

TU Dortmund

V601 - Franck-Hertz-Versuch

Markus Stabrin
markus.stabrin@tu-dortmund.de

Kevin Heinicke
kevin.heinicke@tu-dortmund.de

Versuchsdatum: 4. Juni 2013

Abgabedatum: 11. Juni 2013

1 Einleitung

Der Franck-Hertz-Versuch hat eine große Bedeutung in der frühen Geschichte der Quantenmechanik. Er bestätigte bei seiner ersten Durchführung 1914 einige Annahmen der Bohrschen Postulate und ermöglichte somit einen ersten Einblick in die innere Struktur der Atome.

Durch die Anregung von Quecksilberatomen und die darauffolgenden Erscheinungen lässt sich die Existenz von diskreten Energieniveaus bestätigen. Dies soll im Folgenden näher erläutert werden.

2 Theorie

2.1 Wechselwirkungen in Atomhüllen

Der Franck-Hertz-Versuch macht sich eine leicht veranschaulichbare Wechselwirkung zwischen freien Elektronen und an einen Kern gebundene Hüllenelektronen zu Nutzen. Ein freies Elektron kann mit einem Atom kollidieren, wobei je nach Energie des Elektrons ein elastischer oder ein unelastischer Stoß auftritt.

Das Elektron wird dabei vom Coulombpotential des Hüllenelektrons abgestoßen. Falls das freie Elektron genügend kinetische Energie trägt, kann es einen bestimmten Teil dieser Energie während eines unelastischen Stoßes an das Hüllenelektron abgeben.

Das Atom befindet sich dann in einem angeregten, instabilen Zustand mit der Energie E_1 , die größer als die Energie E_0 des Grundzustandes ist.

Nach dem Stoß bewegt sich das freie Elektron auf Grund der geringeren Energie E' mit einer verminderten Geschwindigkeit v_2 weiter. Zudem ändert es seine Richtung, in Abhängigkeit zu der Geometrie des Stoßes. Die übertragene Energie ΔE beträgt

$$\Delta E = E_1 - E_0 = \frac{1}{2}m_0(v_1^2 - v_2^2) . \quad (1)$$

Die Energie E' des freien Elektrons lässt sich mit Hilfe der Gegenfeldmethode bestimmen, wodurch schließlich der Energieunterschied ΔE ermittelt werden kann.

2.2 Quecksilber als Stoßpartner

In diesem Versuch wird Quecksilber benutzt, da die Struktur der äußeren Schale (Hauptquantenzahl $n = 6$) eine leichte Anregung durch Elektronenstöße erlaubt. Das stoßende Elektron vertauscht dabei mit dem Hüllenelektron. Das entspricht einem Umklappen des Elektronenspins, was eine Anregung in den ersten höheren Zustand zur Folge hat.

Bei leichteren Kernen (z.B. Helium) ist dies praktisch unmöglich.

3 Versuchsaufbau

Der Franck-Hertz-Versuch ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. In einem evakuierten Gefäß verdampft ein Tropfen Quecksilber, sodass sich Quecksilberatome homogen in diesem verteilen. Der Druck des Quecksilberdampfes kann durch die Temperatur T gesteuert werden.

Im unteren Teil des Gefäßes befindet sich eine Glühkathode aus Wolfram, die durch Gleichstrom erhitzt wird. Es treten auf Grund des glühelektrischen Effektes Elektronen aus dem Material aus und bilden eine Elektronenwolke um den Wolframdraht.

Zwischen Glühkathode und einem, in der Mitte des Gefäßes befestigtem Drahtgitter, wird eine Spannung U_B angelegt, sodass die Elektronen in Richtung des Drahtgitters beschleunigt werden.

Hinter dem Drahtgitter, im oberen Teil des Gefäßes befindet sich eine weitere Elektrode, die zum Drahtgitter ein negatives Potential U_A besitzt. Elektronen, die das Drahtgitter passieren und genügend Energie besitzen, können das Potential U_A überwinden und als Auffangstrom I_A in der Elektrode gemessen werden. Langsame Elektronen werden dagegen zurück zum Drahtgitter gelenkt und von diesem absorbiert.

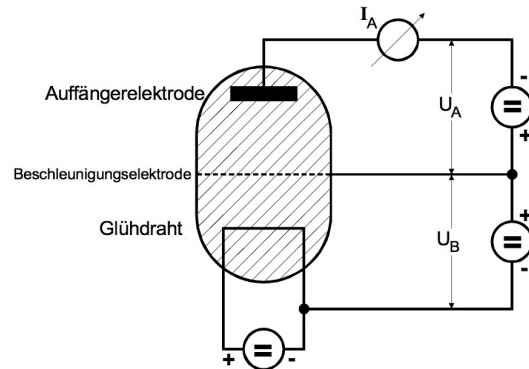


Abbildung 1: Versuchsaufbau [1].

Durch Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B kann die kinetische Energie der Elektronen stetig erhöht werden. Mit der Elektronenladung e gilt

$$E_{\text{kin}} = e \cdot U_B. \quad (2)$$

Bei konstanter Auffängerspannung U_A erreichen dann mit steigender Spannung U_B immer mehr Elektronen die Auffängerelektrode und der Strom I_A wächst.

Auf dem Weg durch das Gefäß stoßen die Elektronen mit den Quecksilberatomen zusammen. Wenn sie nun genügend kinetische Energie $E_{\text{kin}} = \Delta E$ besitzen, sodass sie die Quecksilberatome anregen können, treten unelastische Stöße auf. Die gesamte Energie der Elektronen geht dann in die Quecksilberatome über und der Strom I_A fällt auf 0. Die kinetische Energie der Elektronen stimmt dann mit der Energiedifferenz ΔE zwischen Grundzustand und erstem angeregten Zustand des Quecksilberatoms überein.

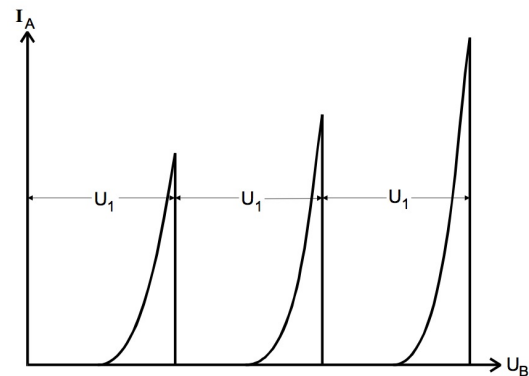


Abbildung 2: Idealisiertes Strom-Spannungs-Diagramm [1].

Durch weitere Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B wiederholt sich dieser Prozess, sodass ein Strom-Spannungs-Diagramm, wie in Abbildung 2 dargestellt, entsteht. Durch Messung des Abstandes U_1 zwischen zwei Strommaxima lässt sich somit die Energiedifferenz ΔE bestimmen und es gilt

$$\Delta E = e \cdot U_1 . \quad (3)$$

3.1 Systematische Abweichungen

Auf Grund verschiedener Effekte, die im Folgenden aufgeführt sind, weicht die tatsächlich messbare Kurve von der idealisierten Kurve in Abbildung 2 ab.

- Die Strom-Spannungs-Kurve ist um einen Wert K verschoben. Dieser Wert K bezeichnet das Kontaktpotential, welches auf Grund der verschiedenen Austrittsarbeiten des Kathoden- und des Gitterdrahtmaterials auftritt und durch das Fermi-Niveau Φ der Materialien bestimmt ist:

$$K = \frac{1}{e}(\Phi_B - \Phi_A)$$

- Die Kurve erscheint abgeflacht und verbreitert, weil die Elektronen nicht mit konstanter Geschwindigkeit aus dem Glühdraht austreten. Die Elektronen besitzen stattdessen ein Energiespektrum, welches als Fermi-Dirac-Verteilung bezeichnet wird. Dadurch fällt der Auffangstrom I_A nach einem Maximum nicht mehr unsteigend auf den Wert 0 ab, sondern nähert sich stetig einem Minimum, das nicht 0 ist.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass die Elektronen mit Quecksilberatomen kollidieren hängt stark vom Dampfdruck p des Quecksilbergases ab. Dieser legt die freie Weglänge \bar{w} fest, die ein Elektron durchschnittlich zurücklegen muss, um mit einem Quecksilberatom zu kollidieren.

Falls die Weglänge \bar{w} größer als die Dimension a der Versuchsanordnung ist, treten kaum Kollisionen auf und eine Messung ist schwierig. Wenn die Weglänge \bar{w} viel kleiner ist als a , treten zwischen den unelastischen Stößen viele elastische Stöße auf, die mit starken Richtungsänderungen verbunden sind. Dadurch verringert sich die Anzahl der Elektronen, die die Auffangelektrode erreichen und das Ergebnis wird verfälscht.

4 Durchführung

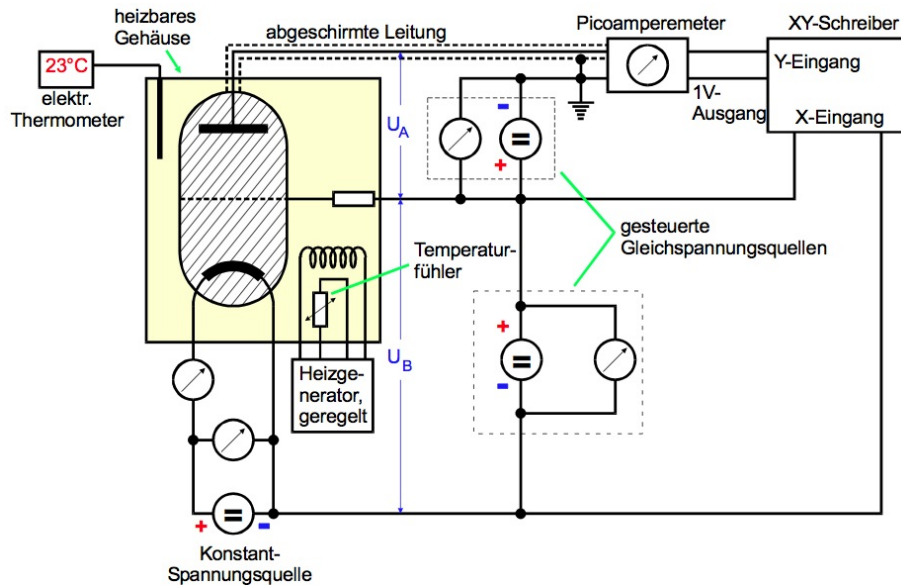


Abbildung 3: Aufbau der hier verwendeten Apparatur [1].

Die hier verwendete Apparatur ist in Abbildung 3 dargestellt. Das gesamte, mit Quecksilberdampf befüllte Gefäß befindet sich in einem Blechgehäuse, welches durch einen elektronischen Temperaturregler erhitzt werden kann. Die Temperatur T wird mit einem elektronischen Thermometer gemessen. Die Brems- und Beschleunigungsspannungen U_A und U_B können kontinuierlich von 0 auf $U_A = 11\text{ V}$ bzw. $U_B = 60\text{ V}$ geregelt werden. Dabei kann die Zeit t , in der geregelt wird zwischen $t = 30\text{ s}$ und $t = 5\text{ min}$ variiert werden.

5 Auswertung

6 Diskussion

Literatur

- [1] Physikalisches Anfängerpraktikum der TU Dortmund: Versuch V601 - Der Franck-Hertz-Versuch. <http://129.217.224.2/HOME/PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V601.pdf>. Stand: Juni 2013.