

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch A5
Institut für Physik	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	Seite 1

## 1. Aufgabenstellung

- 1.1. Für eine mit Quecksilberdampf gefüllte, beheizte Franck-Hertz-Röhre ist die Anodenstrom-Beschleunigungsspannungs-Kennlinie aufzunehmen und hieraus die Anregungsenergie der Hg-Atome zu bestimmen.
- 1.2. Bei Raumtemperatur ist dieses Experiment auch an einer mit Neon gefüllten Franck-Hertz-Röhre durchzuführen. Auftretende Leuchterscheinungen sind zu beobachten und zu diskutieren.

## 2. Grundlagen

James Franck und Gustav Ludwig Hertz wiesen in den Jahren 1911-1914 in Elektronenstoßexperimenten nach, dass die Elektronen ihre mechanische Energie bei unelastischen Stößen nur in bestimmten Portionen an das Atom übertragen und dieses anregen. Dadurch wurde experimentell belegt, dass in Atomen nur diskrete Energieniveaus für die Elektronen der Hülle existieren und somit nur solche Energiebeträge  $\Delta E$ , die dem Übergang von einem auf ein anderes Niveau entsprechen, aufgenommen bzw. abgegeben werden können. Dieser Befund stützte das Bohrsche Atommodell.

Im vorliegenden Versuchsaufbau wird der Franck-Hertz-Versuch an zwei Glasröhren mit a) Quecksilberfüllung und b) Neonfüllung nachempfunden.

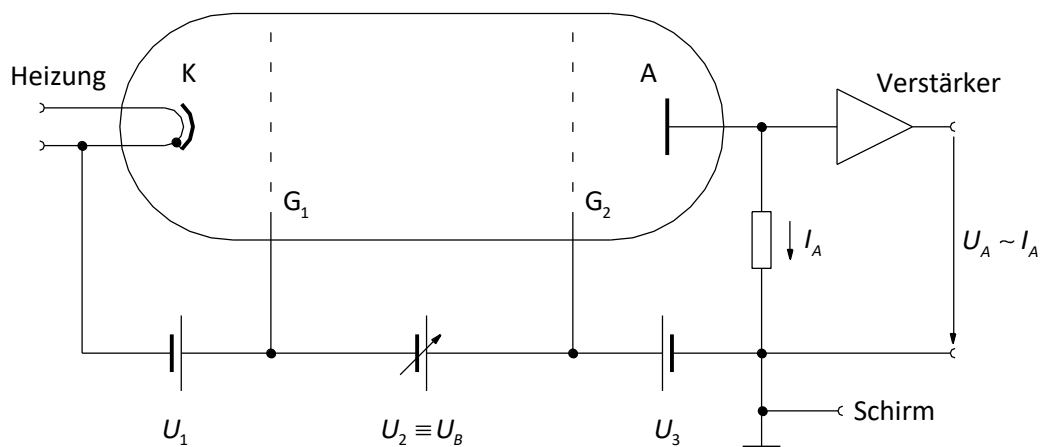


Abb. 1: Prinzipieller Versuchsaufbau mit Franck-Hertz-Röhre

Eine bis zur Rotglut beheizte Kathode K emittiert Elektronen in das Röhreninnere. Diese werden zunächst durch eine kleine positive Spannung  $U_1$  zwischen Kathode und Gitter  $G_1$  abgesaugt. Mittels einer einstellbaren Spannung  $U_b$  zwischen den Gittern  $G_1$  und  $G_2$  erfolgt die für den Versuch entscheidende Beschleunigung der Elektronen. Gas- bzw. Dampfdruck in der Röhre sind so eingestellt, dass die mittlere freie Weglänge von Elektronen zwischen Stößen mit Gasatomen viel geringer ist als der Abstand der Gitter voneinander.

Ist  $U_b$  niedrig, die kinetische Energie der Elektronen daher noch kleiner als die Anregungsenergie  $\Delta E$  der Atome, finden ausschließlich elastische Stöße statt. Der maximal mögliche Energieaustausch zwischen Elektron und Atom beträgt wegen der gegen die Elektronenmasse  $m_e$  viel größeren Atommasse  $m_A$

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch A5
Institut für Physik	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	Seite 2

$$E_{\max} \approx 4 \frac{m_e}{m_A} E_{\text{kin},e}, \quad (1)$$

im Falle von Quecksilber etwa 0,001% der kinetischen Energie und ist vernachlässigbar. Die Elektronen besitzen nach dem Stoß genügend kinetische Energie, um das zwischen Gitter  $G_2$  und Anode A bestehende Bremsfeld zu überwinden und tragen zum Anodenstrom bei. Während des Experimentes werden Gegenspannung  $U_3$ , wie auch die Saugspannung  $U_1$ , konstant gehalten.

Mit steigender Spannung  $U_B$  erhöht sich der Anodenstrom  $I_A$  so lange, bis die ersten Elektronen die erforderliche Energie  $\Delta E$  besitzen. Es finden jetzt zunehmend unelastische Stöße mit vollständiger Energieübertragung statt. Die Elektronen können danach gegen das Bremsfeld vor Elektrode A nicht mehr anlaufen und der Anodenstrom sinkt. Das Anregungsgebiet befindet sich zu diesem Zeitpunkt unmittelbar vor dem Gitter  $G_2$ , um bei weiterer Erhöhung von  $U_B$  in Richtung  $G_1$  zu wandern. Während der Anodenstrom anfangs noch weiter zurückgeht, ist nach Durchlaufen eines Minimums ein Wiederansteigen beobachtbar. Ursache hierfür ist, dass die Elektronen nach dem unelastischen Stoß im Feld zwischen  $G_1$  und  $G_2$  wieder genügend Energie aufnehmen konnten, um  $U_3$  zu überwinden.

Bei weiterer Vergrößerung von  $U_B$  wiederholt sich der Vorgang periodisch, die  $I_A$ - $U_B$ -Kennlinie besteht also aus einer Folge von Maxima und Minima, deren Abstände die Anregungsenergie  $\Delta E$  abschätzen lässt. Der Abfall von  $I_A$  erfolgt nicht abrupt, da die Elektronen mit einer gewissen Geschwindigkeitsverteilung aus der Kathode austreten.

Kurze Zeit nach der Energieaufnahme durch das stoßende Elektron gehen die Atome wieder in ihren Grundzustand über. Die Energiedifferenz wird dabei in Form eines Photons der Frequenz

$$f = \frac{\Delta E}{h}, \quad (2)$$

mit  $h$  - Plancksches Wirkungsquantum, spontan emittiert. Möglich ist aber auch eine Energieabgabe über mehrere Zwischenstufen, so dass Leuchterscheinungen im sichtbaren Spektralbereich beobachtet werden können.

### 3. Messanleitung

Die Quecksilber- bzw. Neon-gefüllte Franck-Hertz-Röhre kann wahlweise an das Betriebsgerät angeschlossen werden. Die Hg-Röhre steckt in einem elektrisch beheizten Ofen, dessen Temperatur auf einen einstellbaren Sollwert geregelt wird.

**Achtung! Schalten Sie vor dem Wechsel der zur Messung verwendeten Röhre das Betriebsgerät immer erst aus. Stellen Sie sicher, dass bei Benutzung der Hg-Röhre auch das NiCr-Ni-Thermoelement des Heizofens ordnungsgemäß angesteckt ist.**

Die Frontplatte des Betriebsgerätes ist in vier Bedienfelder eingeteilt:

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch A5
Institut für Physik	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	Seite 3

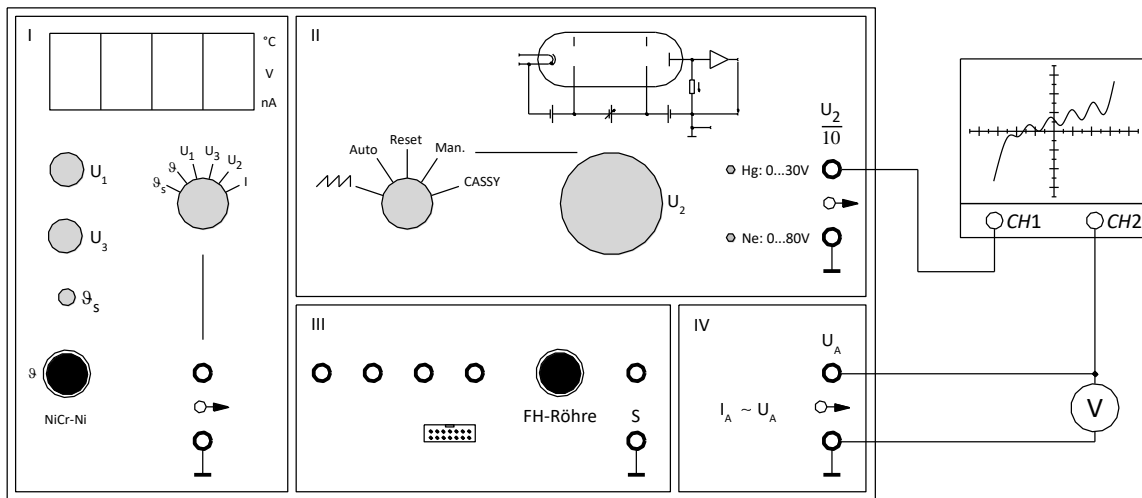


Abb. 2: Frontplatte des Franck-Hertz-Betriebsgerätes

- I. Digitaldisplay mit Umschalter für die anzuzeigenden Messparameter  $\vartheta_s$  (Soll-Temperatur der Hg-Röhre),  $\vartheta$  (Ist-Temperatur),  $U_1$ ,  $U_3$ ,  $U_2$  (Beschleunigungsspannung  $U_B$ ) und Anodenstrom  $I$ . Weiterhin enthalten sind Einstellknöpfe für die Messparameter  $U_1$ ,  $U_3$  und  $\vartheta_s$  sowie eine DIN-Buchse für den Anschluss des NiCr - Ni-Thermoelementes.
- II. Betriebsartumschalter für die Beschleunigungsspannung  $U_2 \equiv U_B$  und Einstellknopf hierfür bei manuellem Betrieb. Zwei LEDs symbolisieren den Status der angeschlossenen Röhre und an die Ausgangsbuchsen lässt sich ein Messgerät bzw. der Kanal eines Oszilloskops anschließen.
- III. DIN-Anschlussbuchse für die Franck-Hertz-Röhre. Außer der Massebuchse (Schirm) sind alle anderen Steckverbindungen unbenutzt bzw. abgedeckt.
- IV. Anschlussbuchsen zur Messung des Anodenstroms. Dieser hat die Größenordnung einige Nanoampere und wird deshalb im Betriebsgerät auf eine gut messbare Spannung ( $U_A$ ) gewandelt. Die Proportionalität zum Anodenstrom ist gewährleistet, wobei der realisierte Proportionalitätsfaktor für die Auswertung der Röhrenkennlinien nicht interessant ist.

### 3.1. Franck-Hertz-Röhre mit Hg-Füllung

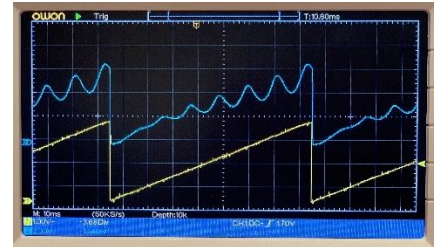
Nach Anschluss der Röhre über das DIN-Kabel wird das Betriebsgerät eingeschaltet und eine Solltemperatur des Ofens von  $\vartheta_s = 200^\circ\text{C}$  eingestellt. Ist diese erreicht, sollten noch mindestens 15min bis zum Abklingen größerer Regelabweichungen abgewartet werden.

Die Ausprägung von Maxima und Minima der  $I_A - U_B$ -Kennlinie hängt empfindlich von den Parametern Röhrentemperatur/Hg-Dampfdruck, Saugspannung  $U_1$  und Bremsspannung  $U_3$  ab. Ziel dieses Versuchsteils ist eine Messung mit 6 gut auswertbaren Strommaxima. Ist die vorgegebene Temperatur erreicht, kann mit der Optimierung der Spannungen  $U_1$  und  $U_3$  begonnen werden. Einflussfaktoren wie Alter der Röhre, Einbaulage im Heizofen oder Verdampfungsgrad des Quecksilbers beeinflussen die Röhreneigenschaften, so ist hier nur die Angabe grober Orientierungswerte möglich:

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch A5
Institut für Physik	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	Seite 4

- $U_1 \approx 2,5V$
- $U_3 \approx 1,0V$

Dazu wählt man die  $U_2$ -Betriebsart „Sägezahn“ und lässt sich das Signal von  $U_2$  und  $U_A$  als Funktion der Zeit auf dem Oszilloskop anzeigen. Während  $U_2(t)$  die erwartete glatte Rampe durchläuft, zeigt  $U_A(t)$  deutliche Signalmodulationen. Durch geeignete Variation von  $U_1$  und  $U_3$  soll versucht werden den nebenstehenden Kurvenverlauf mit etwa 6 Maxima zu erzeugen. Vermieden werden sollte ein zu frühes Abschneiden der Kurve am oberen Rand (Clipping). Detaillierte Abgleichhinweise sind im Anhang der Versuchsanleitung zu finden.



Die eigentliche Aufnahme der  $I_A - U_B$ -Kennlinie erfolgt punktwise im manuellen Modus für die Spannung  $U_2$ , diese wird am Display im Bedienfeld I abgelesen. Für die Erfassung der dem Anodenstrom proportionalen Spannung  $U_A$  steht am Versuchsplatz ein Digitalvoltmeter zur Verfügung.

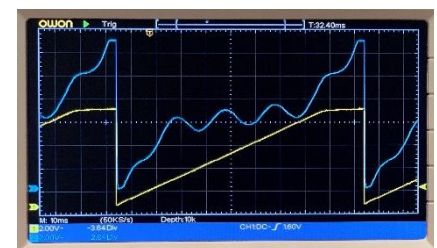
Messparameter für diesen Versuchsteil:  $U_2 = (0 \dots 32)V$  in Schritten von  $\Delta U_2 \approx 0,5V$

Es empfiehlt sich, die Spannungsschritte  $\Delta U_2$  an den steileren Kurvenabschnitten etwas feiner einzustellen. Die Messung wird auf jeden Fall abgebrochen, wenn  $U_A$  einen Wert von  $12,7V$ , das Limit des Spannungsverstärkers im Betriebsgerät, erreicht hat.

### 3.2. Franck-Hertz-Röhre mit Ne-Füllung

Die Neon-gefüllte Franck-Hertz-Röhre ist auf einer Schautafel aufgebaut und durch das Metallgehäuse elektrisch abgeschirmt. Eine kleine Öffnung im Gehäuse erlaubt die Beobachtung des Gebiets zwischen den Gittern  $G_1$  und  $G_2$ .

Zur Ermittlung der  $I_A - U_B$ -Kennlinie wird analog zu Versuchsteil 3.1 vorgegangen. Dabei durchläuft die Beschleunigungsspannung  $U_2$  im Sägezahn-Modus einen größeren Spannungsbereich als vorher bei der Hg-Röhre und die Skalierung von Kanal 1 und 2 am Oszilloskop muss entsprechend angepasst werden. Insgesamt sollte die Messkurve  $U_A(t)$  drei gut ausgeprägte Maxima aufweisen. Das zugehörige Oszilloskopbild ist rechts dargestellt.



Zur groben Orientierung können folgende Werte für Saug- und Bremsspannung für die Optimierung probiert werden:

- $U_1 \approx 4,0V$
- $U_3 \approx 8,5V$

Messparameter für diesen Versuchsteil:  $U_2 = (0 \dots 80)V$  in Schritten von  $\Delta U_2 \approx 2V$

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch A5
Institut für Physik	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	Seite 5

Sobald der Anodenstrom bei Erhöhung von  $U_2$  übermäßig ansteigt oder  $U_A$  den gerätetechnisch bedingten Grenzwert von 12,7V erreicht hat, wird die Messung beendet.

### Leuchterscheinungen

Bei Neon ist der direkte Übergang des Atoms aus den durch Elektronenstoß angeregten Energiezuständen in den Grundzustand verboten. Die Energieabgabe erfolgt über Niveaus, die zwischen 2eV und 3eV unter den angeregten Zuständen liegen. Diese Übergänge sind somit von sichtbarer rot-gelber Lichtemission begleitet und gut beobachtbar.

Zur Erzeugung der Leuchterscheinungen wird das Betriebsgerät zuerst in den Modus „Sägezahn“ geschaltet und die Saugspannung  $U_1$  vorsichtig erhöht. Sobald das periodische Flackern zwischen den Gittern erkennbar ist, wechselt man in den manuellen Modus und erhöht  $U_2$ , von Null beginnend, stetig. Die auftretenden Lichtscheibchen, insbesondere ihr Wandern mit Erhöhung der Beschleunigungsspannung, sind im Versuchsprotokoll zu schildern und zu interpretieren.

## 4. Auswertung

Die  $I_A - U_B$ -Kennlinien sind für beide untersuchte Franck-Hertz-Röhren in getrennten Diagrammen darzustellen. Im Bearbeitungsfenster „Spline-Interpolation“ des Praktikumsprogramm „PhysPract“ kann eine durch die Messpunkte verlaufende Strom-Spannungs-Kurve erzeugt werden. Folgende Zeicheneinstellungen sollten verwendet werden:

- Stützpunktzahl der Interpolation: 500 bis 1000, je nach Anzahl der Strommaxima
- Dämpfungparameter klein: Schieberegler ganz nach links

Durch Auswahl des Fadenkreuz-Symbols können nun die Koordinaten der Maxima ermittelt werden. Die hier nur interessierenden „X-Werte“ (Beschleunigungsspannung) werden zur Bestimmung der Anregungsenergie  $\Delta E$  herangezogen.

- Hg-Röhre: In einer weiteren Grafik sind die Spannungen  $U_{2,i}$  an den Maxima über der Ordnungszahl  $i$  des Maximums darzustellen. Der Zusammenhang ist linear und der Anstieg einer Ausgleichsgeraden liefert den Zahlenwert für  $\Delta E$  in Elektronenvolt.
- Ne-Röhre: Hier lohnt das Zeichnen einer Ausgleichsgeraden nicht, die Anregungsenergie ist als gemittelter Wert der Spannungsdifferenzen zwischen den Strommaxima anzugeben.

Die gefundenen Anregungsenergien für Hg und Ne sind, unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten, mit Tabellenwerten zu vergleichen.

## 5. Kontrollfragen

1. Warum muss die Quecksilber-befüllte Franck-Hertz-Röhre beheizt werden?
2. Warum weisen die U-I-Kennlinien der Röhren mehrere Maxima bzw. Minima auf?
3. Wie wird die überschüssige Energie beim Übergang in den Grundzustand der durch Stöße angeregten Atome abgegeben?

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch A5
Institut für Physik	<b>Franck-Hertz-Versuch</b>	Anhang

## Optimieren der Franck-Hertz-Kurve

### 1. Hg- und Ne-Röhre

Durch die Spannung  $U_1$  wird die Elektronenwolke vor der Kathode abgesaugt. Durch Erhöhen von  $U_1$  können mehr Elektronen emittiert werden, d. h. der Querstrom durch die Röhre wird erhöht.

Bei Erhöhung der Gegenspannung  $U_3$  können nur solche Elektronen die Anode erreichen, deren Energie ausreichend für die Überwindung des Bremsfeldes ist, d. h. der Anodenstrom  $I_A$  wird geringer.

- Maxima sind sehr flach, Anodenstrom klein:
  - Saugspannung  $U_1$  erhöhen (ggf. bei Hg-Rohr Ofentemperatur senken)
- Kurve ist schlecht ausgeprägt:
  - Gegenspannung  $U_3$  verändern
- Maxima sind zu hoch (Kurve wird oben abgeschnitten):
  - Saugspannung  $U_1$  verkleinern oder/und Gegenspannung  $U_3$  vergrößern
- Minima laufen gegen Null (Kurve wird unten abgeschnitten):
  - Gegenspannung  $U_3$  verkleinern oder/und Saugspannung  $U_1$  vergrößern

### 2. Nur Hg-Röhre

Durch Erhöhen der Ofen- und Röhrentemperatur wird der Hg-Dampfdruck und damit die Stoßwahrscheinlichkeit für Elektronen erhöht, der Quer- bzw. Anodenstrom sinkt.

- Anodenstrom steigt sprunghaft an (Gasentladung infolge einer zu geringen Ofentemperatur):
  - Sofort Beschleunigungsspannung  $U_2$  auf Null oder Betriebsartschalter auf „Reset“, es ist die Ofentemperatur zu prüfen und ggf. die Einstellung des thermischen Gleichgewichts abzuwarten
- Kurve sehr flach, insbesondere die ersten Maxima sind nicht ausgebildet:
  - Ofentemperatur ist zu hoch, Temperatur auf Sollwert zwischen 200°C und 180°C einstellen und Einstellung des thermischen Gleichgewichts abwarten

### 3. Nur Ne-Röhre

Bei fest angelegter Beschleunigungsspannung  $U_2 \approx 70V$  sollten sich bei Erhöhen der Saugspannung  $U_1$  drei sichtbare Leuchtscheibchen zwischen den Gittern  $G_1$  und  $G_2$  ausprägen. Falls dem nicht so ist, muss möglicherweise die Kathodenheizspannung verändert werden (Praktikumstechniker benachrichtigen).

Für die punktweise Aufnahme der Strom-Spannungs-Kennlinie ist  $U_1$  auf jeden Fall wieder zu reduzieren, um ein zu frühes Abschneiden der Kurve am oberen Rand (Clipping) zu verhindern.