

Blockpraktikum für Naturwissenschaftler

Atomstruktur

Nina Köder, Laura Klinger

Inhaltsverzeichnis

1. Zielführung
2. Franck-Hertz-Versuch
 - a. Einleitung
 - b. Versuchsaufbau
 - c. Versuchsdurchführung
 - d. Auswertung
3. Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie
 - a. Einleitung
 - b. Versuchsaufbau
 - c. Versuchsdurchführung
 - d. Auswertung
4. Anhang Messwerte

1. Zielführung

Basierend auf den Erkenntnissen von Rutherford, dass Atome einen positiv geladenen Atomkern besitzen, um welchen sich negativ geladene Elektronen in einer Hülle befinden, konnte N. Bohr 1913 ein neues Atommodell aufstellen: Um den schweren positiv geladenen Atomkern bewegen sich die Elektronen auf geschlossenen Kreisbahnen. Diese Aussage steht allerdings im Widerspruch zur klassischen Elektrodynamik, die besagt, dass die zentripetal beschleunigten Elektronen ständig elektromagnetische Wellen abstrahlen müssten und somit durch den Energieverlust in den Kern stürzen würden.

Um dieses Problem zu umgehen, stellte Bohr drei nicht begründbare Postulate auf. Dabei besagt das erste Postulat, dass es um den Atomkern stabile Kreisbahnen geben muss, auf denen sich die Elektronen ohne Energieverlust bewegen können. Das zweite Postulat besagt, dass die Radien der Kreisbahnen nur diskrete Werte annehmen können. Außerdem strahlen Elektronen beim Übergang auf eine andere Bahn Energie in Form elektromagnetischer Strahlung ab. Im dritten Postulat geht es darum, dass sich die stabilen Kreisbahnen nur bei einem bestimmten Drehimpuls ergeben.

Das Ziel des Versuches „Atomstruktur“ besteht nun darin, das zweite Bohrsche Postulat mithilfe des Franck-Hertz-Versuches experimentell nachzuweisen. Dabei werden die diskreten Energieniveaus der äußeren Schalen von Quecksilberatomen betrachtet.

Mit dem zweiten Versuch „Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie“ soll jetzt die Energie der Photonen untersucht werden, die bei dem Übergang kernnaher Schalen freigesetzt wird.

2. Franck-Hertz-Versuch

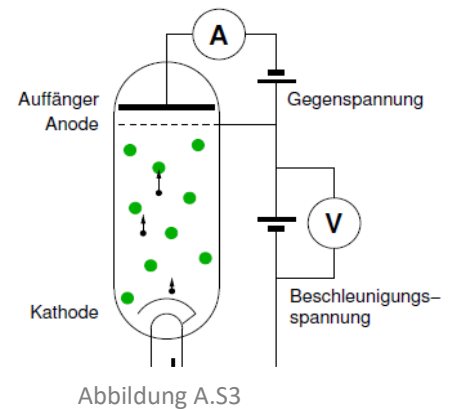
a. Einleitung

Der Franck-Hetz-Versuch stellt eines der fundamentalen Experimente der Atomphysik dar. In diesem Versuch werden die diskreten Energieniveaus der äußeren Schalen von Quecksilberatomen nachgewiesen.

Dadurch kann das zweite Bohrsche Postulat experimentell nachgewiesen werden, das besagt, dass elektromagnetische Strahlung der Frequenz f emittiert wird.

b. Versuchsaufbau

In einer mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre befinden sich am oberen Ende eine gitterartige Anode und am unteren Ende eine Kathode. Zwischen Anode und Kathode wird eine Spannung angelegt (Beschleunigungsspannung). Hinter der Anode befindet sich eine Auffängerelektrode, an welcher ein Auffängerstrom gemessen werden kann. Außerdem wird zwischen Auffängerelektrode und Anode eine Gegenspannung angelegt. An der Kathode wird eine Heizspannung angelegt.



c. Versuchsdurchführung

Die Quecksilberatome in der Röhre werden auf 155 °C aufgeheizt, sodass sie sich in einem gasförmigen Zustand befinden. Am Betriebsgerät wird nun eine Gegenspannung von 1V, 1,5V oder 2V eingestellt. Die Beschleunigungsspannung wird dabei innerhalb von 80 Sekunden auf einen Wert von 0V auf 40 Volt kontinuierlich erhöht, oder von 40V auf 0V kontinuierlich gesenkt. Dabei wird der Auffängerstrom I (in einer unbekannten Einheit) in Abhängigkeit der Zeit t (in Sekunden) mit dem Programm „measure“ aufgenommen und in einem Diagramm dargestellt. Die Franck-Hertz-Kurve wird mehrmals mit unterschiedlichen Werten für die Gegenspannung aufgezeichnet, sodass mindestens achtmal die Anregungsenergie A für ein äußeres Hüllenelektron berechnet werden kann.

d. Auswertung

I. Franck-Hertz-Kurve

Die durch die Messungen entstandenen Stromstärke-Zeit-Diagramme können mithilfe folgender Formeln in Stromstärke-Spannungs-Diagramme umgerechnet werden:

$$U = 0,5 \frac{\text{V}}{\text{s}} * t \text{ für kontinuierliches Steigern der Beschleunigungsspannung von 0V auf 40V}$$

$$U' = 40\text{V} - 0,5 \frac{\text{V}}{\text{s}} * t \text{ für kontinuierliches Absenken der Beschleunigungsspannung 40V auf 0V}$$

Strom-Spannungskennlinie für eine Gegenspannung von 2,0 V:

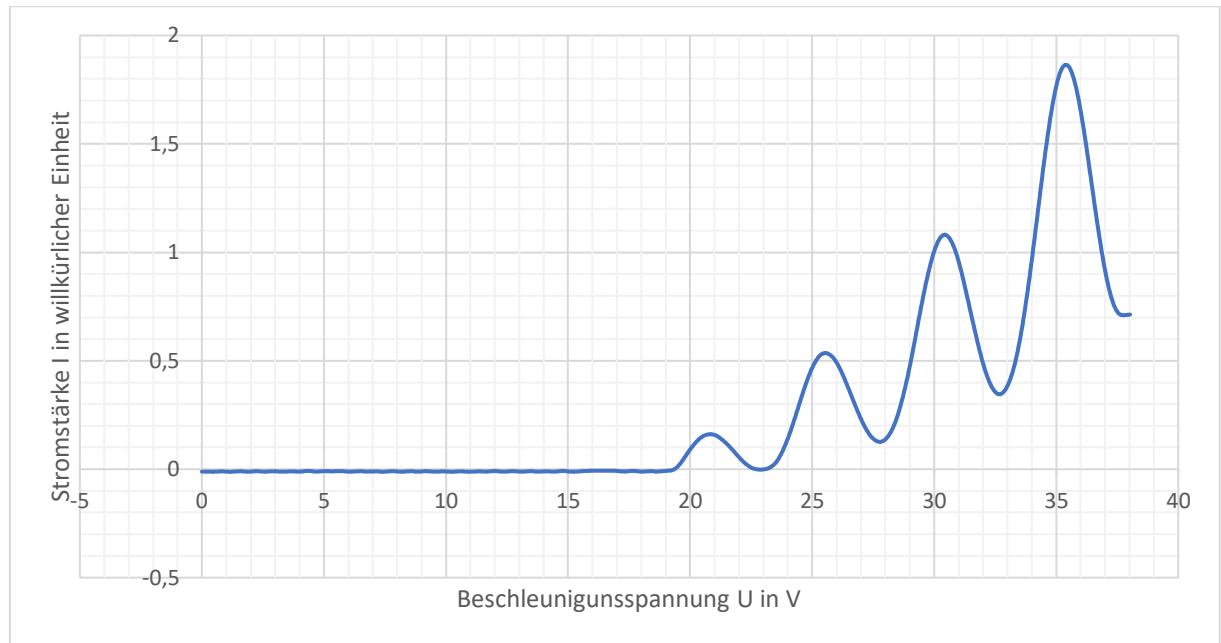


Abbildung 1: I-U-Diagramm aus Messwerten für eine Gegenspannung von 2,0 V

Strom-Spannungs-Kennlinie für eine Gegenspannung von 1,5 V:

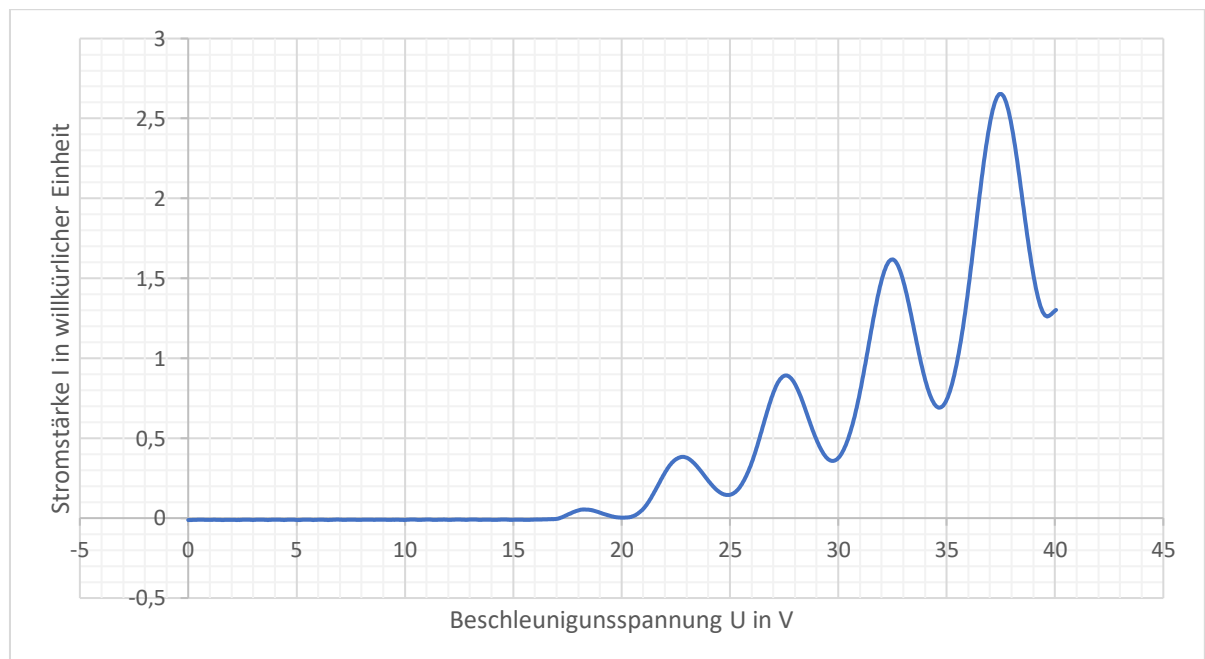


Abbildung 2: I-U-Diagramm aus Messwerten für eine Gegenspannung von 1,5 V

Zu der Gegenspannung von 1,0V kann keine Strom-Spannungs-Kennlinie aus exakten Werten erstellt werden, da die Messwerte fälschlicherweise nur für die Maxima und Minima gespeichert wurden.

Strom-Spannungs-Kennlinie für eine Gegenspannung von 1,0 V:

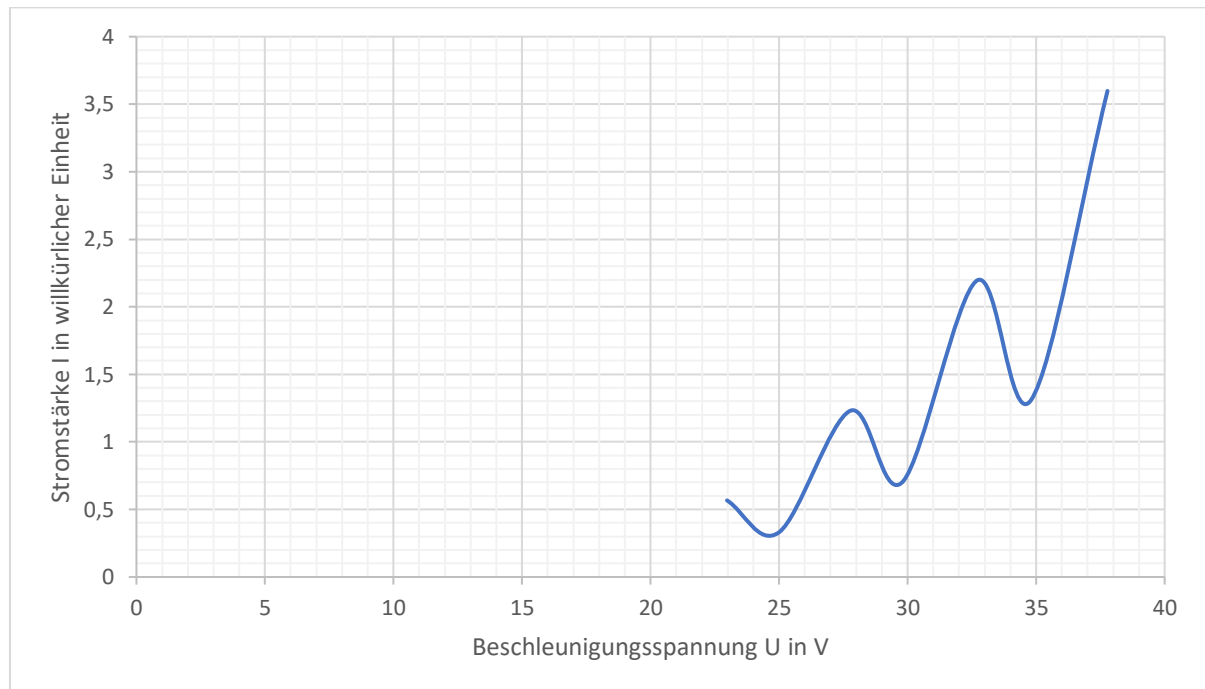


Abbildung 3: I-U-Diagramm aus Messwerten für eine Gegenspannung von 1,0 V

II. Beschleunigungsspannungswerte U_i

Um die Beschleunigungsspannungswerte U_i , an denen der Auffängerstrom den Mittelwert zwischen Strommaxima und Stromminima annimmt, zu berechnen, wird folgende Formel verwendet: $U_i = \frac{U_{max} + U_{min}}{2}$

Für die Messung mit einer Gegenspannung von 2,0 V ergeben sich folgende Werte:

Extrema	Beschleunigungsspannungen U/V	Mittelwerte U_i/V
Minimum	20,85	21,8375
Maximum	22,825	
Minimum Maximum	25,55 27,775	26,6625

Minimum Maximum	30,45 32,65	31,55
Minimum	35,35	

Tabelle 1: Mittelwerte U_i bei einer Gegenspannung von 2,0V

Für die Messung mit einer Gegenspannung von 1,5 V ergeben sich folgende Werte:

Extrema	Beschleunigungsspannung U/V	Mittelwert U_i/V
Minimum Maximum	22,825 24,895	23,86
Minimum Maximum	27,6 29,725	28,6625
Minimum Maximum	32,525 34,65	33,5875
Minimum Maximum	37,475 39,65	38,5625

Tabelle 2: Mittelwerte U_i bei einer Gegenspannung von 1,5 V

Für die Messung mit einer Gegenspannung von 1,0 V ergeben sich folgende Werte:

Extrema	Beschleunigungsspannung U/V	Mittelwert U_i/V
Maximum Minimum	37,775 34,8	36,2875
Maximum Minimum	32,7 29,8	31,25
Maximum Minimum	27,775 25	26,3875

Maximum	22,975	
---------	--------	--

Tabelle 3: Mittelwerte U_i bei einer Gegenspannung von 1,0 V

Bei der Messung mit einer Gegenspannung von 1,0 V muss beachtet werden, dass die Beschleunigungsspannung hier von 40V auf 0V kontinuierlich abgesenkt wurde, wodurch sich auch die Franck-Hertz-Kurve und dadurch die berechneten Werte verändern: Die Franck-Hertz-Kurve beginnt nun bei einem Maximum und fällt ab und entspricht daher einer an der y-Achse gespiegelten Kurve. Daher wurde die Beschleunigungsspannung hier mit folgender Formel berechnet: $U = 40V - 0,5 \frac{V}{s} * t$

Auch bei folgender Berechnung der Anregungsenergie muss nun beachtet werden, dass sich bei dieser Messung das zu berechnende ΔU mit der Formel $\Delta U' = U_i - U_{i+1}$

Aus der Differenz aufeinander folgender Werte $\Delta U = U_{i+1} - U_i$ ergibt sich direkt die Anregungsenergie $A = e * \Delta U$ in eV. Diese kann somit für die zuvor berechneten Mittelwerte U_i bestimmt werden:

Die Anregungsenergie berechnet sich mit der Formel $A = e * U$.

$(U_{i+1} - U_i) / V$	$\Delta U / V$	Anregungsenergie A / eV	
26,6625 - 21,8375	4,825	4,825	Tabelle 1
31,55 - 26,6625	4,8875	4,8875	
28,6625 - 23,86	4,8025	4,8025	
33,5875 - 28,6625	4,925	4,925	Tabelle 2
38,5625 - 33,5875	4,975	4,975	
36,2875 - 31,25	5,0375	5,0375	
31,25 - 26,3875	4,8625	4,8625	Tabelle 3

Tabelle 4: ΔU und Anregungsenergie A

Es ergeben sich somit der Mittelwert und die Standardabweichung der Anregungsenergie A:

Mittelwert $\bar{A}$: $\bar{A} = \sum_{i=1}^n A_i$

$$\bar{A} = \frac{1}{7} * (4,825 + 4,8875 + 4,8025 + 4,925 + 4,975 + 5,0375 + 4,8625) \text{ eV}$$

$$= 4,9021 \text{ eV}$$

$$\text{Standartabweichung } s: s = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}$$

$$s = 0,0772915 \text{ eV}$$

Die Standartabweichung des Mittelwerts kann folgendermaßen berechnet werden:

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$s_m = 0,0292134411 \text{ eV}$$

Mit dem Konfidenzintervall $[\bar{A} - 2 * s_m, \bar{A} + 2 * s_m]$ kann somit das Endergebnis der Anregungsenergie

$$A = (4,90 \pm 0,06) \text{ eV bzw. } A = 4,90 (1 \pm 1,2 \%) \text{ eV}$$

angegeben werden.

III. Quecksilberatom angeregter Zustand

Wenn ein Quecksilberatom aus dem ersten angeregten Zustand in den Grundzustand zurückkehrt, emittiert es ein Lichtquant der Wellenlänge 253,7 nm. Die Energie, die dieses Lichtquant transportiert kann durch die Formeln $f = \frac{c}{\lambda}$ und $\Delta E = h * f$ berechnet werden. Dabei werden die Lichtgeschwindigkeit $c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und das Planck'sche Wirkungsquantum $h = 6,6261 * 10^{-34} \text{ Js}$ benötigt. Die Umrechnung von Joule in Elektronenvolt erfolgt durch: $1 \text{ eV} = 1,602 * 10^{-19} \text{ J}$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{253,7 * 10^{-9} \text{ m}} = 1,182 * 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} \Delta E = h * f &= 6,6261 * 10^{-34} \text{ Js} * 1,182 * 10^{15} \text{ Hz} = 7,823 * 10^{-19} \text{ J} \\ &= 4,889 \text{ eV} \end{aligned}$$

Vergleicht man die hier errechnete Energie $\Delta E = 4,889 \text{ eV}$ mit dem Mittelwert der aus unseren Messwerten bestimmten Anregungsenergie von $\bar{A} = 4,883 \text{ eV}$, lässt sich erkennen, dass diese Werte sehr nah beieinander liegen. Es ergibt sich hier eine Ungenauigkeit von ca. 1,3%.

Sichtbares Licht liegt in einem Wellenlängenbereich von ca. 380 – 780 nm, wodurch der folgende Energiebereich errechnet werden kann:

$$\Delta E_{380\text{nm}} = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{380 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5,228 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,263 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{780\text{nm}} = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot \frac{299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{780 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 2,547 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,590 \text{ eV}$$

Daraus ergibt sich, dass sichtbares Licht in einem Energiebereich von 1,590 eV bis 3,263 eV liegt.

Bei dem Übergang von Quecksilberatomen von dem ersten angeregten Zustand in den Grundzustand wird ein Lichtquant der Wellenlänge 253,7nm emittiert. Diese Wellenlänge liegt nicht im Bereich von sichtbarem Licht, sondern kann dem ultravioletten Licht zugeordnet werden.

- IV. Warum spielt der genaue Zeitpunkt des Starts der Messung für die Berechnung von ΔU keine Rolle?

Die Differenz $\Delta U = U_{i+1} - U_i$ ist unabhängig von dem Startzeitpunkt der Messung. Das liegt daran, dass ΔU sich aus den aufeinanderfolgenden Mittelwerten zweier Extremwerte berechnet. Diese berechneten Werte von ΔU verändern sich nicht, auch wenn der Startzeitpunkt der Messung verändert wird, da sich der Abstand der Extremwerte zueinander nicht verändert.

Dies kann auch an der Strom-Spannungs-Kennlinie erkannt werden.

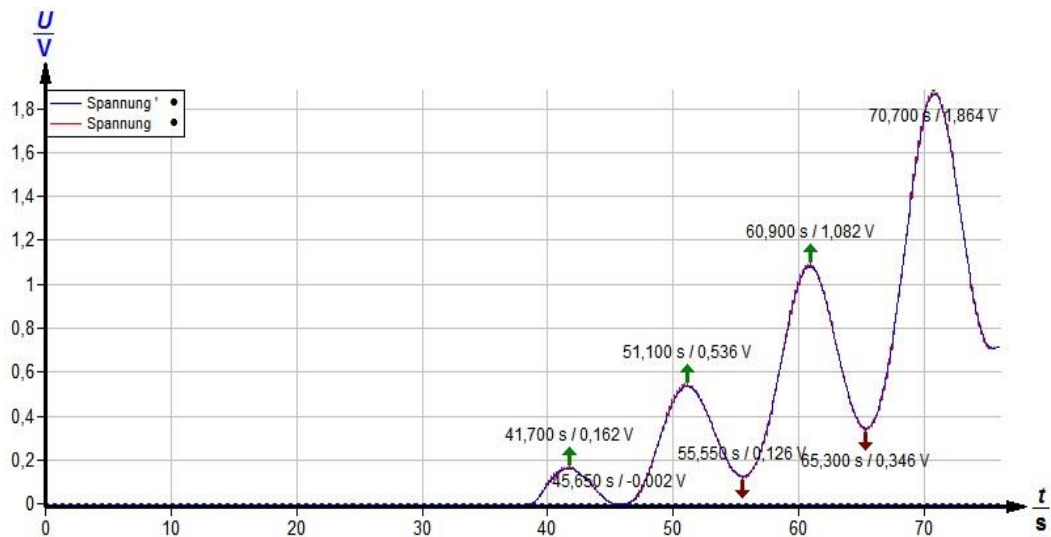


Abbildung 4: Strom-Zeit-Kennlinie bei einer Gegenspannung von 2,0 V (fälschlicher Weise U statt I)

V. Erklärung Strom-Spannungs-Kennlinie

Die Strom-Spannungs-Kennlinie des Franck-Hertz-Versuchs kann mit den Bohrschen Postulaten folgendermaßen erklärt werden:

Die durch die Glühkathode frei gewordenen Elektronen („glühelektrischer Effekt“) besitzen eine gewisse potentielle Energie, die durch die angelegte Beschleunigungsspannung zu Stande kommt. Die Energie der herausgelösten Elektronen kann variieren, z.B. da sich die Elektronen direkt nach dem Herauslösen zunächst in verschiedene Richtungen bewegen. Schon zu Beginn der Messung kann ein Auffängerstrom an der Elektrode gemessen werden, da zwischen den Elektronen und Quecksilberatomen zunächst keine bzw. nur elastische Stöße vorkommen, wobei praktisch keine Energie der Elektronen verloren geht. Die Elektronen können somit die Gegenspannung überwinden und es kommt zu einem Maximum des Auffängerstroms.

Ab einer Spannung von ca. 4,9 V besitzen die Elektronen nun genug Energie, um bei inelastischen Stößen mit den Quecksilberatomen ein Hüllenelektron eines Quecksilberatoms aus dem Grundzustand in einen angeregten Zustand zu heben. Dabei geben die Elektronen den Großteil ihrer Energie ab, wodurch sie die angelegte Gegenspannung

nicht mehr passieren können. Zu diesem Zeitpunkt kann ein Abfall des Auffängerstroms bei der Messung erkannt werden. Diese Erklärung basiert auf der Annahme, dass sich Elektronen eines Atoms auf stabilen Kreisbahnen um den positiv geladenen Atomkern bewegen, ohne dabei Energie zu verbrauchen (1. Bohrsches Postulat). Energie wird erst abgegeben, wenn das Atom durch inelastische Stöße in einen angeregten Zustand gehoben wird.

Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht, kommt es erneut zu einem Anstieg des Stroms. Dies wird damit begründet, dass die freien Elektronen nun mehr potentielle Energie besitzen, die in kinetische Energie umgewandelt werden kann. Dadurch kommt es viel früher zu elastischen Stößen mit den Quecksilberatomen und die Elektronen können die Gegenspannung wieder passieren. Grund dafür ist, dass die Elektronen auf dem verbleibenden Weg nun bei einer ausreichend hohen Beschleunigungsspannung erneut genug kinetische Energie aufnehmen können, um die angelegte Gegenspannung zu überwinden. Dadurch kommt es zu einem erneuten Anstieg des gemessenen Stroms, was dem zweiten Maximum der Messung entspricht. Der Strom steigt jetzt solange an, bis sich die Orte der inelastischen Stöße bis in die Mitte der Röhre bewegt haben.

Bei weiterer Erhöhung der Beschleunigungsspannung kommt es jetzt zu zwei inelastischen Stößen der Elektronen mit den Quecksilberatomen und der Auffängerstrom sinkt wieder ab, da die Elektronen nicht mehr genug Energie besitzen, um die Gegenspannung zu überwinden.

Dieser Vorgang wiederholt sich immer wieder. Es kommt zu keinem Zeitpunkt der Messung zu Nulldurchgängen des Stroms, was daran liegt, dass Quecksilber als Gas vorliegt und somit eine niedrige Dichte besitzt. Dadurch kann es auch dazu kommen, dass die Elektronen ohne jegliche Stöße das Gitter passieren können. Dies ist auch der Grund dafür, dass die Franck-Hertz-Kurve immer weiter ansteigt und abgesehen von den Minima nicht absinkt.

Durch die Abstrahlung von elektromagnetischer Strahlung bzw. Photonen können die angeregten Quecksilberatome wieder in ihren Grundzustand zurückkehren. Dies entspricht dem zweiten Bohrschen Postulat.

Diese experimentell bestimmte Franck-Hertz-Kurve kann somit nur mithilfe der Bohrschen Postulate erklärt werden.

3. Röntgenfluoreszenz

a. Einleitung

Bei der Röntgen-Fluoreszenz-Spektroskopie wird die Energie der Photonen analysiert, die bei Übergängen zwischen kernnahen Schalen entstehen. Dazu wird eine Probe mit hochenergetischer Röntgenstrahlung bestrahlt, wodurch es zur Ionisation der Atome aus der Probe kommt. Dies erfolgt meist durch das Herauslösen eines Elektrons aus einer der inneren Schalen. Die dadurch entstandene Lücke wird nun durch ein Elektron aus einer der äußeren Schalen aufgefüllt, wobei ein Quant mit der für den Stoff spezifischen Energie freigesetzt wird. Diese charakteristische Strahlung ist für jedes Element unterschiedlich, wodurch die chemische Zusammensetzung eines Materials bestimmt werden kann.

b. Versuchsaufbau

An ein Röntgengerät, das über eine Steuereinheit, eine Molybdän-Röntgenröhre und eine Messkammer verfügt, wird eine Hochspannung von 35 kV und ein Strom von 1,00 mA angelegt. Die zur Messung benötigte Probe wird auf den Probenhalter gelegt, welcher sich in einem 45° Winkel zum Röntgenstrahl befindet. Der Detektor wird in einem 90° Winkel zum Target positioniert. Durch das Programm „CassyLab 2“ werden die Messwerte vom Detektor auf einen Computer übertragen.

c. Versuchsdurchführung

Bevor die eigentliche Messung der Spektren starten kann, müssen die Spektren kalibriert werden. Dies erfolgt durch das Einlegen von einer Titan- und Nickelprobe auf den Probenhalter, von welchen die Energien für die $K\alpha$ -Linie bekannt sind (Titan $E_{K\alpha} = 4,47$ eV, Silber $E_{K\alpha} = 21,98$

eV). Die beiden Peaks, die nun in dem Messprogramm „CassyLab 2“ sichtbar werden, müssen nun markiert und beschriftet werden. Dabei muss das Ergebnis der Messung unter „Energiekalibrierung“ vermerkt werden.

Jetzt können die Messungen für die Stoffe Eisen, VA-Stahl, Kupfer, Nickel und Zink erfolgen. Außerdem müssen zwei unbekannte Stoffe als Proben eingelegt werden, sodass diese später analysiert werden können. Nach der jeweiligen Messung werden die Peakschwerpunkte der K_{α} -Übergänge markiert und notiert. Falls die Messung die K_{β} -Übergänge sichtbar macht, werden auch diese Energien durch das Programm ermittelt und notiert.

d. Auswertung

Bei unserer Messung ergaben sich folgende Werte für die Energien der K_{α} - und K_{β} -Übergänge:

Probe	Energie der K_{α} -Linie in keV	Energie der K_{β} -Linie in keV	Zeit t in s
Eisen (Fe)	6,36	<i>Nicht messbar</i>	180
VA-Stahl			
Chrom (Cr)	5,35	<i>Nicht messbar</i>	300
Eisen (Fe)	6,36	7,13	
Kupfer (Cu)	8,05	8,98	180
Nickel (Ni)	7,47	8,31	180
Zink (Zi)	8,65	9,65	180
5-Cent-Stück	8,04	9,00	180
50-Cent-Stück	8,16	<i>Nicht messbar</i>	180

Tabelle 5: Energien der K_{α} -Linien verschiedener Proben, Messzeiten

I. Nachweis des Moseley-Gesetzes

Nach der Gleichung AS.5 ergeben sich folgende Werte, die in einem Diagramm dargestellt werden können:

$$\sqrt{\frac{EK_{\alpha}}{13,6 \text{ eV}}} = (Z-1) * \sqrt{\frac{3}{4}}$$

Probe	Kernladungszahl Z	Energie der $K\alpha$ -Linie in keV	$\sqrt{\frac{EK\alpha}{13,6 \text{ eV}}}$
Chrom (Cr)	24	5,35	19,834
Eisen (Fe)	26	6,36	21,625
Kupfer (Cu)	29	8,05	24,329
Nickel (Ni)	28	7,47	23,436
Zink (Zn)	30	8,65	25,220

Tabelle 6: Energiewerte und Kernladungszahl der Elemente

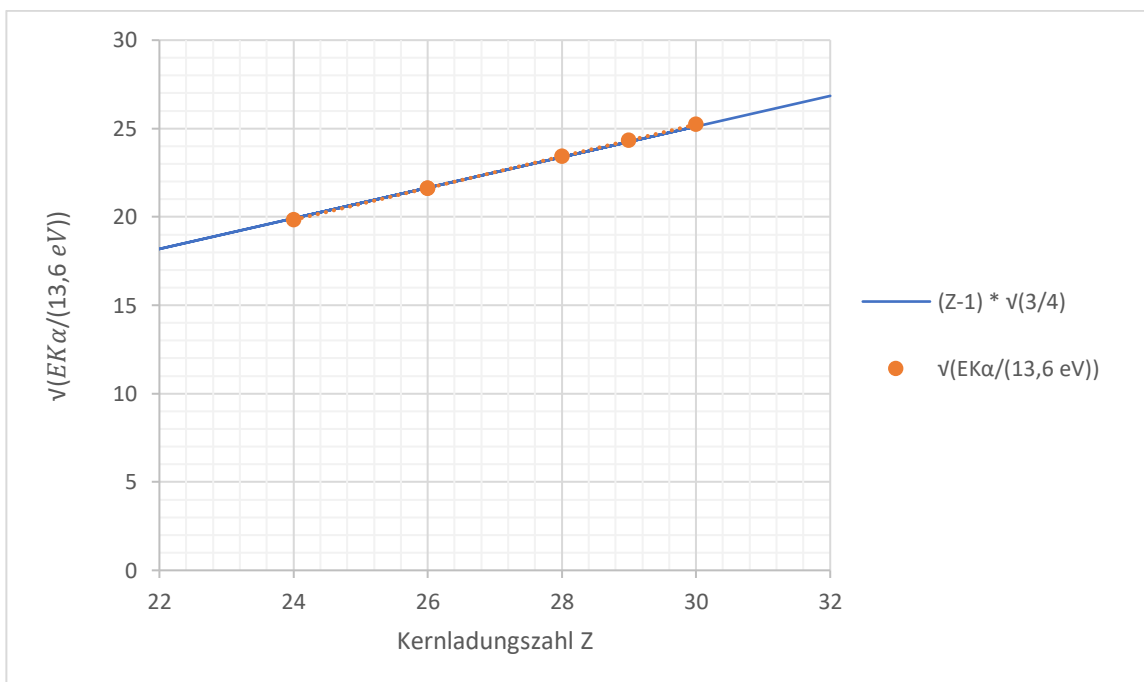


Abbildung 5: $\sqrt{\frac{EK\alpha}{13,6 \text{ eV}}}$ -Z-Diagramm

In Abbildung 5 wurden zum einen die aus unseren Messungen errechneten Werte (in orange) dargestellt, und zum anderen die Werte, die sich aus der Moseley-Formel ergeben (in blau). Es kann erkannt werden, dass unsere Werte auf einer Geraden liegen, die direkt unter der Geraden durch die errechneten Soll-Werte liegt. Somit kann gesagt werden, dass unsere Messungen ziemlich genau mit den zu erwartenden Werten übereinstimmen. Leichte Abweichungen könnten beispielsweise an Fehlern bei der Kalibrierung liegen.

Das Moseley-Gesetz kann mit diesem Schaubild (Abbildung 5) verifiziert werden, da eindeutig erkennbar ist, dass die auf unseren Messwerten basierenden Werte ziemlich genau mit den Moseley-Werten übereinstimmen.

II. Messung unbekannter Proben

Mithilfe der in der Versuchsanleitung aufgeführten Tabelle AS.1 können nun die von uns eingelegten Proben auf enthaltene Elemente untersucht werden.

Dabei handelt es sich in der ersten Probe um ein 5-Cent-Stück, aus dessen K_α -Linie eine Energie von ca. 8,04 keV gemessen werden konnte (siehe Tabelle 5). Dies entspricht nahezu der von uns gemessenen Energie der K_α -Linie von Kupfer. Auch die Energien der K_β -Linien der 5-Cent-Münze und Kupfer entsprechen einander beinahe (5-Cent: 9,00 keV; Kupfer: 8,98 keV). In unserer Messung konnten keine anderen Peaks erkannt werden, weshalb wir davon ausgehen, dass die 5-Cent-Münze aus Kupfer besteht. Die anderen Bestandteile (hier der Eisenkern) können in diesem Versuch nicht nachgewiesen werden, was an der Zusammensetzung der Metalle dieser Münze liegt: Es handelt sich hier um eine aus ca. 95% Eisen bestehende Münze, die mit Kupfer ummantelt ist (ca. 5%). In unseren Messungen konnten allerdings nur die K_α -Übergänge von Kupfer aufgenommen werden, was an der Eindringtiefe von Röntgenstrahlen liegt. Wir vermuten, dass der Großteil der Röntgenstrahlung mit den Kupferatomen der Münz-Oberfläche stößt und dadurch kaum Röntgenstrahlung bis zum Eisenkern durchdringen kann. Wenn Röntgenstrahlung trotz allem auf den Eisenkern trifft, wird durch den K_α -Übergang in einem Eisenatom wieder charakteristische Strahlung frei, die in diesem Fall der Röntgenstrahlung entspricht. Somit muss diese im Eisenkern entstehende Röntgenstrahlung die Kupferummantelung durchdringen und es kommt dadurch erneut zu Stößen mit den Kupferatomen. Dies erklärt, weshalb bei unserer Messung nur die K_α -Übergänge der Kupferatome sichtbar wird.

Bei unserer zweiten Probe handelt es sich um ein 50-Cent-Stück, aus dessen K_α -Linie eine Energie von 8,16 keV gemessen werden konnte (siehe Tabelle 5). Auch dieser Wert ähnelt dem experimentell bestimmten Energiewert von Kupfer, woraus wir schließen, dass sich auch in dieser Probe ein großer Anteil von Kupfer befindet. Wir

vermuten, dass Anteile andere Metalle in dieser Probe enthalten sein müssen, aufgrund dessen es zu einer Abweichung des von uns gemessenen Wertes für Kupfer kommt (50-Cent: 8,16 keV; Kupfer: 8,98 keV). Diese anderen Metalle können aber bei so einer geringen Messzeit nicht bestimmt werden. Das Zustandekommen eines sichtbaren Peaks ist stark von der Materialzusammensetzung abhängig: Besteht die 50-Cent-Münze also aus ca. 90% Kupfer und sehr kleinen Anteilen anderer Metalle (10%), ist es kaum möglich diese zu bestimmen. Dies liegt daran, dass die Atome der anderen Metalle weniger wahrscheinlich von einem Röntgenstrahl getroffen werden und somit bei ihren K_{α} -Übergängen auch weniger Photonen emittieren, die von uns gemessen werden können. Daraus folgt auch, dass bei einer geringen Messzeit die Wahrscheinlichkeit noch geringer ist, dass ein Peak eines K_{α} -Übergangs eines anderen Metalls sichtbar wird.

4. Anhang Messwerte

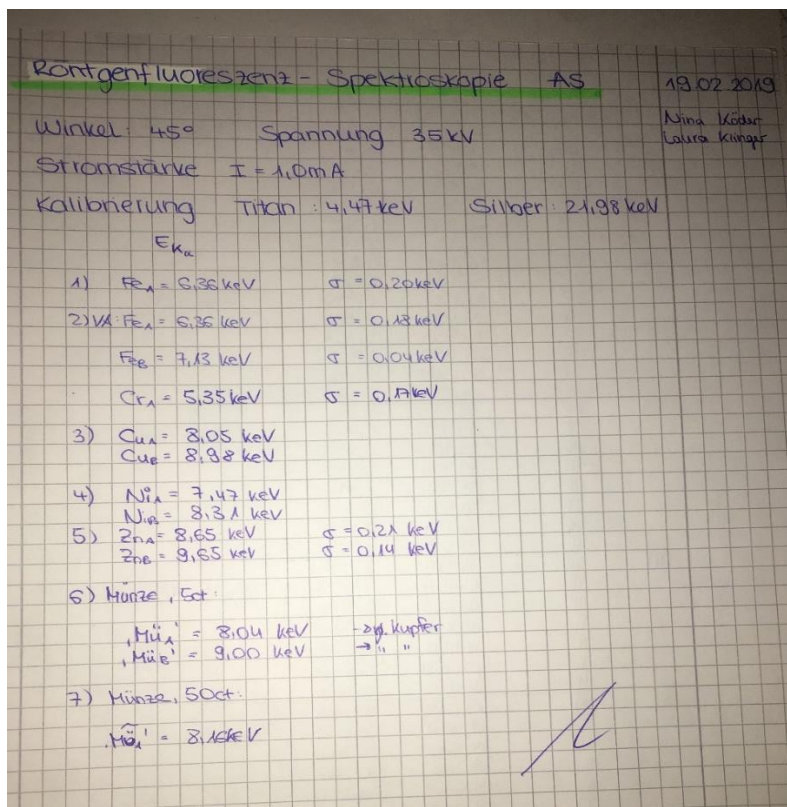


Abbildung 6: Messwerte Röntgen-Fluoreszenz-Spektroskopie

Frank-Hertz: 18.02.19
Nina Koder, Laura Kries

Solltemp.: 155°

		U/V	$I/\mu A$	
1)	HP	21,700	0,162	$U_{\text{geg}} = 2V$
	TP	45,650	0,062	
	HP	51,100	0,536	
	TP	53,550	0,126	
	HP	80,900	1,082	
	TP	85,300	0,346	
	HP	90,700	1,854	
2)	HP	4,850	2,621	$U_{\text{geg}} = 2V$
	TP	10,300	0,470	
	HP	15,100	1,535	
	TP	20,500	0,184	
	HP	24,950	0,796	
	TP	30,300	0,012	
	HP	34,550	0,288	
3)	HP	45,650	0,383	$U_{\text{geg}} = 1,5V$
	TP	49,790	0,145	
	HP	53,200	0,832	
	TP	53,450	0,385	
	HP	65,050	1,618	
	TP	69,300	0,631	
	HP	74,950	2,655	
	TP	79,300	1,261	
4)	HP	4,430	3,538	$U_{\text{geg}} = 1V$
	TP	10,400	1,309	
	HP	14,650	2,195	
	T	20,400	0,703	
	H	24,450	1,231	
	T	30,000	0,331	
	H	34,050	0,567	
5)	H	45,200	0,298	$U_{\text{geg}} = 2V$
	T	49,450	0,052	
	H	54,800	0,749	
	T	59,200	0,208	
	H	64,650	1,390	
	T	69,050	0,452	
	H	74,650	2,297	

Abbildung 7: Messwerte Franck-Hertz-Versuch