

Der Franck-Hertz-Versuch (1913/14) ist eine wesentliche experimentelle Stütze für die Bohrsche Atomtheorie (1913). Allerdings wurde der Versuch zunächst nicht mit dieser Zielsetzung ausgeführt und einige Ergebnisse ihrer Elektronenstoßversuche wurden von James Franck und Gustav Hertz anfangs sogar falsch interpretiert. Die Experimente waren aber so ausgezeichnet, daß Franck und Hertz im Jahre 1925 dafür den Nobelpreis erhielten. Auf den ersten Blick erscheint der Versuch sehr einfach. Beim genaueren Hinsehen wird jedoch klar, wieviel experimentelle und gedankliche Sorgfalt nötig ist, um zu verlässlichen Ergebnissen zu kommen. Der Aufgabentext enthält Fragen, über die Sie sich schon bei der Vorbereitung Gedanken machen sollen.

1.1 Bauen Sie die Schaltung der Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre mit dem Betriebsgerät auf. Diskutieren Sie die Schaltung in allen wesentlichen Einzelheiten. Eine Prinzipschaltplanskizze finden Sie als Figur 3 in der Vorbereitungshilfe. Für die Beschleunigungsspannung an der Anode kann wahlweise eine Sägezahnspannung (0-30V) zur oszillographischen Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve, eine lineare Rampe für die Aufzeichnung der Kurve als Einmalereignis mit dem Speicheroszillographen oder eine über ein Potentiometer einstellbare Gleichspannung für eine punktweise Aufnahme der Franck-Hertz-Kurve verwendet werden. Die im Schaltplan eingezeichneten Widerstände zwischen den Röhrenelektroden und ihren Anschlußbuchsen sind im Röhrengehäuse (Ofen) fest eingebaut.

1.2 Messen Sie die Energie für die niedrigste beobachtbare Anregung von Quecksilber durch Elektronenstoß. Bestimmen Sie außerdem die Größe der Kontaktspannung zwischen Kathode und Anode. Schalten Sie die Kathodenheizung ein (Lassen Sie sie eingeschaltet, solange die Röhre heiß ist!) und heizen Sie dann mit der Ofenheizung die Röhre auf etwa $\sim 160^\circ\text{C}$ auf. Die Kontrollleuchte wird grün, wenn die Solltemperatur erreicht wird. **Vermeiden Sie, die Röhre jemals über 190°C zu erhitzen.** Ermitteln Sie durch oszillographische Beobachtung bei verschiedenen Temperaturen (etwa $160, 150, 140, 120^\circ\text{C}$) die günstigsten Betriebsbedingungen (Kathodenheizung, Spannung am Raumladungsgitter, Gegenspannung). Begründen Sie qualitativ den Einfluß dieser Parameter auf die Form der Franck-Hertz-Kurve. Nehmen Sie jeweils die optimale Franck-Hertz-Kurve mit Hilfe des Speicheroszilloskops auf. Beachten Sie die Unterschiede zwischen den Bildern bei durchlaufender Rampe und beim Einmalvorgang. Diskutieren Sie das Zustandekommen der typischen Franck-Hertz-Kurve. Bestimmen Sie aus den aufgezeichneten Daten (Eichung der x-Achse!) die Energie für die niedrigste beobachtbare Anregung von Quecksilber durch Elektronenstoß.

1.3 Nehmen Sie bei etwa 150°C mit Hilfe eines empfindlichen Strommeßinstruments in der Anodenleitung eine Anodenstromkurve $I_{g2} = f(U_{g2})$ auf. Überprüfen Sie durch geschickte Auftragung die erwartete $U^{3/2}$ -Abhängigkeit (Raumladungsgesetz). Warum zeigt die Anodenstromkurve keinerlei 'Franck-Hertz-Form'?

1.4 Bestimmen Sie aus diesen Graphen die Ionisierungsarbeit von Quecksilber auf zwei Arten:

- (a) Messen Sie mit dem Multimeter den Anodenstrom in Abhängigkeit von der Anodenspannung und
(b) Plotten Sie den Auffängerstrom mit Hilfe des Oszillographen.

Stellen Sie für Stoßionisation günstige Betriebsbedingungen ein. Um deutliche Effekte zu erhalten, muss das Raumladungsgitter G_1 als Anode verwendet werden: Setze G_1 auf gleiches Potential wie G_2 . Die Beschleunigungsspannung ist dann $U_A = (U_1 + U_2)$. (wird bei Aufgabe 2 ebenso geschaltet).

1.5 Beobachten Sie mit einem Taschenspektroskop die im Bereich des sichtbaren Lichts liegenden Emissionslinien bei brennender Gasentladung. Lassen Sie eine ständige Gasentladung zünden. Es besteht dabei keine Gefahr für die Apparatur. Der $10\text{k}\Omega$ -Widerstand in der Anodenleitung begrenzt den Strom. Hätte man eigentlich den Spannungsabfall an diesem Widerstand bei den vorangegangenen Aufgaben berücksichtigen müssen?

2. Bestimmen Sie die Energie für die nächst höhere Anregung von Quecksilber. Benutzen Sie die Schaltung gemäss 1.4, so dass die Wahrscheinlichkeit für das Erreichen und für die Beobachtbarkeit höherer Anregungsenergien erheblich vergrößert wird (siehe S.6 der Vorbereitungshilfe). Suchen Sie günstige Betriebsbedingungen auf (oszillographische Beobachtung) und drucken Sie eine Franck-Hertz-Kurve, aus

der Sie auf die zweitniedrigste Anregungsenergie schließen können. Die Struktur dieser Kurve wird im Wesentlichen nur durch Linearkombinationen der beiden niedrigsten Anregungsenergien bestimmt. Weitere Anregungsenergien sind bestenfalls schwach angedeutet. Das Ergebnisbild ist ähnlich zu aber nicht identisch mit Bild 7 in der Vorbereitungshilfe, das mit einer ganz anderen Röhre gewonnen wurde. Hg-Franck-Hertz-Röhren weisen erhebliche Fertigungstoleranzen auf und altern sehr unterschiedlich. Es ist deshalb möglich, daß bei den drei Franck-Hertz-Versuchen unterschiedlich gut ausgeprägte Kurven erreicht werden. Besonders deutlich werden die Unterschiede bei dieser Aufgabe. Nötigenfalls müssen Sie hier die Ergebnisse einer Nachbargruppe für die Auswertung benutzen.

3. Bestimmen Sie die mittlere Energie für die hauptsächliche Anregung von Neon durch Elektronenstoß aus einer oszillographisch dargestellten Franck-Hertz-Kurve.

„Mittlere“ steht hier, weil es sich um eine Gruppe von Niveaus handelt, die in einem etwa 0,5 Elektronenvolt breiten Energiebereich liegen. Das zugehörige emittierte Licht ist rot. Bei Erhöhung der Beschleunigungsspannung kann man die Vermehrung und die Verlagerung von Leuchtschichten im Beschleunigungs- und Stoßraum beobachten. Eine spezielle Röhre mit indirekter Kathodenheizung und planparalleler Elektrodenanordnung sowie mit Neon-Füllung wird benutzt. Die Kontaktspannung zwischen BaO-Kathode und Metallanode mindert die angelegte Spannung um etwa 2,5V. Die Schaltung entspricht der der Hg-Röhre. Die Ne-Röhre ist für alle drei Franck-Hertz-Versuche zusammen nur einmal vorhanden. Es wird aber nur wenig Zeit für diesen Teilversuch benötigt, weil die Schaltung fertig aufgebaut ist und Wartezeiten für das Aufheizen oder Abkühlen entfallen. Hätte bei dieser Röhre das Heizen einen Sinn? Was würde sich dabei ändern und was nicht? Wenn ein besonderes Interesse daran besteht, können auch hier Kurven mit dem Speicheroszilloskop aufgezeichnet werden. Die Röhre soll nicht in modifizierten Schaltungen (wie bei Aufgabe 2) betrieben werden.

Zubehör:

Koaxiale Franck-Hertz-Tetrode: mit einem Tropfen Quecksilber im Innern (max. Heizstrom der indirekt geheizten BaO-Kathode: 0,4A, Abstand K-G₁: ca. 0,5mm, K-G₂: ca. 6mm), eingebaut in einen Heizofen mit einstellbarem Thermostat, Sichtfenstern, NiCr-NiThermofühler, Schutzwiderständen und Anschlussbuchsen..

Betriebsgerät zur Franck-Hertz-Röhre: bis zum erlaubten Grenzwert einstellbare Heizspannung für die Kathode (6.4 V), bis 5V einstellbare Gleichspannung für das Raumladungsgitter, deren Minuspol mit einem Pol der Heizstromquelle verbunden ist, eine bis 30V einstellbare Gleichspannung, eine lineare Rampe bis 30 V und eine bis 30V Spitzenwert Sägezahnspannung alternativ als Beschleunigungsspannung U_B; bis 10V einstellbare Gleichspannung für das Gegenfeld. Ausgabebuchsen für U_B/10 und U_A, eine dem Auffängerstrom proportionale Spannung (1V ≈ 1nA).

USB-Oszilloskop (Picoscope) mit Computer;

Tischmultimeter (GW-Instek GDM-8245);

Taschenspektroskop mit Stativ;

Franck-Hertz-Tetrode mit Neon-Füllung (mit Lichtschutzgehäuse, Sichtfenster, Sockelplatte mit Anschlußbuchsen, 10kΩ-Schutz-R in der Anodenleitung, maximaler Anodenstrom 5µA, planparallele Elektroden, K-A-Abstand ca. 7mm) und **Betriebsgerät** (regelbarer Heizstrom; wahlweise Gleich- oder Sägezahnspannung, einstellbar bis 70V, für die Beschleunigung; einstellbare Sägezahnspannung für die X-Ablenkung des Oszillographen; Verstärker für den Auffängerstrom); **Zusatzbetriebsgerät** (feste Gleichspannung für das Raumladungsgitter, auch Steuergitter genannt; bis 10V einstellbare Gleichspannung für das Gegenfeld).

Literatur:

Hermann (Hsg.): Dokumente der Naturwissenschaft, Abt. Physik, Band 9, *Die Elektronenstoßversuche von Franck und Hertz* (Orig.texte)

DeGroot, Penning: Handb.d.Phys. (Hsg. Geiger/Scheel), Band 23/1 (1933), Kap.2, (Übersichtsartikel)

Haken, Wolf: *Atom- und Quantenphysik*, Kap. 'Anregung von Quantensprüngen durch Stoß'

Finkelburg: *Einf. in die Atomphysik*, Kap. 'Anregung von Quantensprüngen durch Stöße'

Schpolski: *Atomphysik*, Band 1, Kap. 'Energieniveaus der Atome'

dtv-Atlas zur Atomphysik, Abschnitt 'Meßmethoden / Messung von Anregungsenergien'

Fa. NEVA: 'Franck-Hertz-Versuch mit Neon' (am Platz vorhanden)

Jüngst: Vorbereitungshilfe zum Franck-Hertz-Versuch