

# AP3 Versuch: FHV

Kurs 3 Gruppe 1,  
Team 3 - 1:  
Frowin Wild,  
Delia Thalmayer

10. März 2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Zusätzliche Überlegungen</b>	<b>5</b>
3.1	Elastischer und inelastischer Stoß . . . . .	5
3.2	Warum kann ein Elektron mit einer Energie $< 4.9\text{eV}$ nur einen elastischen Stoß mit einem Atom machen? . . . . .	5
3.3	Warum kann ein Elektron bei einem elastischen Stoß mit einem Atom nur wenig Energie übertragen? . . . . .	5
3.4	Wie gibt das durch einen inelastischen Stoß angeregte Atom seine Energie ab? . . . . .	6
3.5	Welcher Unterschied besteht zwischen der Anregung eines Atoms durch Elektronen bzw. Lichtquanten? . . . . .	6
3.6	Warum wird zwischen Auffängerelektrode und Anodengitter eine Bremsspannung benötigt? . . . . .	6
3.7	Vergleich einer Franck-Hertz-Röhre und einer Leuchtstofflampe . . . . .	6
3.8	Unterschied zur Röntgenröhre . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Experimentelles Vorgehen</b>	<b>7</b>

<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Quellen</b>	<b>9</b>

## 1 Einleitung

Der Frank Hertz Versuch ist vermutlich eines der wichtigsten Experimente in der Geschichte der Atomphysik, da mithilfe dieses Experiments erstmals das Bohrsche Atommodell bestätigt werden konnte. Insbesondere zeigt man, dass sich Elektronen auf diskreten Bahnen um den Atomkern bewegen. Im weiteren dieser Ausarbeitung wollen wir dies mithilfe des Frank Hertz Versuches zeigen.

## 2 Theorie

Laut dem Bohrschen Atommodell bewegen sich Elektronen um diskrete Kreisbahnen um den Atomkern. Es sind nur solche Bahnen erlaubt, bei der der Bahndrehimpuls  $L$  einem ganzzahligen Vielfachen  $n$  vom Planckschen Wirkungsquantum  $\hbar = h/2\pi$  ist. Als Gleichung ausgedrückt gilt also:

$$L = m \cdot v \cdot r = n \cdot \hbar \quad (1)$$

Dabei wurde die Masse  $m$ , der Bahnradius  $r$  sowie die Bahngeschwindigkeit  $v$  verwendet. Tritt ein Elektron in einen höheren Energiezustand, so kann es wieder auf die niedrigere Bahn gelangen, indem es die überschüssige Energie in Form elektromagnetischer Strahlung emittiert. Die Frequenz der emittierten Welle ist mit der Energiedifferenz verknüpft:

$$\Delta E = h \cdot f = E_2 - E_1 \quad (2)$$

Die emittierte Wellenlänge steht natürlich auch im direkten Zusammenhang mit der Energie und emittierten Frequenz der Welle:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Das Hauptstück des Frank Hertz Versuches ist die Frank Hertz Röhre: Eine mit Gas gefüllte Röhre mit 3 Teilen: der Glühkathode, dem Anodengitter und einem Empfänger (Siehe Abbildung (1)). Aufgrund der angelegten Heizspannung  $U_H$  wird der dünne Draht zum glühen gebracht; die Temperatur des Systems steigt an. Deshalb ist empirisch betrachtet die kinetische Energie der Elektronen im Draht höher. Sie ist sogar so hoch, dass sich einzelne Elektronen aus dem Draht lösen können. Aufgrund des Elektrischen Feldes welches durch das Anoden(gitter) mit der Beschleunigungsspannung  $U_B$  zwischen der Anode und der Glühkathode erzeugt wird werden diese Elektronen sehr stark beschleunigt, sodass zumindest einige durch das Gitter hindurch fliegen. Man misst nun den Elektronenstrom am Empfänger. Zwischen der Anode und dem Empfänger wird allerdings noch eine Gegenspannung  $U_G$  (entgegen des Feldes der Anode) angelegt, sodass nur sehr schnelle Elektronen am Empfänger ankommen können. Unter der Annahme dass die Röhre evakuiert ist würde bei größerer Beschleunigungsspannung  $U_G$  die kinetische Energie der Elektronen ansteigen, also würden auch mehr Elektronen die Gegenspannung  $U_G$  überwinden und man würde einen größeren Strom messen. Da nun die Röhre allerdings mit einem Gas gefüllt ist, so stoßen die beschleunigten Elektronen mit den vorhandenen Atomen. Allgemein sind diese Stöße elastisch, jedoch sobald die kinetische Energie groß genug ist um das Elektron auf eine andere Kreisbahn zu befördern, so geht ein Teil der kinetischen Energie dabei verloren und der Stoß ist inelastisch. Dadurch ist der gemessene Strom am Empfänger in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung eine Stufenförmige Wellenfunktion. Eine solche Funktion ist auch in Abbildung (2) skizziert.

Um den aufgefundenen Strom leichter zu messen, misst man tatsächlich eine durch die zusätzlichen Elektronen erzeugte Spannung zwischen dem Empfänger und einem Geerdetem Material. Dies ist hilfreich, da der Strom nur sehr klein ist und daher schwer und ungenau zu messen. Mithilfe dieser Spannung die im weiteren als FH-Signal  $U_F$  bezeichnet wird und mithilfe der Gleichungen (2) und (4) kann man dann die Wellenlänge der emittierten

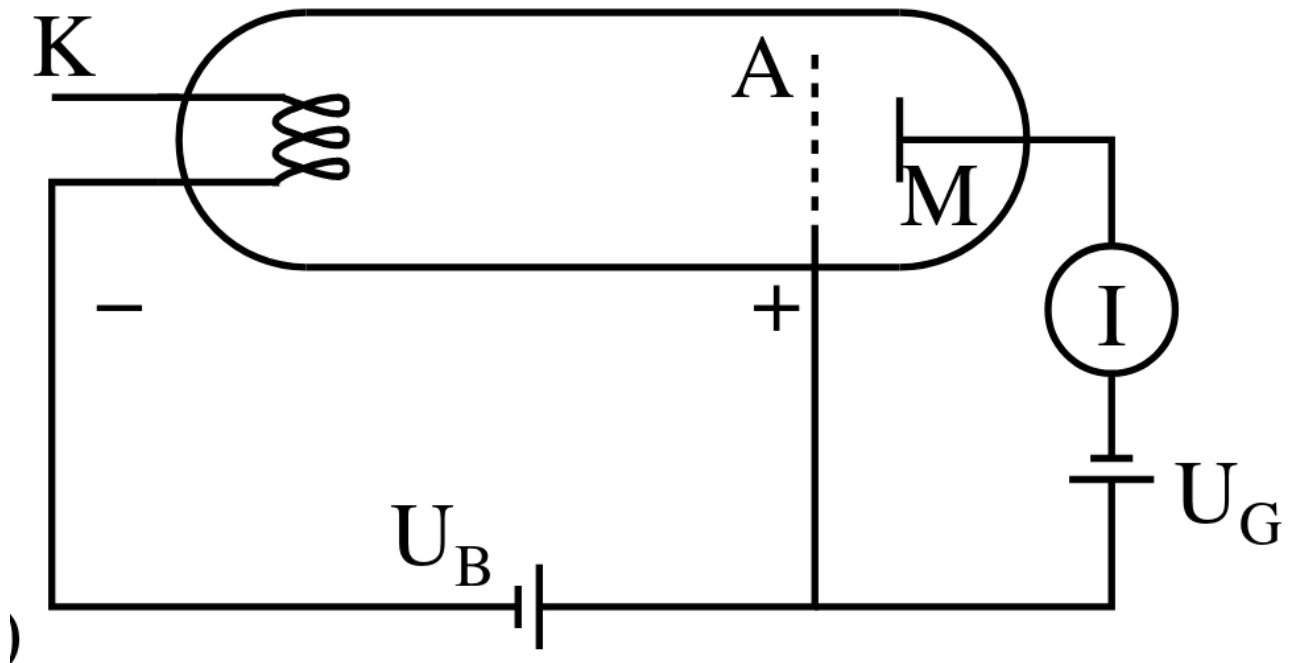


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Frank Hertz Experiments

Wellen bestimmen:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = \frac{h \cdot c}{e \cdot \Delta U_B} \quad (4)$$

wobei  $e$  die Elementarladung und  $\Delta U_B$  die Differenz der Beschleunigungsspannung  $U_B$  zwischen zwei benachbarten Maxima (beziehungsweise Minima) ist. Genau diese Spannungsdifferenz sorgt nämlich aufgrund eben erklärter Effekte für die Energiedifferenz die überwunden werden muss, um das Elektron auf die nächst höhere Bahn anzuregen.

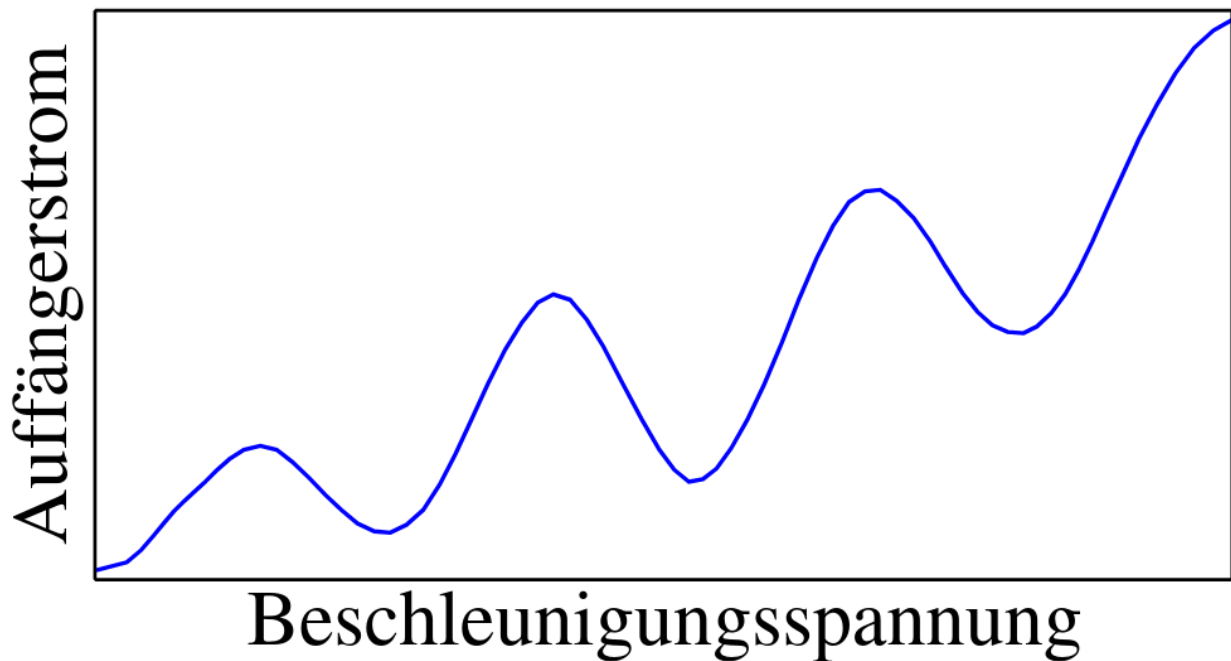


Abbildung 2: Mögliche Skizze der Frank Hertz Kurve

### 3 Zusätzliche Überlegungen

#### 3.1 Elastischer und inelastischer Stoß

Bei einem elastischen Stoß bleibt die kinetische Energie erhalten. Beim inelastischen Stoß wird ein Teil der Energie in andere Energieformen umgewandelt.

#### 3.2 Warum kann ein Elektron mit einer Energie $< 4.9\text{eV}$ nur einen elastischen Stoß mit einem Atom machen?

Bei einem inelastischen Stoß mit einem Atom wird dieses angeregt, wobei Elektronen auf Höhere Bahnen angehoben werden. Die kleinste Energie, bei der dies bei Quecksilberatomen geschehen kann ist  $4.9\text{eV}$ . Daher können bei geringeren Energien nur elastische Stöße stattfinden.

#### 3.3 Warum kann ein Elektron bei einem elastischen Stoß mit einem Atom nur wenig Energie übertragen?

Die Masse eines Elektrons ist:  $m_e = 5,485 \cdot 10^{-4}\text{u}$

Die Masse eines Wasserstoffatoms ist  $m_H = 1\text{u}$  Da die Masse des Elektrons schon im Vergleich zu kleinen

Atomen winzig ist hat es selbst bei hoher Geschwindigkeit einen relativ kleinen Impuls. Bei der Impulserhaltung übertägt das Elektron wegen des großen Massenunterschieds nur eine geringe Geschwindigkeit auf das Atom. Da die übertragene Energie proportional zum Geschwindigkeitsquadrat ist ist diese dementsprechend klein.

### **3.4 Wie gibt das durch einen inelastischen Stoß angeregte Atom seine Energie ab?**

Ein Atom gibt Energie ab, wenn eines der zuvor angehobenen Elektronen von einer höheren Bahn auf eine niedrigere zurückspringt. Die Energie wird in Form von Photonen abgegeben, die mit der Frequenz  $f = \frac{\Delta E}{h}$  abgestrahlt werden.

### **3.5 Welcher Unterschied besteht zwischen der Anregung eines Atoms durch Elektronen bzw. Lichtquanten?**

Damit ein Atom durch ein Elektron angeregt werden kann, muss die Energie des Elektrons nur größer als die minimale Anregungsenergie des Atoms sein. Im Fall eines Photons muss dessen Energie genau der Energie entsprechen, mit der das Atom in einen angeregten Zustand versetzt wird, da ein Photon nicht einfach Energie abgeben kann. Es wird komplett in Energie umgewandelt. Ein Elektron hingegen kann einfach einen Teil seiner Energie abgeben und dann weiterfliegen.

### **3.6 Warum wird zwischen Auffängerelektrode und Anodengitter eine Bremsspannung benötigt?**

Die Bremsspannung ist nötig, da ohne sie auch die Elektronen, die im Stoß fast ihre gesamte Energie abgegeben haben trotzdem auf die Anode treffen würden. Dadurch würde man keinen Spannungsabfall mehr messen, selbst wenn Atome angeregt werden.

### **3.7 Vergleich einer Franck-Hertz-Röhre und einer Leuchtstofflampe**

Bei der Leuchtstoffröhre wird eine Spannung zwischen zwei Elektroden angelegt, um die Elektronen zu beschleunigen. Im Gegensatz dazu werden die Elektronen bei der Franck-Hertz-Röhre mithilfe einer Glühkathode beschleunigt. In beiden Fällen führen Zusammenstöße der Elektronen mit den Gasatomen in der Röhre zur Aussendung von Photonen. Ein weiterer Unterschied ist, dass die Leuchtstofflampe zur Lichterzeugung dient und die Franck-Hertz-Röhre für Experimente genutzt wird. Ausserdem wird an der Franck-Hertz-Röhre noch zusätzlich eine Bremsspannung angelegt. Die Leuchtstofflampe erhält ihren Namen von der Beschichtung, die an der Innenseite des Glases aufgetragen wird, die dazu dient UV-Licht in sichtbares Licht umzuwandeln, um eine höhere Intensität zu erhalten. Die dafür verwendete Substanz wird als Leuchtstoff bezeichnet.<sup>[2]</sup>

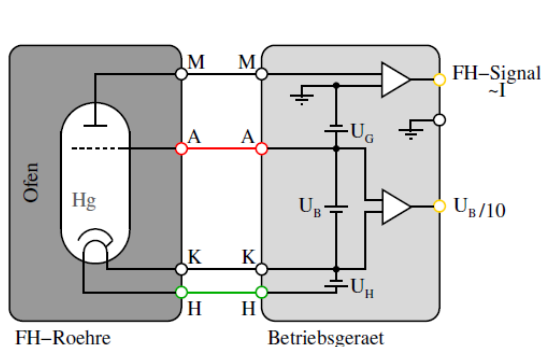
### 3.8 Unterschied zur Röntgenröhre

Bei der Röntgenröhre werden wie bei der Frank-Hertz-Röhre Elektronen von einer Kathode in Richtung der Anode beschleunigt. Der Unterschied ist, dass innerhalb der Röntgenröhre ein Vakuum ist. Dadurch werden die Elektronen erst an der Anode gestreut, anstatt vorher auf Gasatome zu treffen.<sup>[3]</sup>

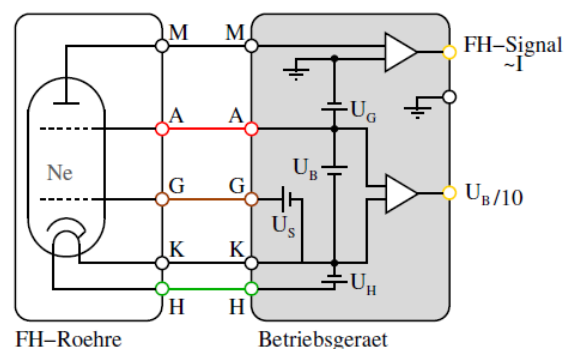
## 4 Experimentelles Vorgehen

Der Versuch wird je einmal mit Quecksilbergas (Aufbau siehe Abbildung (3a)) und Neongas (Aufbau siehe Abbildung (3b)) durchgeführt. Beim erstenen wird die Röhre allerdings noch zusätzlich auf  $180^\circ$  beheizt, um das Quecksilber in einen gasförmigen Zustand zu bringen.

Die Beschleunigungsspannung wird so eingestellt, dass sie mit einer Frequenz von 50Hz jeweils von 0 auf die Maximale Beschleunigungsspannung ansteigt. Diese beträgt für Quecksilber 45V und für Neon 80V. So kann auf dem Oszilloskop das FH-Signal für den Ganzen Bereich ausgelesen werden. Ob die Spannung linear ansteigt oder nicht ist hier irrelevant, da nur wichtig ist, den gesamten Bereich abzudecken und in diesem Minima und Maxima festzustellen. Die Brems- und Heitzspannung werden dann so eingestellt, dass der Graph auf dem Oszilloskop möglichst deutlich erkennbare Minima und Maxima hat. Skizzen der dabei entstandenen Kurven sind im Protokoll zu finden. Zuletzt werden dann diejenigen Beschleunigungsspannungen bestimmt, bei denen Minima bzw. Maxima auftreten. Dies geschieht mithilfe zweier Multimeter und der Anzeige des Oszilloskops. Bei der Franck-Hertz-Röhre mit dem Neongas werden dann zusätzlich noch die emmitierten Wellenlängen mithilfe eines Taschenspektroskops bestimmt.



(a) Aufbau der Franck-Hertz-Röhre mit Hg



(b) Aufbau der Franck-Hertz-Röhre mit Ne

## 5 Auswertung

Zuerst wollen wir den Mittelwert der Abstände der aus jeweils zwei benachbarten Maxima und zwei benachbarten Minima sich ergebenden Spannungsdifferenzwerte bestimmen. Daraus kann man dann die Energieniveaus der möglichen Kreisbahnen des Atoms bestimmen. Dafür diskutieren wir nun zunächst die berücksichtigten Ungenauigkeiten. Da jeder Wert nur einmal gemessen wurde sind nur Ungenauigkeiten von Typ B vorhanden. Alle gemessenen Werte für die Spannung wurden mit einem digitalen Multimeter durchgeführt, welches in dem gemessenen Bereich laut Hersteller die Genauigkeit  $\pm(0,5\% + 8)$  besitzt, sowie eine Auflösung von  $0,01\text{V}$ . Da es sich bei diesen Angaben um Garantiewerte handelt, und wir zusätzlich noch eine Unsicherheit  $u_4$  dadurch erhalten, dass das mögliche Intervall in dem ein Maximum/ Minimum liegen könnte schätzungsweise bei  $u_4 = \pm 0,02\text{V}$  liegt, ergibt sich die Unsicherheit wie folgt:

$$u_B = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (5)$$

$$u_1 = \frac{5\% \cdot \text{Messwert}}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

$$u_2 = \frac{8 \cdot 0,01\text{V}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

$$u_3 = \frac{0,01\text{V}}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

Für die Quecksilberröhre ergibt sich damit im Mittel eine Spannungsdifferenz von

$$\frac{\Delta U_B}{10} = (0,51 \pm 0,06)\text{V} \quad \Delta U_B = (5,1 \pm 0,6)\text{V}$$

Dieser Wert liegt im Konfidenzintervall verglichen mit dem Literaturwert von  $\Delta U_B = 4,9\text{V}$ . Für die Neonröhre gilt analog:

$$\frac{\Delta U_B}{10} = (2,00 \pm 0,07)\text{V} \quad \Delta U_B = (20,0 \pm 0,7)\text{V}$$

Setzt man diese Werte nun in die Gleichung (4) ein, so erhält man als emittierte Wellenlänge

$$\lambda_{\text{Quecksilber}} = (244 \pm 29)\text{nm}$$

$$\lambda_{\text{Neon}} = (619 \pm 21)\text{nm}$$

Die an der Neonröhre mit dem Taschenspektroskop gemessenen Wellenlängen befanden sich im Bereich zwischen  $600\text{nm}$  und  $700\text{nm}$ . Dies bestätigt die vorherige Messung. Die erste bei etwa  $600\text{--}625\text{nm}$ , die zweite bei  $625\text{--}650\text{nm}$ , die dritte bei  $650\text{--}700\text{nm}$ .

Tabelle 1: Messwerte für  $U_B$  für Quecksilber

$U_B$ der Maxima in V	$31,7 \pm 1,04$	$38,1 \pm 1,21$	$41,7 \pm 1,31$
$U_B$ der Minima in V	$33,4 \pm 1,09$	$39,4 \pm 1,25$	$43,8 \pm 1,36$



Tabelle 2: Messwerte für  $U_B$  für Neon

$U_B$ der Maxima in V	$19,9 \pm 0,77$	$38,5 \pm 1,22$	$57,3 \pm 1,73$
$U_B$ der Minima in V	$27,0 \pm 0,93$	$48,2 \pm 1,48$	$68,9 \pm 2,05$

## 6 Fazit

Die am Ende bestimmten Werte liegen nahe an den Werten, die wir aufgrund des Bohr'schen Atommodells erwarten. Somit können wir dieses durch unseren Versuch bestätigen.

## 7 Quellen

1. Anleitung Versuch OPA (Stand: 10. März 2023):  
<https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/ap3/FHV.pdf>
2. <https://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtstofflampe> (Stand: 10. März 2023)
3. <https://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenr%C3%B6hre> (Stand: 10. März 2023)
4. <https://www.ph.tum.de/academics/org/labs/ap/org/ABW.pdf>