

Franck-Hertz-Versuch

Laborprotokoll

Katharina Breitenecker
e9726120@student.tuwien.ac.at

Herbert V. Riedel
e9725348@student.tuwien.ac.at

28. April 1999*

*Zeitpunkt der experimentellen Durchführung

Zusammenfassung

Dies stellt das Laborprotokoll von den, in der Laborübung am Mittwoch, den 28. April 1999, im Rahmen der LVA durchgeführten *Experimente* dar.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Theoretische Grundlagen	3
1.1	Worum geht es überhaupt?	3
1.2	Das Bohrsche Atommodell	4
1.3	Die Stoßversuche von Franck und Hertz	4
2	Messungen	7



Abbildung 1: James Franck



Abbildung 2: Gustav Hertz

1 Einleitung und Theoretische Grundlagen

1.1 Worum geht es Überhaupt?

Um den Begriff *Energieniveau* eines gebundenen Systems zu klären, betrachtet man am besten zuerst ein Atom als Beispiel eines solchen Systems. Atomen kann Energie in Form von *Strahlung* oder über *elastische und inelastische Stöße* zugeführt werden. Zugeführte Energie wird von einem Atom kurz gespeichert und dann in Form eines *Photons* (γ -Quants) abgegeben. Das Entscheidende dabei ist, daß Energie nicht kontinuierlich, in jeder beliebigen Menge, sondern nur in bestimmten Portionen (sogenannten *Quanten*) von Atomen absorbiert und emittiert werden kann.

Dies ist eine der wichtigsten Entdeckungen der Physik zu Beginn des 20. Jahrhunderts und wurde zum ersten Mal in einem berühmten Versuch von den deutschen Physikern *James Franck* (1882–1964) und *Gustav Ludwig Hertz* (1887–1975) gezeigt. In Versuchen fanden sie heraus, daß sich Quecksilberdampf nur dann durch Stöße mit Elektronen in einem elektrostatischen Feld anregen lassen, wenn die Elektronen im elektrischen Feld eine Energie erreicht haben, die mindestens gleich der niedrigsten Anregungsenergie der Quecksilberatome ist. In anderen Worten bedeutet das, sie haben die

Bohrschen Postulate, und damit das *Bohrsche Atommodell* experimentiell bestätigt. Dafür erhielten sie 1925 den Nobelpreis.

1.2 Das Bohrsche Atommodell

Atome bestehen aus einem positiv geladenem Kern und einer negativ geladenen Elektronenhülle, die den Kern umkreisen. Nach der klassischen Mechanik kann sich ein solches System nur dann im Gleichgewicht befinden, wenn sich die Elektronen auf bestimmten Bahnen um den Kern bewegen („Planetenmodell“). Allerdings wäre ein solches Atom aus der Sicht der klassischen Elektrodynamik stets instabil, da die Elektronen beim Umkreisen der Bahn, was einer beschleunigten Bewegung entspricht, Energie in Form von elektromagnetischen Wellen ausstrahlen müßten, und sich deswegen dem Kern immer mehr nähern und schließlich hineinfallen müßten, daraus folgt wiederum, daß man statt scharfer Spektrallinien ein kontinuierliches Spektrum beobachten müßte, da sich die Umlauffrequenz stetig ändern müßte. So sind im Widerspruch zur klassischen Elektrodynamik Atome stabil.

Der Physiker Niels Bohr formulierte im Jahre 1913 seine Postulate und zeigte, daß die klassische Physik auf inneratomare Bewegung nicht mehr anwendbar ist.

1. Atome und Atomsysteme können auf Dauer nur in bestimmten stationären Zuständen existieren, in denen sie weder Energie absorbieren noch emittieren, obwohl dabei Bewegungen geladener Teilchen stattfinden. In diesen Zuständen haben die Atomsysteme Energiewerte, die eine diskrete Folge bilden. Die stationären Zustände E_1, E_2, E_3, \dots werden durch ihre Stabilität charakterisiert, Energieänderungen können nur bei einem *Quantensprung* aus einem dieser Zustände in einen anderen erfolgen.
2. Beim Übergang aus einem stationären Zustand in einen anderen emittieren oder absorbieren die Atome nur eine Strahlung bestimmter Frequenz. Die Strahlung, die beim Übergang aus dem Zustand E_m in den Zustand E_n emittiert oder absorbiert werden kann, ist monochromatisch. Ihre Frequenz ν wird durch die Bedingung

$$E_m - E_n = h\nu \quad E_m > E_n$$

bestimmt, die sogenannte *Bohrsche Frequenzbedingung*.

1.3 Die Stoßversuche von Franck und Hertz

In einer mit Quecksilberdampf (Hg) gefüllten Röhre werden Elektronen mit einer variablen Spannung U (kinetische Energie eU) zwischen *Kathode* und Gitter 1 beschleunigt (siehe Abb. 3). Anschließend durchfliegen sie den Quecksilberdampf (Gitter 1 bis 2).

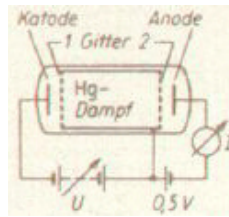


Abbildung 3: Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs

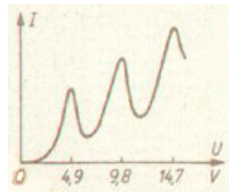


Abbildung 4: Energie-Stromstärke-Diagramm

Zwischen Gitter 2 und der Anode liegt eine kleine Gegenspannung von 0,5 V an. Elektronen, die unelastische Stöße mit Quecksilberatomen ausgeführt haben, können die Gegenspannung nicht überwinden. Nur Elektronen mit einer Restenergie von mehr als 0,5 eV treffen auf die Anode und tragen zum gemessenen Anodenstrom I bei. Man stellt fest, daß die Elektronen nur dann kinetische Energie abgeben, wenn sie einen bestimmten Schwellenwert überschreitet (ca. 4,9 eV).

Franck und Hertz schlossen richtig daraus, daß das Quecksilberatom erst eine Energieportion von 4,9 eV absorbieren kann und keine kleinere. Offensichtlich führten die Elektronen mit kleineren Energien nur *elastische Stöße* aus und bei 4,9 eV plötzlich einen *unelastischen Stoß*, bei dem sie ihre ganze kinetische Energie abgaben und nicht mehr weiterflogen. Abbildung 4 zeigt das zugehörige *Energie-Stromstärke-Diagramm*.

Die Stromstärke I , die die Elektronen verursachen, die ungestört durch den Quecksilberdampf fliegen, bricht bei 4,9 eV ein. Erhöht man die Beschleunigungsspannung U weiter, so erhalten die Elektronen soviel Energie, daß sie zwei, drei und mehr unelastische Stöße ausführen können. Man erhält entsprechend in der Auswertung bei ganzzahlig Vielfachen von 4,9 V auch Einbrüche des Anodenstroms I . Das läßt sich dadurch erklären, daß dem Energiewert von 4,9 eV (genauer: 4,85 eV) im Atom eine sogenannte Energiestufe zwischen zwei Energieniveaus entspricht¹. Das Quecksilberatom befindet sich normalerweise im (Energie-)Grundzustand, der durch die Zuführung der Energie 4,9 eV in einen angeregten Zustand² übergeht. Das

¹siehe Bohrsche Postulate

²Unter einem angeregten Zustand versteht man jeden Zustand, der gegenüber dem

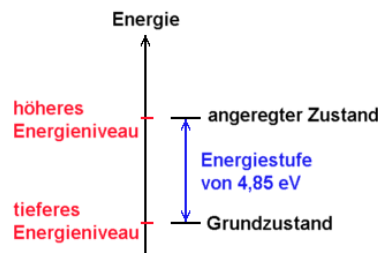


Abbildung 5: Termschema

Energieniveau des angeregten Zustands liegt also 4,9 eV über dem Niveau des Grundzustands.

Ein Quantensprung findet aber nicht nur bei der Aufnahme von Energieportionen statt sondern auch bei der Abgabe. Das angeregte Quecksilberatom wird nämlich sehr schnell wieder in den Grundzustand übergehen, indem es ein γ -Quant emittiert, das die Energieportion von 4,9 eV wieder wegtransportiert. Die Energie eines γ -Quants hängt über die Beziehung

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

mit seiner Frequenz ν bzw. Wellenlänge λ zusammen, wo bei h das Plancksche Wirkungsquantum ist. Um die 4,9 eV abzugeben, wird ein γ -Quant der Wellenlänge

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 253 \text{ nm}$$

(UV-Bereich) emittiert. Das Quecksilberatom — und mit ihm alle anderen Atome — besitzt nicht nur diesen einen angeregten Zustand, sondern sehr viele höhere Energieniveaus. Jedem Übergang eines Atoms von einem Energieniveau zum anderen entspricht die Absorption oder Emission einer bestimmten Energieportion bzw. entsprechend für das γ -Quant eine charakteristische Wellenlänge. Man kann daher Atome (und auch Moleküle) anhand der charakteristischen Wellenlängen der von ihnen emittierten γ -Quanten identifizieren. Die Gesamtheit der Wellenlängen aller Übergänge zwischen Energieniveaus eines Atoms nennt man das *charakteristische Spektrum* des Atoms.

Wenn wir bisher vom angeregten Atom gesprochen haben, so muss man genauer eigentlich von der *Elektronenhülle* des Atoms sprechen, denn der Kern spielt dabei eine Nebenrolle (er verursacht das Coulomb-Potential in dem sich die Elektronen befinden). Die Anregung eines Atoms führt zu einer Änderung des Zustands der Elektronenhülle. Dabei wird ein Elektron aus einem energetisch tieferen Zustand in einen höheren gebracht. Beim Zurück-„fallen“ gibt es das besagte γ -Quant ab.

Grundzustand mehr Energie besitzt (die ihm durch *Anregung* zugeführt wurde).

T [C°]	145		165		130	
I [A]	0,35	0,4	0,4	0,45	0,4	0,45
d_1 [V]	4,9	4,9	4,7	4,8	5,2	4,9
d_2 [V]	4,9	5	4,9	4,9	5,1	5
d_3 [V]	5	5,1	4,9	4,8	5,4	5,3
d_4 [V]	5,2	5,2	5	5		
μ [V]	5,00	5,05	4,88	4,88	5,23	5,07
σ [V]	0,14	0,13	0,13	0,1	0,15	0,21
λ [nm]	248	246	255	255	237	245

Tabelle 1: Meßwerte

2 Messungen

In Tabelle 1 sind die aus den Meßkurven herausgelesenen Abstände³ angeführt. Bei der Temperatur T von 130 C° wurde ohne Bremspotential gemessen, wodurch sich die stärkere Abweichung vom erwarteten *kritischen Potential* von 4,9 V erklären läßt. Bei den verbleibenden Temperaturen war die Gegenspannung so, wie in der Anleitung angegeben, auf einen Wert von 1,3 V eingestellt.

³siehe erste Kurve in Anlage für die Bezeichnungen d_1, d_2, d_3 und d_4 .

Literatur

- [1] Horst Stöcker (Hrsg.). *Taschenbuch der Physik (2. Auflage)*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 1994.