

# **Versuch 601**

## **Der Franck-Hertz Versuch**

Jonah Nitschke  
lejonah@web.de

Sebastian Pape  
sepa@gmx.de

Durchführung: 30.05.2017

Abgabe: 06.06.2017

# 1 Zielsetzung

In dem Versuch V601 wird die Elektronenhülle eines Quecksilberatoms (Hg) untersucht. Das zugrunde liegende Ziel besteht aus der Überprüfung der Bohrschen Postulate, die 1913 von Nils Bohr formuliert wurden.

## 1.1 Hintergrund

Der Franck-Hertz Versuch beschäftigt sich mit der Quantennatur der Elektronenhülle eines Atomes. Dieser Versuch ist nach den Physikern James Franck und Gustav Hertz benannt, die diesen in den Jahren 1911-1914 ausarbeiteten und durchführten.

# 2 Theorie

Die Elektronenhülle lässt sich über Stoßexperimente erforschen. In dem Franck-Hertz Versuch werden möglichst monoenergetische Elektronen auf ein Quecksilbergas geschossen, sodass sie elastisch und unelastisch mit den Atomgas stoßen. Im Folgendem wird zuerst der schematische Aufbau des Versuches dargestellt, da sich anhand diesem die Gedankenzüge der Theorie verständlicher erläutern lassen.

## 2.1 Schematischer Aufbau

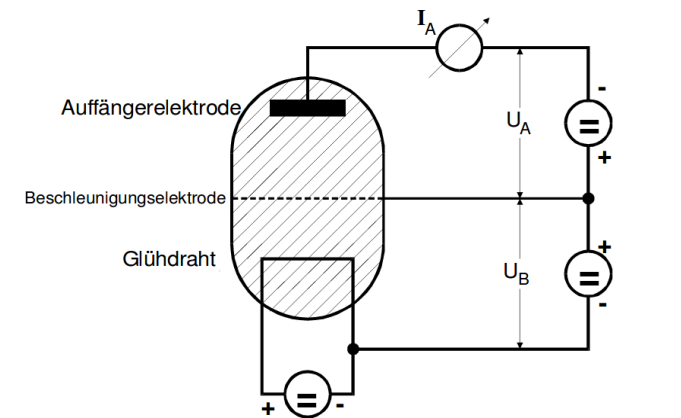


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Franck-Hertz Versuches.[1]

Der schematische Aufbau ist in Abb. 1 dargestellt. Der schraffierte Bereich im Inneren des Gefäßes ist ein evakuierter Bereich, in dem sich das Hg-Gas befindet. Der Glühdraht stellt die Elektronenquelle für die stoßenden Elektronen dar. Diese liegen aufgrund des Glühelektrischen-Effektes als Elektronengas um den Glühdraht. Der Glühdraht dient als

Kathode. Die Beschleunigungselektrode ein von der Glühkathode verschiedenes Potential, welches auf die Elektronen eine anziehende Kraft ausübt. Der Beschleunigungsdraht dient somit als Anode. Zwischen den beiden erwähnten Elektroden liegt die Spannung  $U_B$  an. Beschleunigte Elektronen nehmen auf der Beschleunigungsstrecke die Energie  $e_0 \cdot U_B$  in Form von kinetischer Energie auf.

Die beschleunigten Elektronen landen letztendlich auf der Auffängerelektrode. Diese besitzt eine Bremsspannung  $U_A$ . Nur Elektronen, die ausreichend kinetische Energie haben können dieses Gegenfeld überwinden und an der Auffängerelektrode den Auffängerstrom  $I_A$  verursachen. Dabei gilt die folgenden Energierelation.

$$\frac{m_0}{2} v_z^2 \geq e_0 U_A \quad (1)$$

Die Elementarladung ist mit  $e_0$  zu identifizieren. Elektronen, die (1) erfüllen tragen zu  $I_A$  bei.

Der Energieverlust der Elektronen durch die Stöße wird mithilfe der Gegenfeldmessung bestimmt. Das Gegenfeld ist in dem Aufbau 1 durch die Bremsspannung  $U_A$  realisiert. Die Differenz zwischen Anfangsenergie und Endenergie spiegelt die vom Hg aufgenommene Energie wieder.

Bohr postulierte, dass Elektronen nur auf diskreten Bahnen um den Atomkern bewegen können. Für den Franck-Hertz Versuch bedeutet dies, dass der Auffängerstrom  $I_A$  bei bestimmten Beschleunigungsspannungen abrupt abfällt. Diese Energie ist genau dann erreicht, wenn die stoßenden Elektronen die Quecksilberatome anregen. Der Ablauf ist schematisch wie folgt zu verstehen.



Dabei markiert \* die höher energetischen Zustände. Für das Elektronen symbolisiert dies ein Zustand mit hoher kinetischer Energie.  $\text{Hg}^*$  ist dabei der erste angeregte Zustand von Quecksilber. Im ersten angeregten Zustand hat es eine Energie von  $E_1$ . Nach dem angeregten Zustand geht das  $\text{Hg}^*$ -Atom nach einer Relaxationszeit in der Größenordnung von  $10 \cdot 10^{-8} \text{ s}$  unter Aussendung eines  $\gamma$ -Quantes in den Grundzustand über. Im Grundzustand hat das Quecksilberatom eine Energie von  $E_0$ . Der Lichtquant  $\gamma$  hat eine Energie von

$$h\nu = E_1 - E_0. \quad (3)$$

$h$  ist das Plancksche Wirkungsquantum und  $\nu$  die Frequenz des emittierten Lichtes.

Wird die Beschleunigungsspannung dem Auffängerstrom gegenüber aufgetragen ergibt sich theoretisch die Kurve aus Abb. 2.

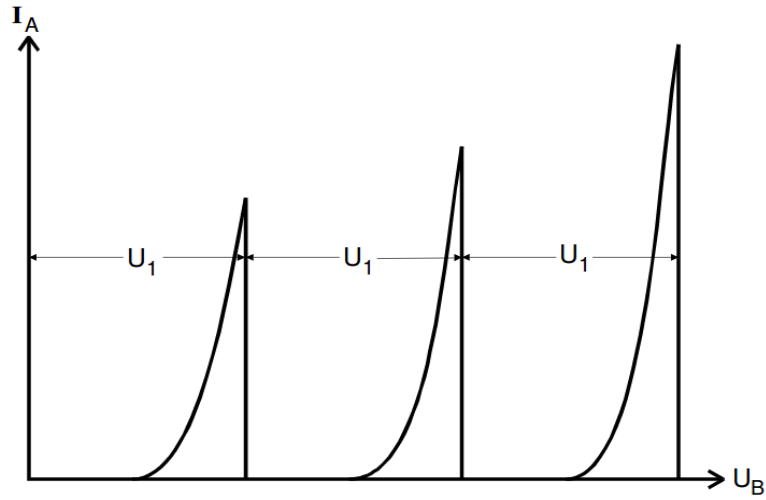


Abbildung 2: Theoretische Franck-Hertz-Kurve.[1]

In den Bereichen in denen kein Auffängerstrom gemessen wird ist die Energie der Elektronen nicht groß genug, um das Gegenfeld zu überwinden. Mit steigender Beschleunigungsspannung werden mehr Elektronen von dem Glühdraht angezogen. Deshalb nehmen die Maxima mit zunehmendem  $U_B$  ebenfalls zu. Zudem sind die Maxima äquidistant auf der x-Achse angeordnet. Die Abstände sind gleich dem ersten Anregungspotentials

$$U_1 = \frac{(E_1 - E_0)}{e_0}. \quad (4)$$

Abbildung 2 stellt die idealisierte Franck-Hertz Kurve dar. Die tatsächlich gemessene Kurve unterscheidet sich jedoch von der Theoriekurve. Insgesamt sind vier Gründe für das Abweichen der theoretisch von der praktisch bestimmten Franck-Hertz Kurve. Zum Einen werden die Maxima der Franck-Hertz Kurve aufgrund des Kontaktpotentials verschoben. Ein Kontaktpotential tritt auf, weil die Materialien des Glühdrahtes und des Beschleunigungsdrahtes verschieden sind. Das effektiv Beschleunigungspotential sieht wie folgt aus.

$$U_{B,\text{eff}} = U_B - \frac{1}{e_0} (\Phi_B - \Phi_G) \quad (5)$$

$\Phi_B$  ist dabei die Austrittsarbeit die für das Material des Beschleunigungsdrahtes verwendet wird und  $\Phi_G$  selbes für den Glühdraht. Der Verschiebungsfaktor der Maxima ist somit

$$K = \frac{1}{e_0} (\Phi_B - \Phi_G). \quad (6)$$

Dieser Ausdruck für  $K$  wird Kontaktpotential genannt.

Desweiteren ist die Energieverteilung der Elektronen im Glühdraht nicht monoenergetisch, wie in der Theorie angenommen wurde. Es liegt eine kontinuierliche Energieverteilung vor, die durch die Fermi-Dirac-Verteilung beschrieben wird. Damit ist die Geschwindigkeit der Elektronen nach dem Austreten bereits  $> 0$ . Für die Franck-Hertz Kurve bedeutet das, dass der Anstieg an die Maxima abgeflacht, im Vergleich zu der Idealkurve ist und der abrupte Abfall nach dem Maxima nicht unstetig geschieht.

Zuzüglich wird die gemessene Kurve durch elastische Stöße im Bereich zwischen der Beschleunigungselektrode und der Auffängerelektrode, verglichen mit der Idealkurve weiter abgeflacht. Auftretenden Richtungsänderungen, hervorgerufen durch elastische Stöße führen auf eine Geschwindigkeitsverteilung der  $z$ -Komponente der Elektronen. Das Ankommen der Elektronen auf der Auffängerelektrode ist abhängig von der  $v_z$ -Komponente.

Der vierte Grund führt die Unterschiede zwischen der Ideal- und der gemessenen Kurve hängt mit dem Einfluss des Dampfdruckes zusammen. Der Quecksilberdampf wird in dem evakuierten Gefäß (vgl. Abb. 1) durch spontan verdampfted Quecksilber bereitgestellt. Ein Tropfen Quecksilber ist in der Apparatur 1 eingearbeitet. Gemäß der Dampfdruckkurve stellt sich ein Gleichgewichtsdampfdruck  $p_{st}$  ein, der von der Umgebungstemperatur  $T$  abhängt. Deshalb ist die mittlere freie Weglänge  $\bar{w}$  ein entscheidender Faktor des Versuches.  $\bar{w}$  sollte klein im Vergleich zu dem Abstand  $a$  zwischen Kathode und Beschleunigungselektrode sein. Die mittlere freie Weglänge hängt über

$$\bar{w}[\text{cm}] = \frac{0,0029}{p_{st}}[p \text{ in mbar}] \quad (7)$$

mit dem Sättigungsdruck  $p_{st}$  zusammen. Es gibt einen Temperaturbereich, in dem die Apparatur optimal arbeitet. Wird der Bereich deutlich unterschritten ist die Stoßwahrscheinlichkeit zwischen Hg-Atomen und Elektronen zu gering. Die Franck-Hertz Kurve wäre dann die einhüllende der Idealkurve. Hingegen ist bei zu hohen Temperaturen das Auftreten von elastischen Stößen groß, sodass die Zahl der zu  $I_A$  beitragen verringert ist. In diesem Fall ist die Franck-Hertz Kurve gleich der Nullkurve.

### 3 Durchführung

Mit dem Aufbau 3 wurde der Versuch durchgeführt. Die Frank-Hertz-Apparatur ist in diesem integriert. Der Auffängerstrom  $I_A$  wird von dem Picoamperemeter gemessen. Mithilfe des X-Y-Schreibers werden die verschiedenen Messungen visualisiert. An den Y-Kanal wird immer der Auffängerstrom  $I_A$  den verschiedenen Messungen entsprechend einer anderen Spannung gegenüber gestellt. Der Heizgenerator kann manuell auf temperiert werden. Dieser dient dazu, die Temperatur in dem Glaskolben aus Abb. 1 variieren zu können. Die gesteuerten Gleichspannungsquellen dienen zur Manipulation

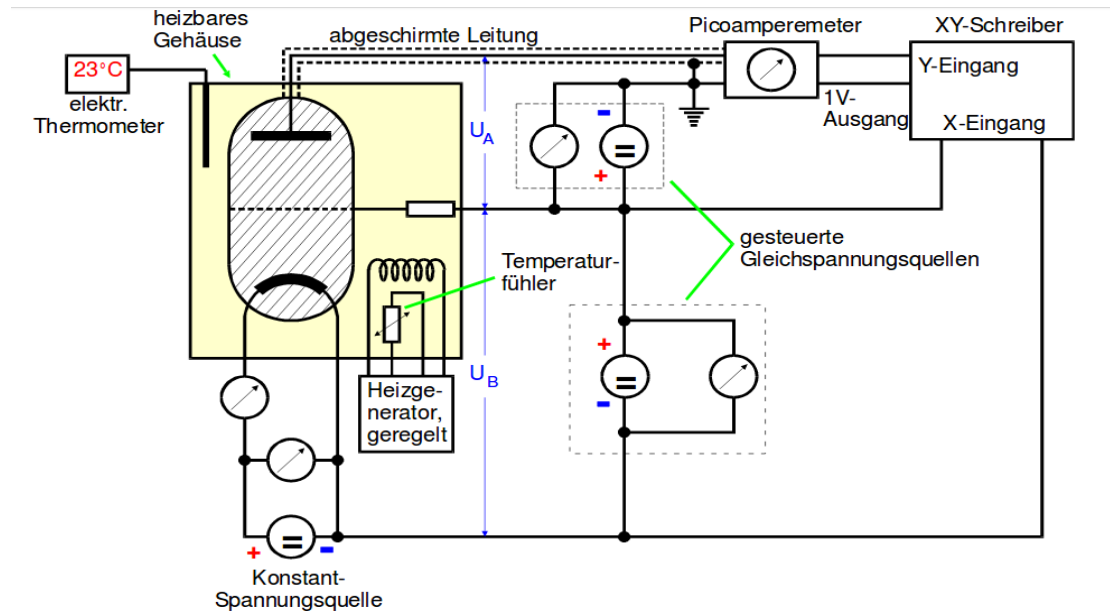


Abbildung 3: Theoretische Franck-Hertz-Kurve.[1]

der Beschleunigungsspannung und der Auffängerspannung. Die Gleichspannungsquellen können so eingestellt werden, dass sie die Spannung über einen festgelegten Zeitraum konstant erhöhen oder absenken können.

Zuerst ist die integrale Energieverteilung der beschleunigten Elektronen zu bestimmen. Die Bremsspannung  $U_A$  wird auf den X-Kanal des Schreibers gelegt. Der Auffängerstrom  $I_A$  wird in Abhängigkeit von der Bremsspannung gemessen. Die Beschleunigungsspannung  $U_B$  ist währenddessen konstant auf 11 V eingestellt. Die Messung wird einmal bei Umgebungstemperatur und einmal bei  $T = 140 - 160^\circ\text{C}$  durchgeführt.

Danach wird die Ionisierungsspannung  $U_{\text{ion}}$  von Quecksilber bestimmt. Dafür wird die Umgebungstemperatur auf  $T = 100 - 110^\circ\text{C}$  geregelt. Die Bremsspannung wird nun konstant bei  $U_A = -30\text{ V}$  gehalten. Der X-Kanal des XY-Schreibers wird mit der Beschleunigungsspannung  $U_B$  belegt, sodass der  $U_B$  dem Auffängerstrom gegenüber aufgetragen wird.

Abschließend ist die Temperatur auf  $T = 160 - 200^\circ\text{C}$  einzustellen. Im Folgendem wird beschrieben, wie die Franck-Hertz Kurve aufgenommen wird. Die Bremsspannung  $U_A$  wird konstant bei 1 V gehalten und die Beschleunigungsspannung durchläuft das Spannungsintervall von 0 – 60V. Die Bremsspannung ist an dem X-Kanal des Schreibers angeschlossen und wird gegenüber des Auffängerstromes gemessen. Die Temperatur ist zu variieren und es wird diejenige Kurve herangezogen, bei der die Charakteristik der Franck-Hertz Kurve besonders deutlich werden. Dabei sind Kurven mit vielen auftretenden Maxima zu bevorzugen.

## Literatur

- [1] TU-Dortmund. *V601: Franck-Hertz Versuch*. 31. Mai 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V601.pdf>.