

Versuch 601

Der Franck-Hertz-Versuch

Stefanie Hilgers
Stefanie.Hilgers@tu-dortmund.de

Lara Nollen
Lara.Nollen@tu-dortmund.de

Durchführung: 22.05.2018

Abgabe: 29.05.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

Bei diesem Versuch soll die integrale Energieverteilung sowie das Kontaktpotential des verwendeten Aufbaus untersucht werden. Außerdem sollen die Anregungsenergie und die Ionisationsenergie von Quecksilber bestimmt werden.

2 Theorie

2.1 Einleitung

Der Franck-Hertz Versuch gehört zu den sogenannten Elektronenstoßexperimenten, bei welchen Atome mit Elektronen beschossen werden und aus den Energiedifferenzen Rückschlüsse auf die Struktur der Elektronenhülle geschlossen werden. In diesem Fall werden Elektronen mit möglichst gleichmäßiger Energie in einem abgeschlossenen Raum auf Hg-Dampf geschossen, wobei zwischen den Elektronen und den Atomen elastische sowie inelastische stattfinden. Bei einem inelastischen Stoß werden die Hg-Atome angeregt und nehmen dabei die Energiedifferenz

$$\frac{m_0 v_{\text{vor}}^2}{2} - \frac{m_0 v_{\text{nach}}^2}{2} = E_1 - E_0 \quad (1)$$

zwischen dem Grundzustand mit Energie E_0 und dem ersten angeregten Zustand mit Energie E_1 vom Elektron auf. Hierbei bezeichnet m_0 die Ruhemasse der Elektronen und v die Geschwindigkeit. Mithilfe der Gegenfeldmethode lässt sich hierbei die Energie der Elektronen messen und somit diese Energiedifferenz bestimmen.

2.2 Aufbau

Der schematische Aufbau des Franck-Hertz Versuchs ist in Abbildung 1 dargestellt.

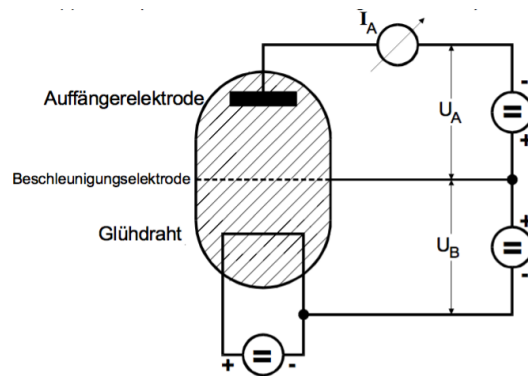


Abbildung 1: Aufbau des Franck-Hertz Versuchs [skript].

Der Aufbau besteht prinzipiell aus einem evakuierten Gefäß, welches zum Teil mit Quecksilberdampf gefüllt ist. Es stellt sich hierbei, abhängig von der Umgebungstemperatur, ein

Gleichgewichtsdampfdruck p_{sat} . In das Gefäß ist zudem ein Glühdraht eingelassen, durch welchen ein Gleichstrom fließt, welcher mittels des glühelektrischen Effekts dafür sorgt, dass freie Elektronen austreten. Diese werden dann von einer Beschleunigungsspannung U_B zu einer netzförmigen Elektrode beschleunigt, wobei sie die kinetische Energie

$$\frac{m_0 v_{\text{vor}}^2}{2} = e_0 U_B \quad (2)$$

aufnehmen. Hierbei bezeichnet e_0 die Elementarladung. Hinter dieser Beschleunigungselektrode liegt dann die Auffängerelektrode, an welcher sich der Auffängerstrom I_A messen lässt. Wird an dieser nun ein Gegenfeld mit Gegenspannung U_A angelegt, können nur noch Elektronen, deren Geschwindigkeitskomponente in Z-Richtung die Ungleichung

$$\frac{m_0 v_z^2}{2} \geq e_0 U_A \quad (3)$$

erfüllt, gegen die Bremsspannung anlaufen und somit an die Auffängerelektrode gelangen, der Rest kehrt zur Beschleunigungselektrode zurück.

Im Bereich, in dem sich die Hg-Atome aufhalten kommt es nun zu Zusammenstößen mit den Elektronen. Ist die kinetische Energie der Elektronen gering, kommt es zu inelastischen Stößen, bei denen die Energieabgabe aufgrund des großen Massenunterschiedes vernachlässigbar klein ist, beim zentralen Stoß beträgt sie beispielsweise nur

$$\Delta E = \frac{4m_0 M}{(m_0 + M)^2} E \approx 1,1 \cdot 10^{-5} E ,$$

wobei E die Energie des Elektrons angibt. Wichtig ist hierbei jedoch die Richtungsänderung, die das Elektron erfährt.

Beträgt die kinetische Energie des Elektrons aber mindestens die der Energiedifferenz $E_1 - E_0$ zwischen dem Grundzustand und dem ersten angeregten Zustand des Hg-Atoms, kann es auch zu einem inelastischen Stoß kommen, bei welchem genau der Betrag dieser Energiedifferenz übertragen wird, und das Hg-Atom wird somit angeregt. Nach einer sehr kurzen Relaxationszeit geht es jedoch, unter Aussendung eines Lichtquants der Energie

$$h\nu = E_1 - E_0 \quad (4)$$

wieder in den Grundzustand über, wobei h das Plancksche Wirkungsquantum und ν die Frequenz des Lichts bezeichnet. Um diesen Effekt zu beobachten, wird U_B nun langsam erhöht und dabei der Auffängerstrom gemessen. Sobald U_B das Gegenpotential U_A überschreitet, lässt sich ein starkes Anwachsen des Auffängerstroms beobachten, da immer mehr austretende Elektronen abgesaugt werden und das Gegenfeld überwinden können. Wird dabei die Elektronenenergie von $E_1 - E_0$ überschritten, kommt es zu inelastischen Stößen, bei denen die Elektronen einen Großteil ihrer Energie verlieren und somit nicht mehr genügend Energie besitzen um das Gegenfeld zu überwinden und zur Auffängerelektrode zu gelangen, sodass der Auffängerstrom abrupt abfällt. Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht, können die Elektronen nach dem Stoß allerdings

noch genügend Energie aufnehmen um das Gegenpotential zu überwinden, wodurch der Strom wieder ansteigend. Dies geschieht so lange, bis das Elektron auch ein zweites mal ein Atom anregen kann, wobei es erneut fast seine ganze Energie abgibt und der Strom wieder abfällt. Dieser Vorgang lässt sich noch einige Male wiederholen, wie in Abbildung ?? zu sehen ist.

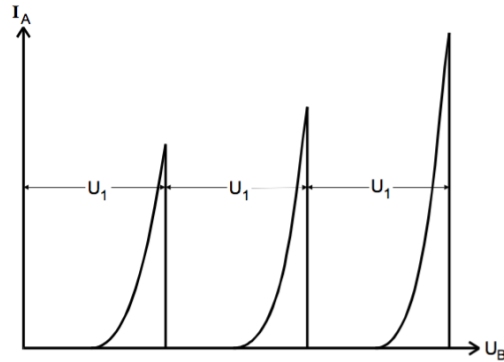


Abbildung 2: Idealisierte Franck-Hertz Kure [skript].

Der Abstand zweier Maxima beträgt hierbei stets

$$U_1 := \frac{1}{e_0}(E_1 - E_0) \quad (5)$$

2.3 Einflüsse auf die Franck-Hertz Kurve

Eine Idealisierte Franck-Hertz Kurve, wie sie in Abbildung ?? dargestellt ist, lässt sich in der Realität nicht beobachten, was an einer Reihe von Nebeneffekten liegt. Zum einen weicht die tatsächliche Beschleunigungsspannung U_B von der von Außen angelegten Spannung ab, da der Glühdraht und die Beschleunigungselektrode aus verschiedenen Materialien gefertigt werden und somit jeweils eine unterschiedliche Austrittsarbeit besitzen, wodurch ein Potentialgefälle entsteht, wie in Abbildung ?? dargestellt ist.

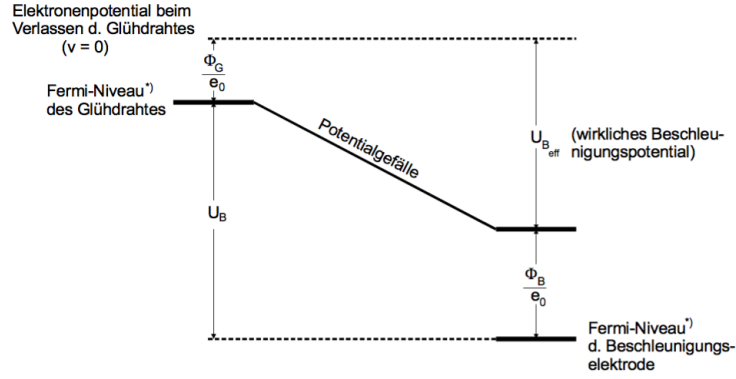


Abbildung 3: Potentialgefälle zwischen Glühdraht und Beschleunigungselektrode [skript].

Somit ergibt sich das effektive Beschleunigungspotential zu

$$U_{B,\text{eff}} = U_B - \frac{1}{e_0}(\phi_B - \phi_G), \quad (6)$$

wobei der Ausdruck

$$K := \frac{1}{e_0}(\phi_B - \phi_G) \quad (7)$$

als Kontaktpotential bezeichnet wird und die Verschiebung der Franck-Hertz Kurve angibt.

Zudem haben nicht alle Elektronen, welche aus dem Glühdraht austreten dieselbe Energie, wie zunächst angenommen, sondern unterliegen der Fermi-Dirac-Verteilung. Somit besitzen die Elektronen nach durchlaufen der Beschleunigungsspannung nicht eine feste Energie, sondern ein kontinuierliches Spektrum, weshalb sich nicht genau ein Punkt festlegen lässt, ab welchem inelastische Stöße stattfinden. Dadurch besitzt die Kurve einen nicht mehr ganz so starken Anstieg zum Maximum und fällt anschließend auch nicht auf Null, sondern auf ein Stromminimum ab. Außerdem wird die Kurve auch durch elastische Stöße im Bereich zwischen Beschleunigungselektrode und Auffängerelektrode abgeflacht und verbreitet, da diese Art von Stößen Richtungsänderungen verursachen, wodurch es zu einer Verteilung der Z-Komponente der Geschwindigkeit kommt. Ist die Z-Komponente nun zu klein, erreicht das Elektron nicht mehr die Auffängerelektrode und wird somit nicht mehr detektiert. Auch der Dampfdruck hat einen Einfluss auf die Gestalt der Franck-Hertz Kurve, denn die mittlere freie Weglänge \bar{w} sollte etwa um den Faktor 1000-4000 kleiner sein als der Abstand a zwischen Kathode und Beschleunigungselektrode. Diese ist über die Gleichung

$$\bar{w}[\text{cm}] = \frac{0,0029}{p_{\text{Sät}}} [\text{pinmbar}] \quad (8)$$

mit dem Sättigungsdruck verknüpft, welcher sich wiederum durch

$$p_{\text{Sät}}(T) = 5,5 \cdot 10^7 \exp(-6876/T) \quad (9)$$

ergibt. Wählt man die Temperatur so, dass $p_{\text{Sät}}$ zu klein ist, erreichen zuviele Elektronen die Auffängerelektrode, die nicht mit einem Hg-Atom zusammen gestoßen sind. Ist $p_{\text{Sät}}$ zu groß, finden zu viele elastische Stöße statt, sodass zu wenig Elektronen das Gegenfeld überwinden können.

3 Durchführung

Die Schaltung des Versuchs ist in Abbildung ?? dargestellt.

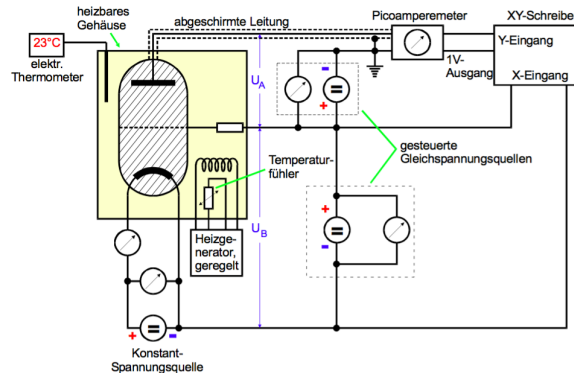


Abbildung 4: Versuchsaufbau und Schaltung [skript].

Die Aufzeichnung der Messergebnisse erfolgt über einen XY-Schreiber, welcher vor Versuchsbeginn zuerst noch justiert werden muss. Dazu wird das Millimeterpapier eingelegt und zunächst mit den Knöpfen "Zero" der Nullpunkt in die linke untere Ecke gelegt. Anschließend wird die Empfindlichkeit eingestellt, wobei in einem Unempfindlichen Bereich angefangen wird und dann langsam hochgedreht wird, um den Antriebsmotor nicht zu überlasten. Liegt die Maximalspannung der Messreihe für den X-Eingang schlussendlich am rechten Rand, muss die x-Achse nun noch geeicht werden, indem der gesamte Bereich ohne Y-Ausschlag einmal abgefahren wird und einige Zwischenpunkte markiert werden. Zur Messung der integralen Energieverteilung der Elektronen wird eine konstante Beschleunigungsspannung von $U_B = 11 \text{ V}$ eingestellt. Dann wird die Bremsspannung U_A mit dem X-Eingang und die proportionale Spannung zum Auffängerstrom I_A mit dem Y-Eingang des XY-Schreibers verbunden. Die Bremsspannung wird dann zeitproportional zwischen 0-11V variiert und der entsprechende Auffängerstrom gemessen. Eine Messung wird dabei bei etwa 20°C durchgeführt und eine im Bereich von etwa 140°C bis 160°C . Für die Aufnahme der Franck-Hertz Kurven wird U_A konstant auf etwa 1 V eingestellt. Der X-Eingang wird mit der Beschleunigungsspannung U_B verbunden und der Y-Eingang erneut mit der Spannung proportional zu I_A . Nach erneuter Justierung wird nun die Beschleunigungsspannung zwischen 0 und 60V variiert und dabei der zugehörige Auffängerstrom gemessen. Dabei sind etwa zwei oder drei Franck-Hertz Kurven im Temperatur Bereich zwischen 160°C und 200°C aufzuzeichnen. Schlussendlich wird noch die Ionsationsenergie von Hg gemessen, indem $U_A = -30 \text{ V}$ eingestellt wird und bei einer

Temperatur zwischen 100°C und 110°C erneut der Auffängerstrom in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung aufgezeichnet wird.

4 Auswertung

Test

5 Diskussion