

## VERSUCH 22

# DER FRANCK-HERTZ-VERSUCH

*Praktikant:*

Tobias Wegener

Christian Gass

Alexander Osterkorn

*E-Mail:*

tobias.wegener@stud.uni-goettingen.de

christian.gass@stud.uni-goettingen.de

a.osterkorn@stud.uni-goettingen.de

*Tutor:*

Danny Schwarzbach

Gruppe:

6

Durchgeführt am:

7.3.2014

*Protokoll abgegeben:*

13.3.2014

Testiert:

The following information was obtained from the review of the records of the Department of Health and Human Services, Office of Inspector General, Washington, D.C., dated February 1, 1978:

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>2</b>
2.1	Bohrsches Atommodell . . . . .	2
2.2	Franck-Hertz-Versuch . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
3.1	Aufbau . . . . .	4
3.2	Durchführung . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1	Franck-Hertz-Kurve . . . . .	5
4.2	Bestimmung der Maxima . . . . .	5
4.3	Bestimmung der Ne-Anregungsenergie . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>9</b>

# 1 Einleitung

Der Franck-Hertz-Versuch liefert eine wichtige experimentelle Bestätigung von Grundannahmen der Quantenphysik, insbesondere die diskreten Energieniveaus von Atomelektronen.

Er gehört zu den schönsten und bekanntesten Versuchen innerhalb der Physik.

## 2 Theorie

### 2.1 Bohrsches Atommodell

Im *Bohrschen Atommodell* stellt man sich die Elektronen wie negativ geladene Planeten vor, die um den positiv geladenen Kern kreisen.

Das führt zum Problem, dass in der klassischen Vorstellung beschleunigte Ladungen Energie abstrahlen und die Elektronen somit mit der Zeit aus Energiemangel in den Kern stürzen müssten. Da die Materie aber stabil ist, führt man einige Zusatzforderungen an dieses Modell ein, die *Bohrschen Postulate*. Bedeutsam für diesen Versuch sind [Ott03, S. 258f]

1. Ein Elektron bewegt sich nur auf bestimmten diskreten Bahnen um den Atomkern, auf denen es keine Energie abstrahlt. Diese Zustände sind also *stationär* und entsprechen gewissen Energien  $E_i$ .
2. Ein Elektron kann von einem stationären Zustand in einen tieferen wechseln. Dabei wird die Differenz der Energieniveaus als elektromagnetische Strahlung der Frequenz  $\nu$  abgegeben. Es gilt  $E_i - E_j = h\nu$  mit dem *Planckschen Wirkungsquantum*  $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  J s.

Andererseits kann ein Elektron auch einen höheren stationären Zustand erreichen, wenn die benötigte Strahlungsenergie  $\Delta E$  in Form von EM-Strahlung zugeführt wurde. Auch hier gilt

$$\Delta E = E_i - E_j = h\nu \quad \text{mit} \quad c = \nu \cdot \lambda. \quad (1)$$

Die benötigte Energie kann dabei auch von schnellen Elektronen aufgebracht werden, die mit dem Atom einen Stoß durchführen. [Mes10, S. 622]

### 2.2 Franck-Hertz-Versuch

In einer mit (hier) Neon-Dampf gefüllten Röhre treten Elektronen aus einem Heizdraht (*Heizspannung*  $U_H$ ) aus und werden durch eine Beschleunigungsspannung  $U_1$  in Richtung einer Anode beschleunigt, an die eine kleine negative

*Bremsspannung*  $U_2$  angelegt wird.

Dadurch erreichen nur Elektronen mit einer gewissen Mindestenergie die Anode. Der Strom, den die eintreffenden Elektronen an der Anode verursachen („Auffängerstrom“) kann gemessen werden. Weiter belegt man noch nahe des Heizdrahtes ein Metallgitter mit einer *Raumladungsspannung*  $U_3$ , die Elektronen zunächst von der Anode „absaugt“, um den Austritt weiterer Elektronen aus dem Glühdraht zu ermöglichen.

Elektronen, die mit einer Spannung  $U$  beschleunigt werden, haben die Energie

$$E = e \cdot U \quad (2)$$

mit der Elementarladung  $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C. [Mes10, vord. Umschlag]

Interessant wird diese Anordnung dadurch, dass Elektronen auch Neon-Atome anregen können, wenn sie genügend Energie dazu haben. Dann überträgt das schnelle Elektron gerade so viel seiner kinetischen Energie auf das Gasatom, dass sich eines der Atom-Elektronen in einen höheren („angeregten“) Zustand begeben kann. Es gilt

$$e \cdot U = h \cdot \nu \quad (3)$$

Das freie Elektron bewegt sich nun mit verminderter elektrischer Energie und wird, je nach Anfangsenergie, eventuell nicht mehr die Bremsspannung an der Anode überwinden. Der Auffängerstrom sollte ab der Beschleunigungsspannung abnehmen, ab der genug Energie zur Verfügung steht, um Atomelektronen anzuregen. Dann wird er so lange wieder ansteigen, bis ein Elektron ein zweites Mal mit einem Atom stoßen und ein gebundenes Elektron anregen kann, usw. Der Auffängerstrom in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung bildet die charakteristische *Franck-Hertz-Kurve*.

Wenn ein Elektron im angeregten Zustand auf den alten Grundzustand zurückkehrt (*spontane Emission*), emittiert es wieder die Strahlung aus Glg. 1, die zu charakteristischen Leuchterscheinungen führt.

## 3 Durchführung

### 3.1 Aufbau

Der Versuch ist mehr oder weniger vormontiert. Es gibt eine Steuereinheit, die mit zwei Kabeln an der Neon-Röhre befestigt wird. Die dazugehörigen Anschlüsse sind

- $U_H$  zur Steuerung der Heizspannung,
- $I_A$  zur Messung des Anodenstroms.

An die Steuereinheit wird weiter ein Multimeter angeschlossen, mit dem die Spannung  $U_A$  über der Röhren-Anode gemessen werden kann. Durch Bedienelemente stellt man alle Spannungen ein wie auf der Neon-Röhre beschriftet:

- Anodenbremsspannung  $U_2 = 8.0 \text{ V}$
- Raumladungsspannung  $U_3 = 3.0 \text{ V}$
- Heizspannung  $U_H = 8.5 \text{ V}$
- Anfängliche Beschleunigungsspannung  $U_1 = 0.0 \text{ V}$

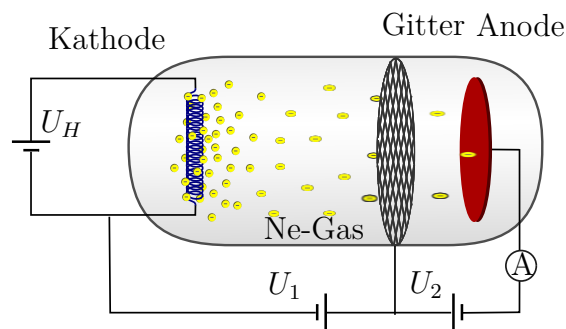


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus einer Franck-Hertz-Röhre

### 3.2 Ablauf der Messung

Die Beschleunigungsspannung  $U_1$  wird meist in  $0.5 \text{ V}$ -, in der Nähe eines Maximums in  $0.2 \text{ V}$ -Schritten, erhöht und der jeweilige Spannungswert für  $U_A$  vom Multimeter notiert. Das Verfahren wird so lange fortgeführt, bis der Strom so stark ansteigt, dass ein Kurzschluss in der Röhre zu befürchten ist. Die Leuchterscheinungen in der Röhre werden beobachtet und fotografiert.

## 4 Auswertung

### 4.1 Franck-Hertz-Kurve

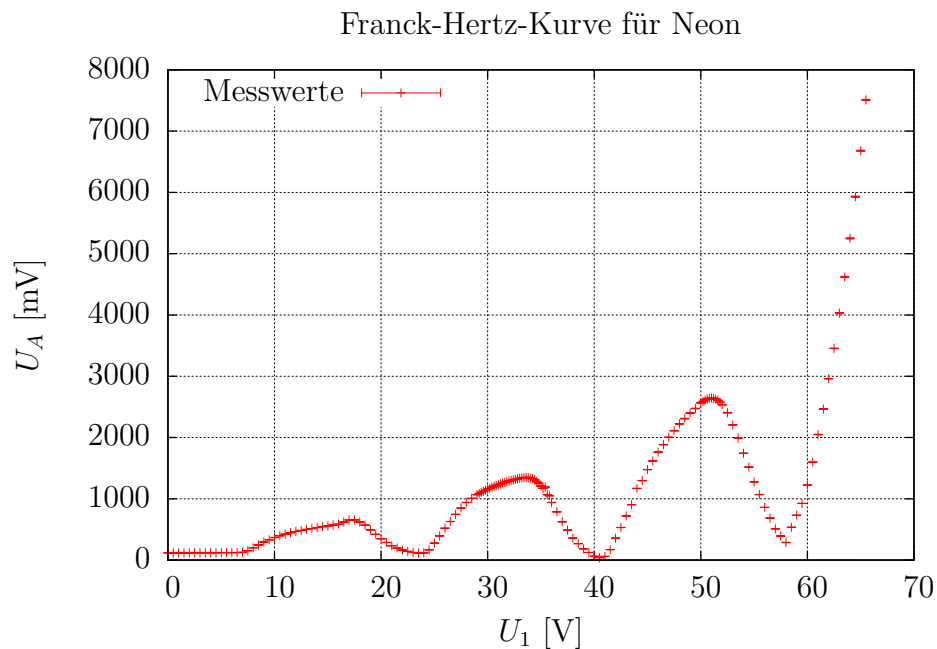


Abbildung 2: Aufgetragen ist die Spannung an der Anode  $U_A$  gegen die Beschleunigungsspannung  $U_1$

Beim Plot der Franck-Hertz-Kurve in Abb. 2 wurde ein geschätzter statistischer Messfehler berücksichtigt, da bei eingestellter Beschleunigungsspannung das Multimeter meist im Bereich von einigen Millivolt geschwankt hat.

Ein im Prinzip noch einzuberechnender systematischer Multimeterfehler wurde gegenüber diesem Schwankungsfehler vernachlässigt.

### 4.2 Bestimmung der Maxima

An die auf- bzw. absteigenden Flanken der Maxima werden Geraden mit Gnuplot gefittet. Dabei wird alles als Bestandteil der Flanke angesehen, was zwischen den beiden extremen Messwerten liegt.

Die in Abb. 3 eingezeichneten Geraden genügen Gleichungen der Form  $y = m_i \cdot x + c_i$ , i-tes Maximum.

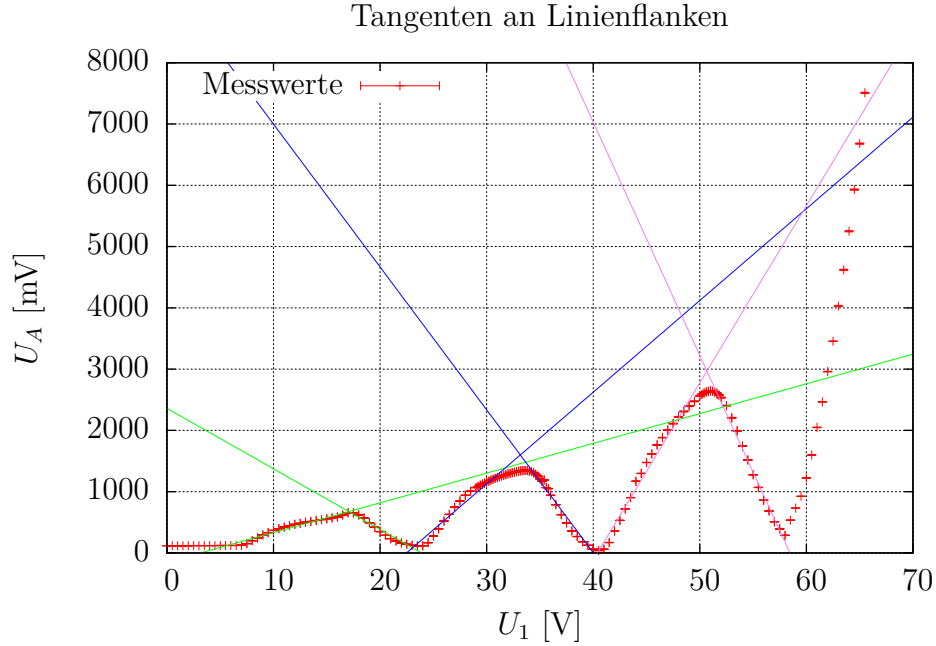


Abbildung 3: Aufgetragen ist dieselbe Franck-Hertz-Kurve, wie in Abb. 2, zusammen mit den Tangenten an den auf- und absteigenden Flanken der Maxima und deren Schnittpunkten.

Den Schnittpunkt  $x_s$  berechnet man durch Gleichsetzen, z.B. für  $i = 1$ :

$$m_1 \cdot x_s + c_1 = m_2 \cdot x_s + c_2 \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow x_s = \frac{c_2 - c_1}{m_1 - m_2} \quad (5)$$

mit der Fehlerfortpflanzung

$$\sigma_{x_s}^2 = \left( \frac{\sigma_{c_1}}{m_1 - m_2} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{c_2}}{m_1 - m_2} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m_1}(c_2 - c_1)}{(m_1 - m_2)^2} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{m_2}(c_2 - c_1)}{(m_1 - m_2)^2} \right)^2.$$

Tabelle 1 zeigt die Werte, die Gnuplot für die jeweiligen Geraden berechnet. Daraus ergeben sich mit obiger Formel die x-Positionen der Maxima in Tab. 2.

### 4.3 Bestimmung der Ne-Anregungsenergie

Die Anregungsenergie eines Neon-Atoms (bzw -Elektrons) sollte nach den Ausführungen im Theorieteil gerade dem x-Achsen-Abstand  $\Delta U$  zweier benachbarter Maxima entsprechen. Mit den Werten in Tab. 2 erhält man

$i =$	$m_i$	$\sigma_{m_i}$	$c_i$ [V]	$\sigma_{c_i}$ [V]
1	0.049	0.003	-0.153	0.031
2	-0.099	0.007	2.4	0.2
3	0.15	0.0071	-3.37	0.21
4	-0.23	0.01	9.3	0.4
5	0.29	0.012	-11.67	0.51
6	-0.38	0.01	22.3	0.6

Tabelle 1: Übersicht Ergebnisse linearer Gnuplot-Fit

Maximum Nr.	$x_s$ [V]	$\sigma_{x_s}$ [V]
1	17	2
2	33	2
3	51	2

Tabelle 2: x-Koordinaten der Maxima, berechnet nach dem Gnuplot-Fit

$\Delta U = (16 \pm 3) \text{ V}$  für die ersten beiden,  $\Delta U = (18 \pm 3) \text{ V}$  für die letzten beiden Maxima. Im gewichteten Mittel ergibt das  $\Delta U = (17 \pm 2) \text{ V}$ . Mit Glg. 3 bestimmen wir nun die dazugehörige Wellenlänge:

$$\nu = \frac{e \cdot \Delta U}{h} = \frac{c}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{c \cdot h}{e \cdot \Delta U} = (73 \pm 9) \text{ nm}$$

Die dazugehörige Fehlerfortpflanzung:

$$\sigma_\lambda = \frac{c \cdot h}{e \cdot (\Delta U)^2} \sigma_{\Delta U}$$

Im Termschema (Energieniveau-Schema) [14, S. 6] (Ja, es ist lahm, das von einer anderen Praktikumsseite zu verlinken ...) dürfte die berechnete Energie dem Übergang vom Grundzustand in die Zustände  $2p^5 3p^3 S_1$  oder  $2p^5 3p^3 P_0$  entsprechen (was auch immer das im Detail bedeutet...).

Man erkennt am Termschema auch, dass die Rückkehr des Elektrons in den Grundzustand nicht unmittelbar, sondern über Zwischenstufen erfolgt. Die berechnete Strahlung mit Wellenlänge von  $(73 \pm 9) \text{ nm}$  wird nicht direkt abgegeben. Dafür wird beim Übergang von einem der  $2p^5 3p$ -Niveaus auf eines



der  $2p^53s$ -Niveaus Energie im Bereich von 1 eV bis 2 eV abgegeben, was unter anderem Wellenlängen im rot-orangen Bereich entspricht.

Abb. 4 zeigt ein Foto der beobachtbaren Leuchterscheinungen. Die Bereiche roten Leuchtens sind schmal und füllen die Breite der Röhre aus. Sie entsprechen dem Abstand vom Glühdraht, in dem ein Elektron durch die Beschleunigung so viel Energie gesammelt hat, dass diese bei einem inelastischen Stoß mit einem Neon-Atom ausreicht, es anzuregen. So entsprechen den drei Maxima in Abb. 2 genau die drei leuchtenden Ringe im Foto.

Bei noch höherer Beschleunigungsspannung kommt es zum Stromüberschlag („Kurzschluss“), was Messung und Leuchterscheinungen vorläufig beendet.

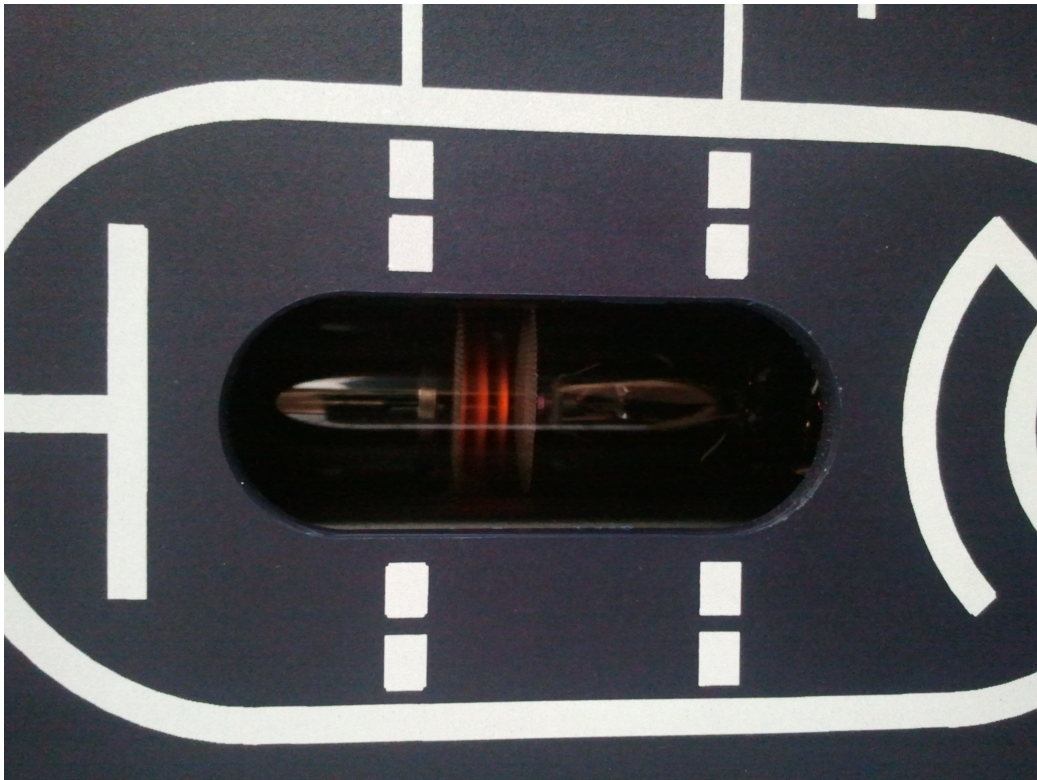


Abbildung 4: Herrliche Ansicht der Leuchterscheinungen in der Franck-Hertz-Röhre

## 5 Diskussion

Das in Abb. 2 gezeichnete Diagramm entspricht gut den Erwartungen an eine Franck-Hertz-Kurve.

Möglich wäre noch gewesen, den systematischen Fehler der Multimetermessung zu berücksichtigen, insbesondere da sich der Multimetermessbereich während der Durchführung der Messung mehrfach geändert hat. Der systematische Fehler ist aber zumeist kleiner als der geschätzte statistische Fehler, außer bei den sehr hohen  $U_A$ -Werten (ca.  $U_A > 3000$ ). Diese Werte sind für die Bestimmung der Maxima allerdings uninteressant.

Die verwendete Methode zur Ermittlung der x-Achsen-Position der Maxima hat zum einen den Vorteil, dass sie bei „tafelbergartigen“ Extrema einen besseren Anhaltspunkt zur Positionsbestimmung bietet als Schätzen. Zum anderen interpoliert sie zwischen der recht groben Rasterung von hier 0.2 V-Schritten.

Bei der vorliegenden Datenlage hätten die entsprechenden Werte auch durch scharfes Hinschauen recht genau bestimmt werden können.

Der Gnuplot-Fit liefert für Steigungen und y-Achsenabschnitte relative Fehler, die meist unter 10% liegen, was akzeptabel ist. Diesen Wert hätte man eventuell durch ein stärkeres Kriterium, welche Datenpunkte zur Flanke gehören, verbessern können.

In der vorliegenden Auswertung wurden alle Datenpunkte zur Flanke gezählt, die zwischen den jeweiligen Messwert-Extrema liegen. Das ist unter Umständen kein optimales Kriterium, da der Kurvenverlauf nahe der Extrema sicher nicht linear ist.

Die  $x_s$ -Werte in Tab. 1 kommen mit relativen Fehlern  $< 12\%$ .

Bei Differenzbildung akkumulieren sich diese Fehler, was die erhöhten relativen Fehler für die beiden  $\Delta U$ -Werte erklärt (11% bzw. 13%), die sich wiederum im Fehler für die emittierte Wellenlänge wiederfindet, relativer Fehler 12%. Das ist zwar recht viel für ein Endergebnis, lässt aber die qualitative Aussage „Kein sichtbares Licht“ auf jeden Fall zu.

Bei dem Energieniveau-Schema ist es schade, dass hier Wissen aus der Atomphysik vorausgesetzt wird, das aber zur Zeit des Praktikums noch nicht unbedingt vorhanden ist.

## Literatur

- [14] *FH Franck-Hertz-Versuch*. 12. März 2014. URL: [www.pit.physik.uni-tuebingen.de/praktikum/anfaenger/FH.pdf](http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/praktikum/anfaenger/FH.pdf).
- [Mes10] Dieter Meschede. *Gerthsen Physik*. 24. Aufl. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [Ott03] Ernst Wilhelm Otten. *Repetitorium Experimentalphysik: für Vordiplom und Zwischenprüfung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.