

## Praktikum Klassische Physik II

# Versuchsvorbereitung:

## Franck-Hertz-Versuch

(P2-53,54,55)

Christian Buntin, Jingfan Ye

*Gruppe Mo-11*

Karlsruhe, 19. April 2010

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Bestimmung der kleinsten Anregungsenergie von Quecksilber</b>	<b>2</b>
1.1	Aufbau der Schaltung mit Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre . . . . .	2
1.2	Messung der niedrigsten beobachtbaren Anregungsenergie und Bestimmung der Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode . . . . .	3
1.3	Bestimmung der Anodenstromkurve . . . . .	4
1.4	Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber . . . . .	4
1.5	Spektroskopische Betrachtung der Emissionslinien bei Gasentladung . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Bestimmung der Energie der nächsthöheren Anregung</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Bestimmung der mittleren Energie der hauptsächlichen Anregung von Neon</b>	<b>5</b>

## Einleitung

Dieser Versuch dient zur Stützung des Bohrschen Atommodells. Dieses besagt, dass die Elektronen den Atomkern auf Bahnen mit diskreten Energieniveaus umkreisen. Daher werden hier Elektronen mit bestimmter Energie auf Quecksilberatome geschossen und die nach dem Stoßprozess verbleibende Energie der Elektronen untersucht.

## 1 Bestimmung der kleinsten Anregungsenergie von Quecksilber

### 1.1 Aufbau der Schaltung mit Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre

Die Franck-Hertz-Röhre (Abbildung 1) besteht aus einer Elektronenröhre, welche mit Quecksilberdampf gefüllt ist. In dieser Röhre befinden sich (in dieser Reihenfolge) die Glühkathode  $K$ , ein grobmaschiges Hilfsgitter  $G_1$  nahe der Kathode zur Regulierung des Elektronenstroms, ein feinmaschiges Gitternetz  $G_2$  zum Beschleunigen der Elektronen als Anode sowie ein Auffänger  $A$  zum Messen der ankommenden Elektronen.

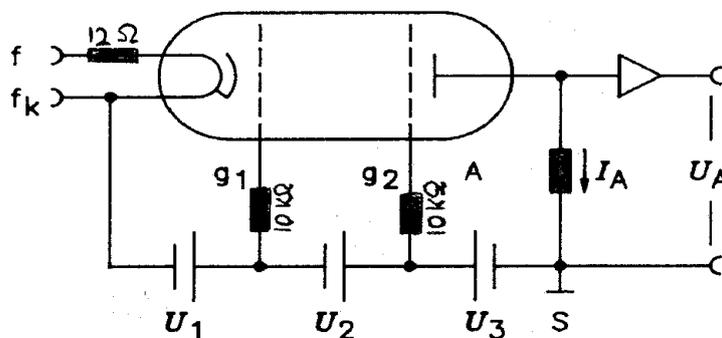


Abbildung 1: Schaltbild der Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre

- Die Anschlüsse  $f$  und  $f_K$  dienen zum Heizen der Kathode, damit diese Elektronen emittiert.
- Mit der Spannung  $U_1$  zwischen  $f_k$  und  $G_1$  ( $G_1$  positiver als  $f_K$ ) kann der Elektronenstrom gesteuert werden. Bei einer höheren Spannung steigt auch die elektrische Feldstärke in Kathodennähe, es wird mehr Raumladung (in Form von Elektronen) in Kathodennähe zum Gitter angezogen, statt dass diese sich statistisch im Raum verteilen. Zudem sorgt das Raumladungsgitter dafür, dass sich keine statische Raumladung in Kathodennähe ausbildet, welche verhindert, dass weitere Elektronen sich von der Kathode lösen.
- Die Spannung  $U_2$  zwischen den beiden Gittern  $G_1$  und  $G_2$  dient zum Beschleunigen der Elektronen auf ein gewünschtes Energielevel, welches mit der angelegten Spannung bestimmt wird.
- Die beiden  $10\text{ k}\Omega$  Widerstände vor den Gittern dienen zur Stromflussbegrenzung im Falle des Zündens von Gasentladungen.
- Die Spannung  $U_3$  erzeugt ein Gegenfeld, welches die Elektronen, deren kinetische Energie zu gering ist, um das elektrische Feld zu überwinden, ausfiltert.
- Der Auffangstrom  $I_A$  wird über den Spannungsabfall an einem hochohmigen bekannten Widerstand mittels eines Spannungsverstärkers bestimmt.

## 1.2 Messung der niedrigsten beobachtbaren Anregungsenergie und Bestimmung der Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode

Zunächst werden die günstigsten Betriebsbedingungen für den Versuch gesucht.

Die Kathodenheizung sollte so eingestellt werden, dass möglichst viele freie Elektronen aus der Kathode austreten. Je wärmer die Kathode ist, desto mehr Elektronen treten aus und desto größer wird somit am Ende der Auffangstrom. Dieser hängt auch von der Spannung am Raumladungsgitter ab. Je positiver diese ist, desto größer wird der Elektronenstrom.

Von der Gegenspannung hängt ab, wie groß die Schwelle ist, ab der die Elektronen am Auffänger ankommen. Wenn diese zu groß ist, kommen keine Elektronen an und wenn diese zu gering ist, kommen alle Elektronen an, sodass beidesmal keine Franck-Hertz-Form erkennbar ist. Daher muss die optimale Gegenspannung gefunden werden.

In der Frank-Hertz-Röhre liegt ein Gleichgewicht zwischen der flüssigen und der gasförmigen Phase des Quecksilbers vor. Bei niedriger Temperatur ist das Gleichgewicht auf der Seite der flüssigen Phase, wodurch weniger Quecksilberdampf im Stoßraum vorhanden ist. Bei höherer Temperatur liegt das Gleichgewicht auf der Seite des gasförmigen Zustands. Es sind also mehr Quecksilberatome in der Röhre enthalten, dadurch nimmt die mittlere freie Weglänge der Elektronen ab und der Energieverlust durch viele Stöße schnell zu, was die Messungen verfälscht. Daher ist auch die optimale Temperatur für diesen Versuch zu finden.

Mit den optimalen Parametern  $T$  (Röhrentemperatur),  $U_1$  (Raumgitterspannung),  $U_2$  (Anodenspannung) und  $U_3$  (Gegenfeldspannung) wird nun eine möglichst optimale Franck-Hertz-Kurve mittels des Speicheroszilloskopes aufgenommen.

### Zustandekommen der Franck-Hertz-Kurve

Die aufgenommene kinetische Energie der Elektronen verhält sich proportional zur angelegten Anodenspannung. Bei geringer Beschleunigungsspannung am Anfang reicht die Energie nur für elastische Stöße, wobei fast keine Energie übertragen wird. Je höher die Anodenspannung ist, desto höher ist also auch die Energie der Elektronen. Damit steigt der Anteil derjenigen Elektronen, die das Gegenfeld überwinden können und damit auch der Auffängerstrom.

Wenn die Elektronen mehr Energie als die kleinste Anregungsenergie des Quecksilbers (4,89 eV) besitzen, so können sie inelastisch mit den Quecksilberatomen stoßen. Sie übertragen dabei diesen Teil ihrer Energie zur Anregung des Quecksilbers und bewegen sich mit der Restenergie weiter. Oft bleibt nicht mehr genug Energie übrig, um das Gegenfeld bis zum Auffänger zu überwinden. Die Wahrscheinlichkeit eines inelastischen Stoßes steigt mit der Anodenspannung. Der Auffangstrom steigt trotz höherer Anodenspannung langsamer, erreicht einen lokalen Hochpunkt und nimmt schließlich sogar ab. Bei weiter steigender Spannung schaffen es einige Elektronen wieder, das Gegenfeld zu überwinden, weshalb der Auffangstrom nach einem Tiefpunkt wieder ansteigt. Die Elektronen können natürlich auch so beschleunigt werden, dass sie Energien besitzen, um mehrere inelastische Stöße durchzuführen. Deshalb lässt sich dieser eben beschriebene Anstieg und Abfall des Auffangstromes mehrmals beobachten.

## Auswertung

Ansich entspricht die Energie der niedrigsten beobachtbaren Anregung der Beschleunigungsspannung, ab der die Steigung der Franck-Hertz-Kurve zum ersten mal wieder abnimmt. Da dieser Punkt aber einerseits aus der Kurve nur schwer abzulesen ist und andererseits auch Effekte wie Thermo- und Kontaktspannungen, welche aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen und Materialien im Aufbau auftreten, zu berücksichtigen sind, werden die annähernd konstanten Differenzen der Maxima zur Auswertung herangezogen.

### 1.3 Bestimmung der Anodenstromkurve

Es wird bei etwa 150 °C der Anodenstrom  $I_{G_2}$  in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung  $U_{G_2}$  gemessen.

Für diesen Strom gilt:

$$I_{G_2} \approx \lambda(U_{G_2})^{\frac{3}{2}}$$

mit der mittleren freien Weglänge

$$\lambda = \frac{1}{n\sigma} = \frac{kT}{p\sigma}$$

mit der Boltzmann-Konstanten  $k$ , der Temperatur  $T$ , dem Wirkungsquerschnitt  $\sigma$  und dem Dampfdruck  $p$ .

Da hier der Strom von der Anode und nicht vom Auffänger gemessen wird, mussten die Elektronen kein Gegenfeld überwinden. Somit fließen hier alle Elektronen von der Kathode – abgesehen von den wenigen, die bis zum Auffänger kommen – ab. Daher zeigt sich hier keine Franck-Hertz-Form.

### 1.4 Bestimmung der Ionisierungsarbeit von Quecksilber

Nun wird mit dem Multimeter der Anodenstrom gemessen, während das Speicheroszilloskop den Auffängerstrom über die Beschleunigungsspannung aufträgt.

Um die Quecksilberatome zu ionisieren, müssen die Elektronen auf einmal die Ionisierungsenergie auf ein Quecksilberatom übertragen (ca. 10,44 eV). Sie sollten also bereits die benötigte Energie besitzen, bevor sie auf die Quecksilberatome treffen. Da diese kinetische Energie aber im Beschleunigungsfeld aufgenommen wird, kann es sein, dass die Elektronen schon auf Quecksilberatome auftreffen, bevor sie die benötigte Energie erhalten haben. Sie führen dabei aber lediglich elastische oder inelastische Stöße aus. Die Energie aus der restlichen Beschleunigung reicht dann nicht mehr für eine Ionisierung aus.

Um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass die Elektronen bereits beim ersten Stoß genug Energie haben, wird das Raumladungsgitter, welches sich direkt vor der Heizkathode befindet, als Beschleunigungsgitter verwendet. Damit sinkt die Beschleunigungsstrecke. Zugleich erniedrigt man die Temperatur in der Röhre, damit die mittlere freie Weglänge steigt. Somit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Elektronen vor dem Auftreffen auf ein erstes Quecksilberatom bereits die Ionisierungsenergie aufgenommen haben.

Das ursprüngliche Anodengitter wird auf das gleiche Potenzial wie das Raumladungsgitter gebracht, sodass der Raum zwischen beiden Gittern nur als Stoßraum dient.

Hat man nun die Ionisierung der Quecksilberatome geschafft, setzen die positiv geladenen Ionen die Raumladungsdichte an der Kathode herab. Daher zeigt sich ab diesem Punkt ein steiler Anstieg des Anodenstroms. Da dies auch am Auffänger geschieht, bewegen sich die Elektronen von diesem zum Gitter  $G_2$  entgegen der ursprünglichen Elektronenbewegungsrichtung. Durch Messung dieses Punktes erhält man somit die Ionisierungsarbeit von Quecksilber.

### 1.5 Spektroskopische Betrachtung der Emissionslinien bei Gasentladung

Da bei der Ionisierung der Quecksilberatome die Elektronen ihre Orbitale verlassen, fallen auch wieder welche auf diese und solche niedrigerer Energieniveaus zurück. Dabei emittieren sie Photonen, deren Wellenlänge der Energiedifferenz der Energieniveaus entspricht. Diese sollen spektroskopisch untersucht werden.

Dabei können im Spektroskop mehrere Linien verschiedener Wellenlängen beobachtet werden: 405 nm, 408 nm und 436 nm: violett; 493 nm: blau; 546 nm: grün; 579 nm: gelb.

Die 10 k $\Omega$ -Widerstände begrenzen dabei den Stromfluss, womit eine Beschädigung der Röhre verhindert wird. Da die Ströme in den vorherigen Aufgaben sehr gering waren, war der Spannungsabfall an diesen Widerständen vernachlässigbar.

## 2 Bestimmung der Energie der nächsthöheren Anregung

Um Anregungen der nächsten Höhe zu erreichen, wird die Röhre wie in Aufgabe 1.4 verwendet, damit die Elektronen zu Beginn möglichst viel Energie erhalten und der Stoßraum möglichst groß ist. Damit allerdings keine Gasentladung zündet, wird der Heizstrom der Kathode verringert und der Elektronenstrom abnimmt.

Die Franck-Hertz-Kurve zeigt hier Linearkombinationen der beiden niedrigsten Anregungsenergien. Durch Untersuchung dieser Kurve lässt sich somit die nächsthöhere Anregungsenergie abschätzen.

## 3 Bestimmung der mittleren Energie der hauptsächlichen Anregung von Neon

Um die mittlere Energie der hauptsächlichen Anregung von Neon zu bestimmen, wird eine Röhre ähnlich wie in Aufgabe 1.2 verwendet, die allerdings mit Neon gefüllt ist. Da Neon unter Standardbedingungen komplett gasförmig ist, ist ein Aufheizen der Röhre wie bei Quecksilber unnötig. Bei höherer Temperatur würde vermutlich der Fehler aufgrund von häufigeren elastischen Stößen sogar ansteigen. Die Elektronen würden dann häufiger abgelenkt werden, sodass sie dann zwar genug Energie haben könnten, das Gegenfeld zu durchlaufen, die Bewegungsrichtung aber nicht stimmt, sodass sie das Gegenfeld nicht erreichen können.

Es wird analog zur Aufgabe 1.2 verfahren und eine Franck-Hertz-Kurve aufgenommen, aus welcher die mittlere Energie zur hauptsächlichen Anregungsenergie ermittelt wird.

Der Unterschied zur Messung mit Quecksilberatomen besteht darin, dass mehrere Anregungsniveaus bei Neon in einem Bereich von 0,5 eV so nahe beieinander liegen, dass man sie nicht mehr voneinander unterscheiden kann. Deshalb wird hier nur eine „mittlere“ Anregungsenergie

gemessen. Zudem kann man die Anregung der Atome hier mit dem Auge wahrnehmen, da beim Zurückfallen der angeregten Elektronen in den Grundzustand rotes Licht emittiert wird.

Ist die Beschleunigungsspannung also hoch genug, um das Neon anzuregen, sollte man eine Leuchtschicht erkennen. Diese verlagert sich mit steigender Anodenspannung immer mehr in Richtung der Kathode, da die Elektronen bei höherer Spannung früher die nötige Energie erreichen. Reicht die Energie für zwei Anregungen aus, sollte auch eine zweite Leuchtschicht zu erkennen sein.