

Versuch AP 4

**Inelastische Streuung von Elektronen an Atomen:
Das Franck-Hertz-Experiment (AP 4)**

4.16, TEX: 1. April 2016

I. Zielsetzung des Versuchs

Beim Versuch AP 4 werden Sie ein Experiment von Franck und Hertz aus dem Jahre 1914 wiederholen. Sie werden untersuchen, daß Quecksilberatome bei inelastischen Stößen mit Elektronen Energie aufnehmen können, wenn diese dem Energieunterschied zweier Anregungsniveaus des Quecksilbers entspricht. Dieses Experiment hatte eine große historische Bedeutung, weil damit in Absorption — neben der Emission diskreter Spektrallinien — gezeigt werden konnte, daß Atome nur diskrete Energiewerte annehmen können. Auch in der heutigen Physik spielen inelastische Streuexperimente, z.B. von Elektronen an Kernen, Protonen und Neutronen, eine wesentliche Rolle, da sie Aufschluß über die innere Struktur der Materie vermitteln. Neben der Anregung von Hg-Atomen werden Sie in diesem Versuch ebenfalls die die Anregung von Neonatomen beobachten.

II. Vorkenntnisse

Das Termschema von Atomen (vgl. z.B. Versuch AS1, Atomspektren).

Inelastische Streuung von Elektronen an Atomen.

Das Experiment von Franck und Hertz; Aufbau und Funktionsweise einer Franck-Hertz-Röhre.

Die Ionisationsenergie.

Austrittsarbeit und die Kontaktpotentialdifferenz (vgl. Versuch AP2, Photoeffekt).

Bedienungsanleitung des Frank-Hertz-Gerätes (siehe URL-Angabe im Text unten).

Literaturbeispiele / Lehrbücher

A. C. MELISSINOS: Experiments in Modern Physics, S. 8-18

H. HAKEN UND H. C. WOLF: Atom- und Quantenphysik, Kap. 8.8

Signatur Univ.-Bibliothek

91 UAP 1794

91 UHI 1535(6)

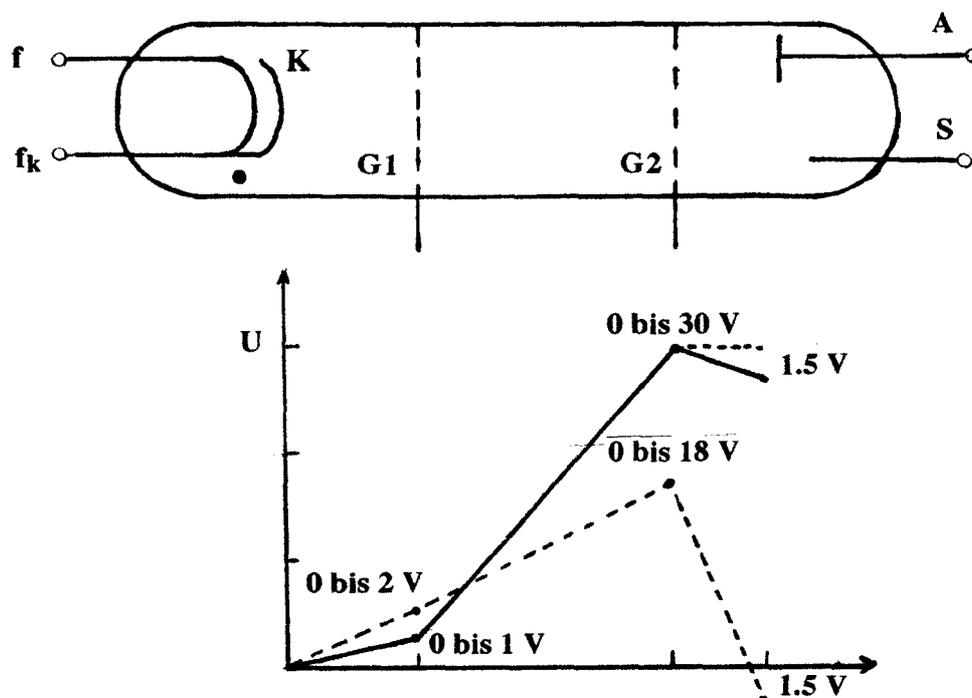
Originalliteratur:

J. FRANCK, G. HERTZ: Über die Zusammenstöße zwischen Elektronen und Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben, Verhandlungen der DPG, 16. Jahrgang, S. 457 (1914).

III. Versuchsprogramm

1. Anregung von Quecksilberatomen durch inelastische Elektronenstöße

Die folgende Abbildung vermittelt Ihnen einen Überblick über das Prinzip der Franck-Hertz-Röhre und den entsprechenden, für die Beobachtung der Anregungsenergien anzustrebenden Potentialverlauf. Die Röhre enthält einen Hg-Tropfen. Sie wird innerhalb einer metallischen Abschirmung in einem Rohrofen aufgeheizt, um Quecksilber zu verdampfen. Durch Wahl der Ofentemperatur bestimmen Sie den Dampfdruck und damit die Ausprägung der Absorptionsminima in der Franck-Hertz-Kurve.



Prinzipieller Aufbau der Franck-Hertz-Röhre (oben) sowie Potentialverlauf bei der Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve (unten, durchgezogen) bzw. der Ionisierungskennlinie (gestrichelt)

Die Glühkathode K wird über f und fk mit 6.3 V (Wechselspannung) geheizt. Die emittierten Elektronen werden zum Gitter G1 abgesaugt, das räumlich nahe bei K liegt. Der Potentialunterschied zwischen K und G1 bestimmt deshalb die resultierende Stromdichte. Zwischen den beiden Gittern G1 und G2 werden die abgesaugten Elektronen mit Spannungen bis zu 30 V beschleunigt. Mit einem zwischen die Anode A und eine Schutzterde S geschalteten Elektrometer (Amperemeter für Ströme im Nanoamperebereich) messen Sie den Strom derjenigen Elektronen, die die Gegenspannung von etwa 1.5 V zwischen G2 und A überwinden konnten.

Welche Bedeutung hat diese Bremsspannung für die Durchführung des Experimentes? Beachten Sie bei der zeitlichen Planung Ihrer Versuchsvorbereitungen, daß der stabile Betrieb des Rohrofens eine Vorheizzeit von etwa einer halben Stunde erfordert.

In unserem Versuch sind alle Geräte, die zum Betrieb und zur Messung erforderlich sind, in *einem* Gerät zusammengefaßt. Es handelt sich um den Franck-Hertz-Aufbau der Firma Leybold-Dicatic. Er beinhaltet:

- alle Spannungsversorgungen für die Röhre
- ein Nano-Amperemeter
- Versorgungsspannung für den Röhrenofen
- Anschluß eines Temperaturfühlers zur Regelung der Ofentemperatur
- Anschlüsse zur Aufnahme der Frank-Hertz-Kurve mit Oszilloskop oder Kennliniensreiber
- automatische Umschaltung zwischen Betrieb einer Quecksilber- oder Neonröhre

Eine detaillierte Beschreibung des Versuchsaufbaus finden Sie online, derzeit unter:

<http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/franck-hertz-555880d.pdf>

Interessant wegen der typ. Meßkurven ist auch die etwas ältere Bedienungsanleitung (Seite 9):

<http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/franck-hertz-555880de95.pdf>

Lesen Sie diese Anleitungen unbedingt bei der Versuchsvorbereitung! Sie enthält wichtige Informationen zur Bedienung der Geräte. Die ältere Bedienungsanleitung gibt zusätzliche Hinweise zur Optimierung der Betriebsparameter.

Nehmen Sie als erstes den Ofen in Betrieb. Schließen Sie ihn an das Steuergerät an (Steckdose auf der Rückseite). Die Ofentemperatur ist auf etwa 175 °C eingestellt, Sie können sich den Sollwert anzeigen lassen, wenn Sie den Wahlschalter (Frontplatte) auf ϑ_S stellen. In Stellung ϑ sehen Sie die Ist-Temperatur. **Vergessen Sie nicht, auch den Temperaturfühler anzuschließen (Buchse NiCr-Ni, Frontplatte) und achten Sie darauf, daß der Fühler im kleinen Loch des Kupferrohrs (Röhrenabschirmung) im Ofen steckt!**

Schließen Sie die Röhre an das Steuergerät an und schieben Sie die Röhre in den Kupferzylinder im Ofen. Der Kupferzylinder dient zur Abschirmung und muß geerdet werden. Schließen Sie die Erdungsleitung des Kupferzylinders (gelber Bananenstecker) an der Erdungsbuchse (Rückseite des Steuergerätes) an.

Schließen Sie an das Steuergerät ein Oszilloskop an, das Sie im x-y-Modus betreiben:

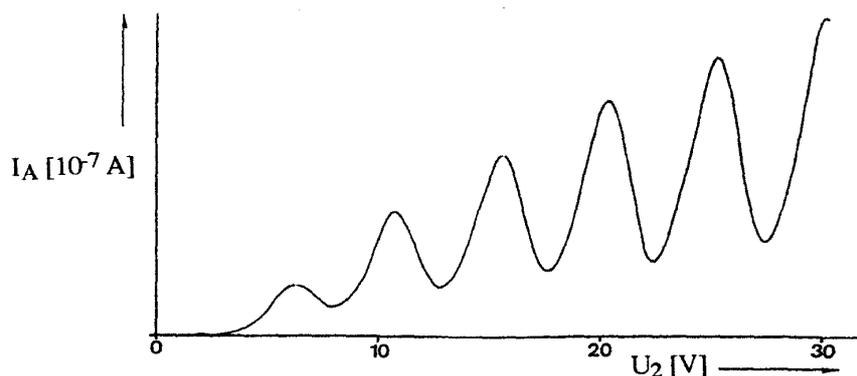
- Die Buchse $\frac{U_2}{10}$ liefert Ihnen die Beschleunigungsspannung U_2 , und zwar um den Faktor 10 reduziert. Geben Sie diese Spannung $\frac{U_2}{10}$ auf die x-Achse.
- Die Buchse $I_A \sim U_A$ liefert Ihnen den Anodenstrom (Auffängerstrom), und zwar entspricht ein U_A von 1 V einem Strom I_A von 1 nA. Der maximal anzeigbare Wert liegt bei etwa 12 V. Geben Sie diese Spannung U_A auf die y-Achse.

Wenn Sie das Steuergerät in den x-y-Modus schalten (der Modus-Wahlschalter ganz nach links in Stellung Sägezahnspannung), wird schnell wiederholend die Franck-Hertz-Kurve geschrieben und praktisch stehend auf dem Oszilloskop dargestellt.

Sie können nun (wenn der Ofen die Betriebstemperatur erreicht hat), die Spannungen U_1 und U_3 so anpassen, daß die Kurve optimal dargestellt wird, d.h. mit möglichst ausgeprägten Minima.

Beachten Sie aber: Zur Unterdrückung von Störsignalen (Brummspannungen usw.) ist im Stromverstärker für I_A ein Tiefpaßfilter eingebaut. Im x-y-Modus kann sich U_A nicht so schnell ändern, daß die Minima in voller Größe abgebildet werden. Versuchen Sie also zunächst, eine einigermaßen brauchbare Kurve zu bekommen. Danach stellen Sie den Modus-Wahlschalter ganz nach rechts in Stellung MAN (manuell), um die Kurve von Hand (Knopf U_2) zu durchfahren. Jetzt werden die Minima wesentlich deutlicher.

Typische Stromwerte liegen im Bereich von 1 bis 10 nA und sollten dem Verlauf der Franck-Hertz-Kurve entsprechen, siehe Abbildung.



Typischer Strom-Spannungs-Verlauf einer Franck-Hertz-Kurve für Quecksilber

Wenn der Strom schlagartig ansteigt, hat eine Gasentladung in der Röhre gezündet. In diesem Falle ist die Spannung U_2 sofort auf Null zu regeln und U_1 zu reduzieren. Suchen Sie die für Ihre Versuchsbedingungen optimalen Parameter (U_1 , U_3 ggf. Ofentemperatur) und nehmen Sie von Hand (Modus MAN) eine Franck-Hertz-Kurve auf.

Bestimmen Sie anhand geeigneter Kriterien die Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand der Quecksilberatome sowie die Kontaktpotentialdifferenz der Elektroden.

Diskutieren Sie Ihre Meßergebnisse mit Hilfe von Literaturvergleichen und Fehlerangaben.

2. Anregung von Neonatomen durch inelastische Elektronenstöße

Es stehen zusätzlich (momentan 2) Neon-Röhren zur Verfügung. Als Edelgas braucht Neon natürlich keine Ofenheizung und die Röhre ist nach wenigen Sekunden betriebsbereit, sobald die Glühkathode ihre Betriebstemperatur erreicht hat.

Schließen Sie die Neonröhre an das Steuergerät an. Die Röhre ist so gebaut, daß Sie die Anregung der Neonatome gut sehen können. Insbesondere sehen Sie je nach Größe von U_2 ein oder mehrere dünne orangeleuchtende Schichten vor der Anodenplatte.

Erklären Sie, wie diese Schichten entstehen. Bei welcher Spannung entsteht gerade eine zusätzliche Schicht? Was bedeutet das physikalisch?

Betrachten Sie auch hier zunächst die Kurve im x-y-Modus mit dem Oszilloskop und stellen Sie U_1 und U_3 optimal ein.

Nehmen Sie dann von Hand (Modus MAN) eine Franck-Hertz-Kurve für Neon auf.

Diskutieren Sie Ihre Meßergebnisse mit Hilfe von Literaturvergleichen und Fehlerangaben.