

Physikalisches Praktikum für Anfänger - Teil 1
Gruppe 3 - Atomphysik

3.5 Franck-Hertz-Versuch

***Stichwörter** Quecksilber, Elektronenkonfiguration von Quecksilber, Termschema von Quecksilber, Richardson-Gesetz, Dampfdruck in Abhängigkeit der Temperatur, elastischer Stoß, inelastischer Stoß, Wirkungsquerschnitt, freie Weglänge, mittlere thermische Geschwindigkeit, Boltzmann-Verteilung, Triode, Elektromagnetisches Spektrum, Photonenergie.*

***Hinweis:** zu diesem Versuch wird kein Laborbericht verlangt. Daher wird eine sehr gute Vorbereitung erwartet. Lesen Sie mindestens die am Ende angegebene Literatur gut durch, und recherchieren Sie in anderen Quellen (z.B. andere Aufbauten, Erwartungswerte, usw.) vor dem Versuchstag.*

1 Methode und Theorie

Im Jahre 1885 gelang es *Balmer* in den Spektren des atomaren Wasserstoffs Spektralserien zu erkennen. Die empirische Serienformel von *Balmer* wurde durch *Runge* und *Rydberg* weiterentwickelt und auf andere Elemente angewendet. 1913 forderte Nils *Bohr* unter radikalem Bruch mit der klassischen Vorstellung für die Atome die Existenz diskreter Energiestufen und setzte die Energie einer Spektrallinie bei Absorption oder Emission gleich der Differenz zweier solcher Energiestufen zu $h\nu$ fest. Man kann die Energie der verschiedenen Zustände, die ein Atom annehmen kann, nach dieser Theorie spektroskopisch ermitteln und in einem Niveauschema einzeichnen. *Franck* und *Hertz* bestimmten 1914 unabhängig von der Bohrschen Theorie die Größe der einzelnen Energieniveaus von Quecksilberatomen aus elektrischen Messungen, und zwar aus Untersuchungen des Elektronenstoßes mit Quecksilberdampfatom. Sie erhielten bei diesen Experimenten Anregungsenergien, die mit den spektroskopisch ermittelten übereinstimmten.

In einem mit Quecksilberdampf (siehe hierzu Abb. 2) gefüllten Rohr befindet sich eine Glühkathode K, eine netzförmige Anode A, und eine Gegenelektrode G, deren Potential etwa 1,5 V negativer als das der Anode ist. Die Elektronen werden durch eine zwischen K und A liegende, variable Spannung U_A beschleunigt. Ist U_A größer als die Gegenspannung U_G , so reicht die kinetische Energie der Elektronen aus, um zur Gegenelektrode G zu gelangen. Der Strom I_G wird also mit wachsendem U_A ansteigen.

Bei Erreichen einer bestimmten Spannung $U_{A,kr}$ fällt I_G allerdings plötzlich stark ab: Die Elektronen übertragen jetzt ihre kinetische Energie durch inelastische Stöße an die Hg-Atome und regen diese dabei an. Die bleibende kinetische Energie reicht dann nicht mehr aus, um gegen U_G anzulaufen. Bei weiter wachsender Spannung U_A wird die Anregungsenergie auf dem Weg zur Anode früher erreicht, so dass die Elektronen nach dem Stoß wieder so stark beschleunigt werden, dass sie das Gegenfeld überwinden. Der Strom I_G steigt wieder an. Bei $U_A = 2 \cdot U_{A,kr}$ wird die Anregungsenergie zwischen A und K zweimal erreicht. Der Strom I_G fällt wieder ab. Dieser Vorgang wiederholt sich nun bei ganzzahligen Vielfachen von $U_{A,kr}$. Man erhält also einen Verlauf von $I = I(U_A)$ wie in Abb. 3.

In dem Versuch wird das erste Niveau (6^3P_1) über dem Grundzustand (6^1S_0) des Quecksilbers angeregt (Beachten Sie dabei die Änderung der Multiplizität, die bei Hg leicht erreicht wird: Es gilt kein strenges Interkombinationsverbot mehr!). Mit einem Spektroskop würde man die Spektrallinie beobachten, die dem Übergang des Elektrons aus dem Zustand 6^3P_1 in den Grundzustand entspricht (siehe Abbildung 1).

Aufgrund ihrer geringen Amplitude kann man die ersten Maxima nur schlecht beobachten. Außerdem liegt das erste Maximum aufgrund von Kathodeneffekten nicht exakt bei $U_{A,kr}$. Im Versuch werden daher nur die Abstände zwischen den Maxima ausgewertet. Durch energiereichere Elektronen lassen sich grundsätzlich höhere Energieniveaus entsprechend ihrem Wirkungsquerschnitt anregen. Man erhält so durch Elektronenstoßanregung ein Energieschema, welches mit dem optisch ermittelten übereinstimmt.

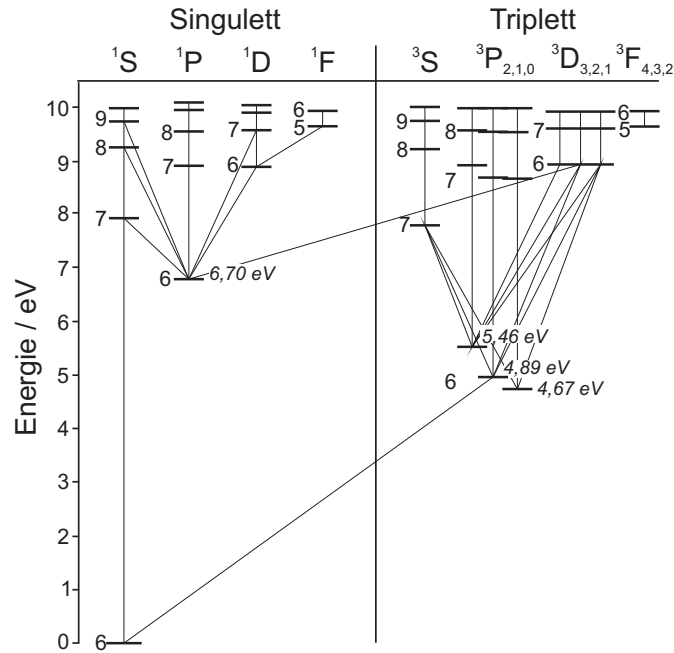


Abbildung 1: Termschema des Hg.

2 Versuchsaufbau

Das Schaltbild des Versuchsaufbaus ist in Abb. 2 dargestellt.

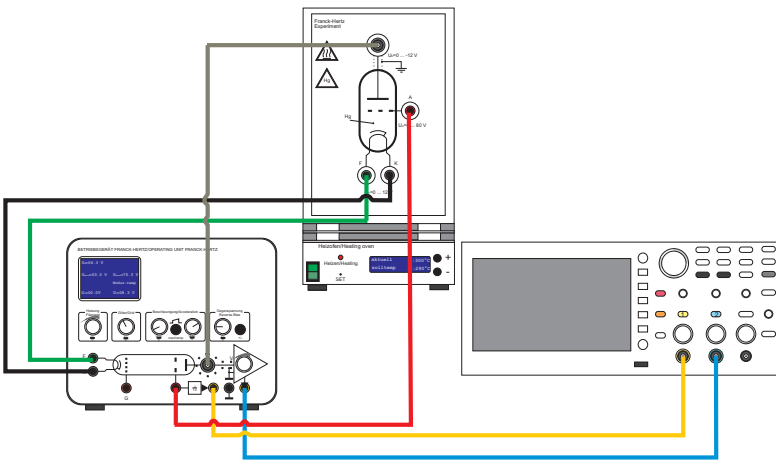


Abbildung 2: Versuchsaufbau

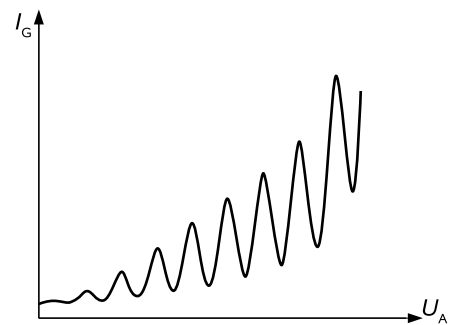


Abbildung 3: Beispielmesskurve

3 Vorbereitungsaufgaben

1. Zeichnen Sie die Kennlinie einer Triode auf (Strom-Spannungsverlauf) und erklären Sie deren Verlauf.
2. Erklären Sie wie sich die Kennlinie verändert, wenn sich in der Triode eine kleine Menge Gas befindet.
3. Zum Termschema: Wieviel Energie bräuchte ein Teilchen, um ein Quecksilberatom zu ionisieren? Und um ein Hg-Atom anzuregen?

4 Durchführung

1. Verbinden sie die Geräte wie in Abb. 2.
2. Schalten Sie das Oszilloskop und das Betriebsgerät ein.
3. Drehen Sie die Verstärkung des Betriebsgeräts aufs Minimum.
4. Stellen Sie eine Rampe von 0 bis 80 V im Betriebsgerät ein.
5. Drehen Sie die Heizungsspannung der Glühkathode langsam auf, bis Sie die Kennlinie einer Triode auf dem Oszilloskop sehen (in X-Y Darstellung). Vergewissern Sie sich, dass der Verstärker des Betriebsgerätes dabei nicht in Sättigung kommt (Maximale Ausgangsspannung des Verstärkers 8 V).
6. Drehen Sie das Gegenspannungs-Potentionmeter auf 12 V und drücken Sie auf den „+/-“ Knopf. Aus der Veränderung der Kennlinie können Sie schlussfolgern, welche Einstellung die Elektronen abbremst. Stellen Sie dann eine Gegenspannung von 1,5 V ein.
7. Zeichnen Sie (und speichern Sie das Signal auf einem USB-Stick) das Oszilloskopsignal im Laborbuch und erklären Sie dieses, notieren Sie dabei die wichtigsten Merkmale der Kennlinie.
8. Schalten Sie die Heizung des Franck-Hertz Rohres ein und heizen Sie das Rohr auf 120 °C. Warten Sie 15 Minuten nachdem die Temperatur von 120 °C erreicht wurde, damit sich ein thermodynamisches Gleichgewicht einstellt.
9. Es kann sein, dass Ihr Signal auf dem Oszilloskop erheblich geringer ist als vorher (kann sogar null sein). Warum?
10. Erhöhen Sie die Heizspannung der Glühkathode erneut, bis Sie ein eindeutiges Signal im Oszilloskop sehen. Achten Sie darauf, dass der Verstärker dabei nicht in Sättigung kommen soll.
11. Erklären sie den Assistenten das Signal am Oszilloskop. Wieviel Energie benötigen die Elektronen, um den Hg-Dampf zu ionisieren?
12. Wenn Die Temperatur des Rohres höher wäre: bräuchten die Elektronen mehr oder weniger Energie um die Hg-Atome zu ionisieren?
13. Zeichnen Sie (und speichern Sie das Signal auf einem USB-Stick) das Oszilloskopsignal im Laborbuch und erklären Sie dieses, notieren Sie dabei die wichtigsten Merkmale der Kennlinie.
14. Heizen Sie das Rohr auf 190 °C. Warten Sie 15 Minuten nachdem die Temperatur von 190 °C erreicht wird, damit sich ein thermodynamisches Gleichgewicht einstellt.

15. Es kann sein, dass Ihr Signal auf dem Oszilloskop erheblich geringer ist als vorher (kann sogar null sein). Warum?
16. Erhöhen Sie die Heizspannung der Glühkathode erneut, bis Sie ein eindeutiges Signal im Oszilloskop sehen. Achten Sie darauf, dass der Verstärker dabei nicht in Sättigung kommen soll.
17. Überprüfen Sie am Oszilloskopsignal Ihre Hypothese aus Punkt Nr. 12.
18. Zeichnen Sie (und Speichern Sie das Signal auf einem USB-Stick) das Oszilloskopsignal im Laborbuch und erklären Sie dieses, notieren Sie dabei die wichtigsten Merkmale der Kennlinie.
19. Heizen Sie das Rohr auf 220 °C. Warten Sie 15 Minuten nachdem die Temperatur von 220 °C erreicht wurde, damit sich ein thermodynamisches Gleichgewicht einstellt.
20. Es kann sein, dass Ihr Signal auf dem Oszilloskop erheblich geringer ist als vorher (kann sogar null sein). Warum?
21. Maximieren Sie die Verstärkung des Betriebsgerätes und stellen Sie die Glühkathodenspannung so ein, dass Sie ein Signal wie in Abb. 3 im Oszilloskop finden.
22. Stellen Sie das Oszilloskop auf Zeitachsen-Darstellung ein, um die Cursor-Funktion benutzen zu können. Stellen Sie sicher, dass Ch1 und Ch2 immer auf dem Bildschirm zu sehen sind. Bestimmen Sie so gut wie möglich den Spannungsabstand zwischen den Maxima, berechnen Sie aus dem Mittelwert die Anregungsenergie des Quecksilbers.

5 Breite der Minima

Nach dem Bohrschen Atommodell sollten die Anregungsenergien scharfe Minima aufweisen (siehe Abb. 4). Warum sind die Minima so breit (wie in Abb. 3)? Entwickeln Sie eine Hypothese und versuchen Sie diese mit weiteren Messungen zu überprüfen. Besprechen Sie Ihre Ergebnisse mit der Praktikumsassistentz. *HINWEIS: Achten Sie auf die Teilchen-Temperaturdistribution und aufs Termschema.*

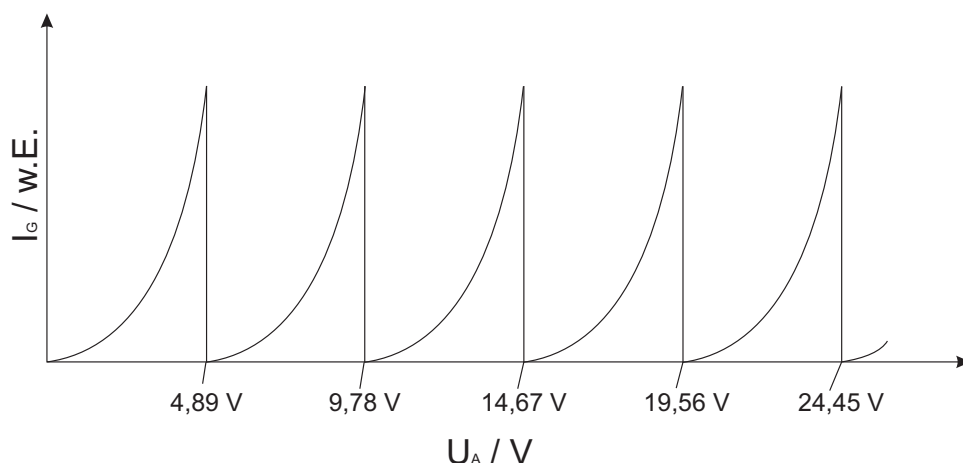


Abbildung 4: Nach Bohr sollten wir im Oszilloskop scharfe Minima sehen. Warum ist das nicht so?

Literatur:

- W. Demtröder, *Experimentalphysik 3*, Kap 2.4, 2.5, 3.4, 4. Auflage, 2010.
- W. Demtröder, *Experimentalphysik 2*, Kap 5.9, 6. Auflage, 2013.
- W. Demtröder, *Experimentalphysik 1*, Kap 10.4, 6. Auflage, 2013.
- H. Haken, H. C. Wolf, *Atom- und Quantenphysik*, Kap. 8.8, 8. Auflage, 2004.
- G. Rapior, K. Sengstock, V. Baev, *New features of the Franck-Hertz experiment*, Am. J. Phys. 74, 423, 2006. (Zugänglich im CAU-Netz <http://dx.doi.org/10.1119/1.2174033>).

4.2017/Ra, VdM