Aus den Charakteristiken von Quecksilber und Neon berechnete kinetische Energie, sowie Frequenz und Wellenlänge des emittierten Lichts.

	$\Delta U$	$\Delta E$	$\nu$	$\lambda$
Quecksilber	$(5,8 \pm 0,2) \text{ V}$	$(5,8 \pm 0,2) \text{ eV}$	$(1402 \pm 48) \text{ THz}$	$(214,0 \pm 6,3) \text{ nm}$
Neon	$(17,9 \pm 0,3) \text{ V}$	$(17,9 \pm 0,3) \text{ eV}$	$(4328 \pm 73) \text{ THz}$	$(69,3 \pm 1,2) \text{ nm}$

### 3.2.5 Berechnen der mittleren freien Weglänge der Elektronen

In der Einführung wurde folgende Formel aufgeführt zum Bestimmen der freien Weglänge  $\lambda$  der Elektronen:

$$\lambda = \frac{k_B T}{\sigma p} \quad \text{mit} \quad \sigma = \pi r_{\text{Hg}}^2 \quad (1)$$

Der Druck  $p$  wird durch die Clausius-Clapeyron-Gleichung in integrierter Form bestimmt:

$$\ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right) = \frac{\Delta H_{\text{m,v}}}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2)$$

Dabei beträgt die allgemeine Gaskonstante  $R = 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , die Verdampfungsenthalpie von Quecksilber  $\Delta H_{\text{m,v}} = 59,3 \text{ kJ/mol}$ , der Radius eines Quecksilberatoms  $r_{\text{Hg}} = 150 \text{ pm}$  und der Referenzpunkt ist  $T_1 = 293,15 \text{ K}$  mit  $p_1 = 0,242 \text{ Pa}$ . [3][2][5]

Durch Umformen von Gleichung (2) ergibt sich  $p_{\text{kalt}}$  und  $p_{\text{warm}}$ . Daraus wiederum folgt mit Gleichung (1)  $\lambda_{\text{kalt}}$  und  $\lambda_{\text{warm}}$ . Die so bestimmten Werte sind in Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 2: Mittlere frei Weglänge von Elektronen in Quecksilberdampf bei Raumtemperatur(kalt) und Heiztemperatur(warm).

	$T$	$p$	$\lambda$
kalt	$(292,15 \pm 1,50) \text{ K}$	$(0,223 \pm 0,028) \text{ Pa}$	$(0,256 \pm 0,032) \text{ m}$
warm	$(453,15 \pm 7,00) \text{ K}$	$(1,3 \pm 0,2) \text{ kPa}$	$(0,068 \pm 0,010) \text{ mm}$

### 3.3 Diskussion

Bezeichnung	eVolt	Übergänge	Bez.	eVolt	Übergänge
.. 6s 7s	7,93 6,70		.. 2p <sup>3</sup> 3p	18,9 18,3	
.. 6s 6p	4,89		.. 2p <sup>3</sup> 3s	16,8 16,6	
[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	0		1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>	0	

Abbildung 5: Vereinfachte Termschemata von Quecksilber (links) und Neon (rechts). Dicke Pfeile stellen Übergänge mit der größten Wahrscheinlichkeit dar. [4]



## 4 Schlussfolgerung

### Literatur

- [1] R. Hörnemann GmbH. *DIN-Toleranzen für Thermopaare und Termoleitungen*. URL: [http://www.hoernemann-rh.de/technik\\_details.asp?technikid=3](http://www.hoernemann-rh.de/technik_details.asp?technikid=3) (besucht am 05.05.2018).
- [2] Charles F. Hill. „Measurement of Mercury Vapor Pressure by Means of the Knudsen Pressure Gauge“. In: *Phys. Rev.* 20 (3 Sep. 1922), S. 259–266. DOI: 10.1103/PhysRev.20.259. URL: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.20.259>.
- [3] mai2014@andyhoppe.com. *Quecksilber: Stoffeigenschaften*. URL: <http://www.periodensystem.info/elemente/quecksilber> (besucht am 05.05.2018).
- [4] WWU Münster. *Franck-Hertz-Versuch Einführung*. URL: [https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/pluginfile.php/1334783/mod\\_resource/content/1/Franck-Hertz-Versuch\\_Einf.pdf](https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/pluginfile.php/1334783/mod_resource/content/1/Franck-Hertz-Versuch_Einf.pdf) (besucht am 04.05.2018).
- [5] NIST. *NIST Reference on Constants, Units and Uncertainty*. URL: <https://physics.nist.gov/cuu/index.html> (besucht am 05.05.2018).
- [6] FH-Pforzheim. *Infoblatt Digitalmultimeter*. URL: [http://eitidaten.fh-pforzheim.de/daten/labore/ellt/unterlagen\\_webseite/von\\_becker/Infoblatt\\_DigMM.pdf](http://eitidaten.fh-pforzheim.de/daten/labore/ellt/unterlagen_webseite/von_becker/Infoblatt_DigMM.pdf) (besucht am 05.05.2018).