

Atomstruktur - AS

Gruppe:	4
Betreuer:	Marcel Alius
Verfasser:	Adrian Eisenhardt Nils von Schaper
Versuchsdatum:	08.03.2021
Abgabedatum:	22.03.2021
Abgabe:	Nr. 3

Inhaltsverzeichnis

1. FRANCK-HERTZ-VERSUCH	3
1.1 ZIELSTELLUNG	3
1.2 AUFBAU	3
1.3 BEOBACHTUNG.....	4
1.4 AUSWERTUNG	5
1.4.1	5
1.4.2	5
1.4.3	7
1.4.4	8
1.4.5	8
1.5 FAZIT	8
2. RÖNTGENFLUORESZENZ-SPEKTROSKOPIE	9
2.1 ZIELSTELLUNG	9
2.2 AUFBAU	9
2.4 AUSWERTUNG	9
2.4.1	9
2.4.2	11
2.5 FAZIT	13
3. ANHANG	14

1. Franck-Hertz-Versuch

1.1 Zielstellung

Es soll das 2. Bohrsche Postulat nachgewiesen werden, indem die Anregungsenergie eines Quecksilberatoms mit Hilfe des Franck Hertz Versuchs bestimmt wird.

1.2 Aufbau

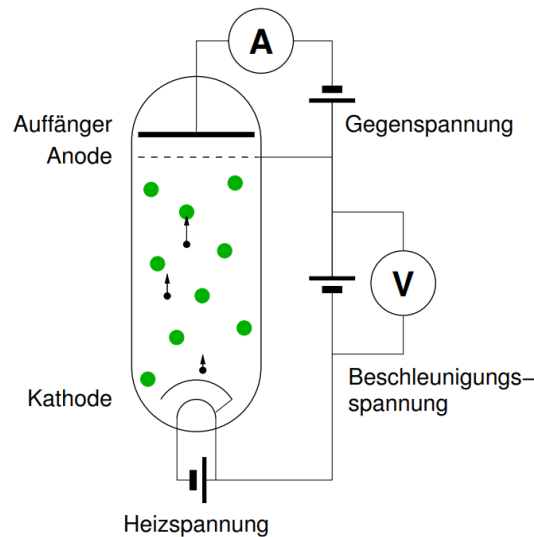


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Franck-Hertz Versuchs

Durch eine ausschließlich mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre, werden von einer Glühwendel erzeugte freie Elektronen mittels einer Beschleunigungsspannung beschleunigt. Diese Elektronen stoßen dabei auf ihrem Weg gegen einzelne Quecksilberatome und prallen anschließend auf eine Auffängeranode. Zusätzlich wird vor der Anode eine Gegenspannung angelegt die niederenergetische Elektronen abbremst und aufhält. Während des Versuchs wird die Beschleunigungsspannung konstant von 0V auf 40V mit 0,5V pro Sekunde erhöht. Dabei wird mithilfe eines Computerprogramms der Auffängerstrom über der Zeit in einem Diagramm festgehalten. Diese Messung wird sechsmal durchgeführt, je zweimal mit einer Gegenspannung von 1V, 1,5V und 2V.

1.3 Beobachtung

Der Versuch wird insgesamt sechsmal durchgeführt, wobei die Gegenspannung bei je zwei Versuchen 1V, 1,5V und 2V beträgt. Es ergeben sich Diagramme der folgenden Art:

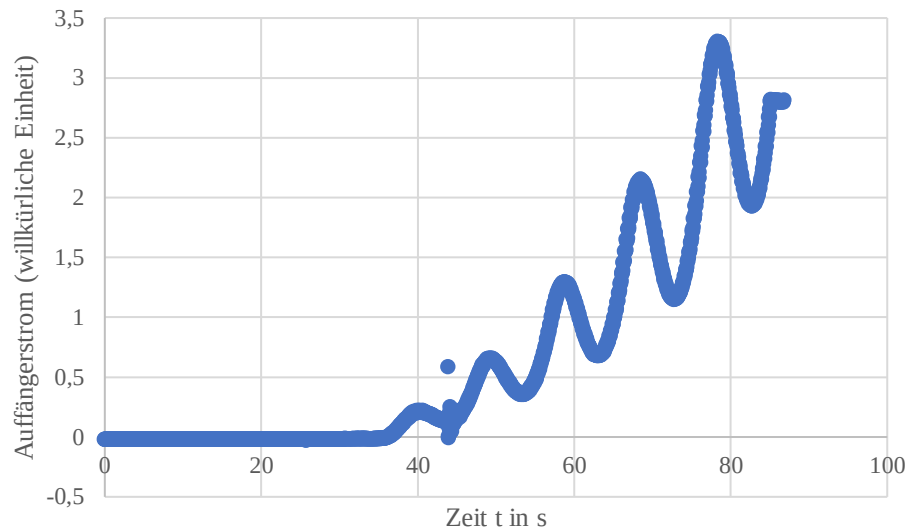


Abbildung 2: Darstellung der Messergebnisse für Gegenspannung 1V

Die Diagramme der übrigen Versuchsdurchführungen sehen charakteristisch ähnlich aus.

1.4 Auswertung

1.4.1

Siehe 1.3

1.4.2

Es soll die Anregungsenergie A bestimmt werden. Im ersten Schritt wird dafür der genaue Zeitpunkt zwischen den Hoch- und Tiefpunkten t_i bestimmt.

Tabelle 1: Zeitpunkte der Hoch- und Tiefpunkte mit t_i und Gegenspannung

Messung	t_{HP} in s	t_{TP} in s	t_i in s	Gegenspannung in V
1	49,1	53,2	51,15	1
1	58,75	62,9	60,825	1
1	68,5	72,75	70,625	1
1	78,35	82,8	80,575	1
2	45	49,25	47,125	1
2	54,7	59,05	56,875	1
2	64,3	68,85	66,575	1
2	74,3	78,65	76,475	1
3	44,85	49,2	47,025	1,5
3	54,45	58,85	56,65	1,5
3	64,3	68,7	66,5	1,5
3	74,1	78,45	76,275	1,5
4	45	49,45	47,225	1,5
4	54,4	58,5	56,45	1,5
4	64,45	68,7	66,575	1,5
4	74,2	78,75	76,475	1,5
5	45,8	49,2	47,5	2
5	55,2	59,75	57,475	2
5	65	69,65	67,325	2
5	75	79,55	77,275	2
6	45,65	49,1	47,375	2
6	55,25	60	57,625	2
6	65,1	69,55	67,325	2
6	74,85	79,5	77,175	2

Anschließend wird die Differenz der aufeinanderfolgenden t_i bestimmten mit:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i \quad (1)$$

Nun wird die Differenz der Beschleunigungsspannung ΔU zwischen den t_i s bestimmt mit

$$\Delta U = c \cdot \Delta t \quad \text{mit} \quad c = 0,5 \frac{\text{V}}{\text{s}} \quad (2)$$

Es kann nun aus den bisher ermittelten Werten die Anregungsenergie A eines Quecksilberatoms berechnet werden. Dafür wird die folgende Formel verwendet:

$$A = e \cdot \Delta U \quad \text{mit Elementarladung } e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C} \quad (3)$$

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse für Δt , das daraus berechnete ΔU , sowie den im Anschluss berechneten Anregungsenergien A dargestellt:

Tabelle 2: Ermittelte Zeitabstände Δt zwischen Zeitpunkten t_i und zugehörige ΔU

Messung	Rechnung (1)	Δt in s	ΔU in V	A in eV
1	$t_2 - t_1$	9,675	4,8375	4,8375
1	$t_3 - t_2$	9,8	4,9	4,9
1	$t_4 - t_3$	9,95	4,975	4,975
2	$t_2 - t_1$	9,75	4,875	4,875
2	$t_3 - t_2$	9,7	4,85	4,85
2	$t_4 - t_3$	9,9	4,95	4,95
3	$t_2 - t_1$	9,625	4,8125	4,8125
3	$t_3 - t_2$	9,85	4,925	4,925
3	$t_4 - t_3$	9,745	4,8725	4,8725
4	$t_2 - t_1$	9,225	4,6125	4,6125
4	$t_3 - t_2$	10,125	5,0625	5,0625
4	$t_4 - t_3$	9,9	4,95	4,95
5	$t_2 - t_1$	9,975	4,9875	4,9875
5	$t_3 - t_2$	9,85	4,925	4,925
5	$t_4 - t_3$	9,95	4,975	4,975
6	$t_2 - t_1$	10,25	5,125	5,125
6	$t_3 - t_2$	9,7	4,85	4,85
6	$t_4 - t_3$	9,85	4,925	4,925

Es soll im Anschluss ein Mittelwert aus den Anregungsenergien A aus allen sechs Versuchen gebildet werden, sodass mittels der Standardabweichung ein Ergebnis für die Anregungsenergie mitsamt seiner Unsicherheit korrekt dargestellt werden kann. Der Mittelwert wird wie folgt gebildet:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \quad (4)$$

Daraus ergibt sich $\bar{A} = 4,9125 \text{ eV}$

Um die Unsicherheit ΔA zu ermitteln wird die Standardabweichung s mit der folgenden Formel bestimmt:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2} \quad (5)$$

Dies führt zu einem Wert von $s = 0,1118.. \text{ eV}$

Um die Standardabweichung des Mittelwertes zu berechnen wird die folgende Formel verwendet:

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

Daraus ergibt sich $s_m = 0,0271.. \text{ eV}$

Um den studentischen Faktor von $t = 2$ zu berücksichtigen wird s_m mit 2 multipliziert. Durch Einsetzen aller lässt sich das Konfidenzintervall ermitteln als

$$\pm 2 \cdot s_m = 0,0542.. \text{ eV} \quad (\text{GR.16})$$

Somit lässt sich die Anregungsenergie A eines Quecksilberatoms korrekt gerundet angeben als

$$A = (4,91 \pm 0,06) \text{ eV} \text{ bzw. } A = 4,91(1 \pm 1,2\%) \text{ eV}$$

1.4.3

Die Energie, die durch das Zurückfallen auf die Ursprungsschale des Elektrons als elektromagnetische Welle emittiert wird lässt sich berechnen über die Formel:

$$\Delta E = h \cdot f \quad (6)$$

Wobei h das Planck'sche Wirkungsquantum ist. Die Frequenz f ergibt sich aus der Wellenlänge $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ der emittierten Welle und der Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = 2,99.. \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$$\Delta E = 6,626.. \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{299.. \frac{\text{m}}{\text{s}}}{253,7 \text{ nm}}$$

Dies führt für diesen Fall auf ein $\Delta E = 4,887039.. \text{ eV}$ also ein $\Delta E \approx 4,89 \text{ eV}$

Dieser Wert liegt im Unsicherheitsintervall des zuvor experimentell ermittelten Wertes der Anregungsenergie A und sehr nah am ermittelten Mittelwert.

Die Energie liegt im Bereich der schwachen UV-Strahlung.

Sichtbares Licht liegt in einem Wellenlängenbereich von circa 400 nm bis circa 700 nm .

Die Energie des sichtbaren Lichts kann auf die gleiche Weise wie die Emissionsenergie der Quecksilberatome berechnet werden. Es ergibt sich, dass sichtbares Licht etwa in einem Energiebereich von $1,8 \text{ eV}$ bis 3 eV liegt.

1.4.4

Der genaue Zeitpunkt des Starts der Messung spielt für die Berechnung von ΔU keine Rolle, da nur die Zeitdifferenzen der Mittelwerte zwischen den Hoch- und drauffolgenden Tiefpunkten betrachten werden. Diese sind unabhängig von der Startzeit, da diese sich bei einer Verschiebung der Startzeit gleichermaßen mitverschieben, sodass sich die Differenz nicht ändert. Es sind nur die Zeitdifferenzen relevant, da die Spannung mit einer bekannten und konstanten Geschwindigkeit zunimmt und so die Spannungsdifferenz nur vom zu einer bestimmten Zeitdifferenz zu jeder Zeit identisch ist.

1.4.5

Bei geringer Beschleunigungsspannung stoßen die Elektronen nur elastisch gegen die Quecksilberatome und übertragen damit keine Energie. Es wird also die gesamte Energie des Elektrons im Graphen des Auffängerstroms sichtbar. Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht steigt der Auffängerstrom solange, bis die Elektronen in der Lage sind einzelne Quecksilberatome anzuregen. Dadurch verlieren die Elektronen einen Teil ihrer Energie, wodurch sie die Gegenspannung nichtmehr überwinden können und es zu einem abfallen des Auffängerstroms kommt. Der erste Hochpunkt im Graphen des Auffängerstroms ist also genau bei jener Spannung erreicht bei dem die Elektronen die maximale Energie haben, ohne Quecksilberatome anregen zu können.

Der Auffängerstrom fällt bis zu seinem ersten Tiefpunkt ab, weil mit zunehmender Beschleunigungsspannung immer mehr Elektronen Quecksilberatome anregen und die Gegenspannung danach nichtmehr überwinden können. Zu Beginn des Wiederanstiegs erhalten die ersten Elektronen genügend Energie, um nach dem inelastischen Stoß mit den Quecksilberatomen zusätzlich die Gegenspannung passieren zu können. Der Auffängerstrom steigt nun so lange an bis die ersten Elektronen wieder ausreichen Energie haben ein zweites Quecksilberatom anzuregen. Somit kommt es zu einem Hochpunkt und einem erneuten Abfall des Auffängerstroms. Dieser Vorgang wiederholt sich bis zum maximum der Beschleunigungsspannung.

Da die Beschleunigungsspannung konstant erhöht wird, der Auffängerstrom in regelmäßigen Zeitabständen einen Hoch- und darauf folgenden Tiefpunkt aufweist, wird gezeigt, dass die Kreisbahnen der Elektronen der Quecksilberatome ein bestimmtes Energieniveau haben.

1.5 Fazit

Es wurde das 2. Bohrsche Postulat nachgewiesen. Messfehler wurden zu minimieren versucht indem, dieselbe Messung mit demselben Versuchsaufbau mehrfach durchgeführt wurde. Der experimentell ermittelte Wert der Anregungsenergie A stimmt mit dem berechneten Wert überein, was nahelegt, dass das Experiment verlässlich ist.

2. Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

2.1 Zielstellung

Es sollen mittels der Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie die Energie der Photonen, die bei dem Übergang zwischen kernnahen Schalen entstehen analysiert werden. Diese ist für jedes Element charakteristisch, was eine eindeutige Bestimmung der Elemente eines Stoffes ermöglicht. Es soll eingangs die charakteristische Strahlung von Eisen, Kupfer, Zink, Nickel, Chrom und anhand dieser die Elemente einer unbekannten Probe bestimmt werden.

2.2 Aufbau

Eine Probe wird im 45° Winkel mit Röntgenstrahlung beschossen. Dadurch wurde ein Elektron aus der K-Schale herausgeschossen, wodurch Elektronen aus weiter außen liegenden Schalen nach innen gefallen sind, um diese Lücke zu füllen. Dadurch geben sie Photonen mit einer charakteristischen Energie ab, welche mit Hilfe eines Sensors erfasst wird. Die Signale des Sensors welche den Energien entsprechen werden mit Hilfe eines Computerprogramms in einem Diagramm aufgetragen, sodass darin für jedes Element ein diskreter Peak sichtbar wird.

2.4 Auswertung

2.4.1

Es soll zu den bestimmten Energiewerten der K_{α} -Linien für Cr, Fe, Ni, Cu und Zn jeweils

$\sqrt{\frac{E_{K_{\alpha}}}{13,6 \cdot eV}}$ (AS. 5) berechnet und in einem Diagramm dargestellt werden. Hierfür werden die folgenden Werte verwendet:

Tabelle 3: Elemente mit ihren zugehörigen charakteristischen Energien

Element	Ordnungszahl Z	$E_{K_{\alpha}}$ in eV	(AS.5)
Chrom	24	5330	19,79..
Eisen	26	6430	21,74..
Nickel	28	7460	23,42..
Kupfer	29	8050	24,32..
Zink	30	8640	25,20..

Zusätzlich soll eine Gerade mit Geradengleichung $(Z - 1) * \sqrt{\frac{3}{4}}$ was dem Moseley-Gesetz entspricht eingezeichnet werden.

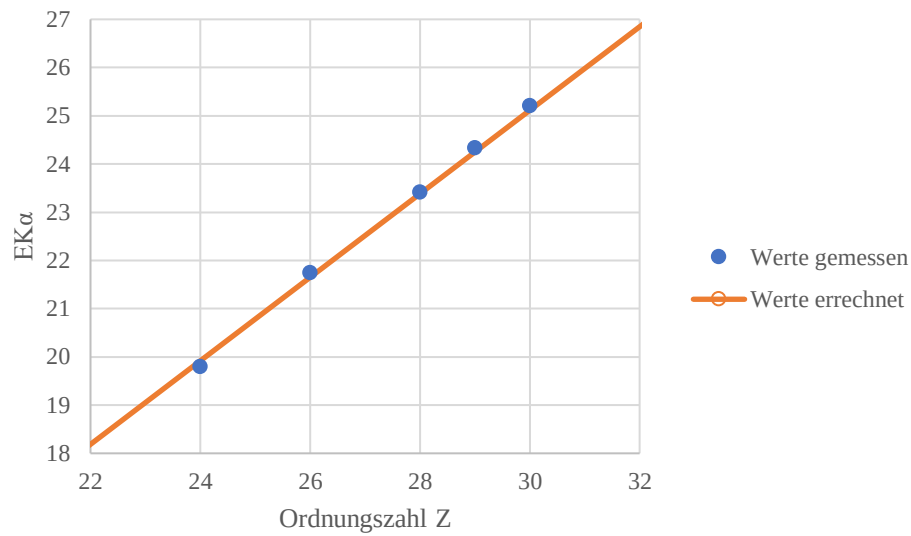


Abbildung 3: gemessenen Energiewerte der charakteristischen Strahlungen verglichen mit Sollwert aus Formel

Es ist zu sehen, dass die Experimentell ermittelten Werte nahezu auf der erwarteten Geraden liegen. Damit kann das Moseley-Gesetz verifiziert werden.

2.4.2

Es werden zwei unbekannte Proben auf ihre Bestandteile untersucht. Die erste Probe, ein 50 Cent Stück, ergibt das folgende Diagramm:

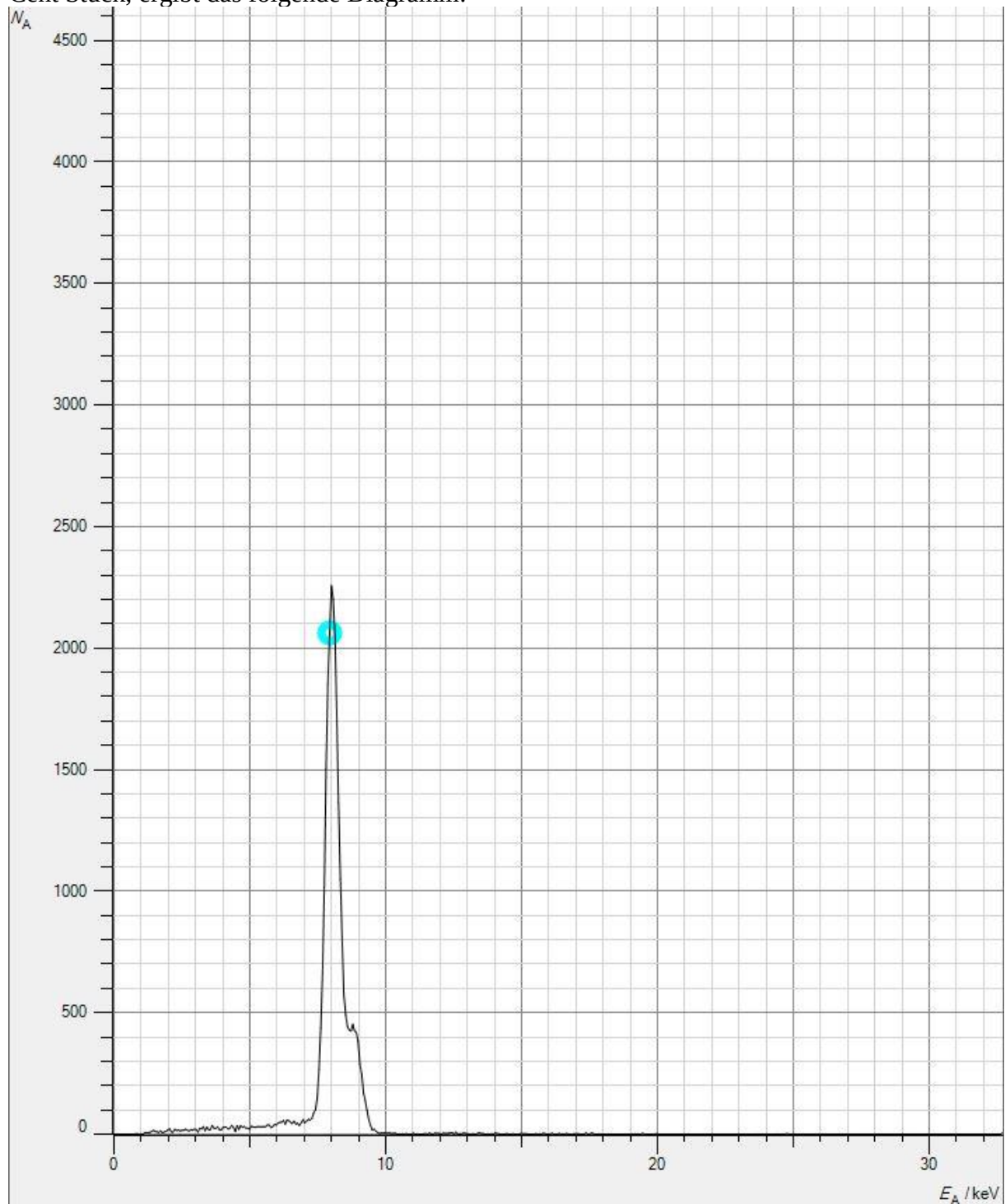


Abbildung 4: Diagramm des 50ct Stücks

Es sind zwei Peaks zu erkennen, ein großer bei 8keV was Kupfer entspricht, ein zweiter bei 8,9keV was der K_β -Strahlung von Kupfer entspricht. Des Weiteren ist ein Knick bei 8,56keV ersichtlich, dies entspricht Zink. Eine 50 Cent Münze besteht also aus Kupfer und Zink.

Die zweite Probe ist eine 5 Cent Münze.

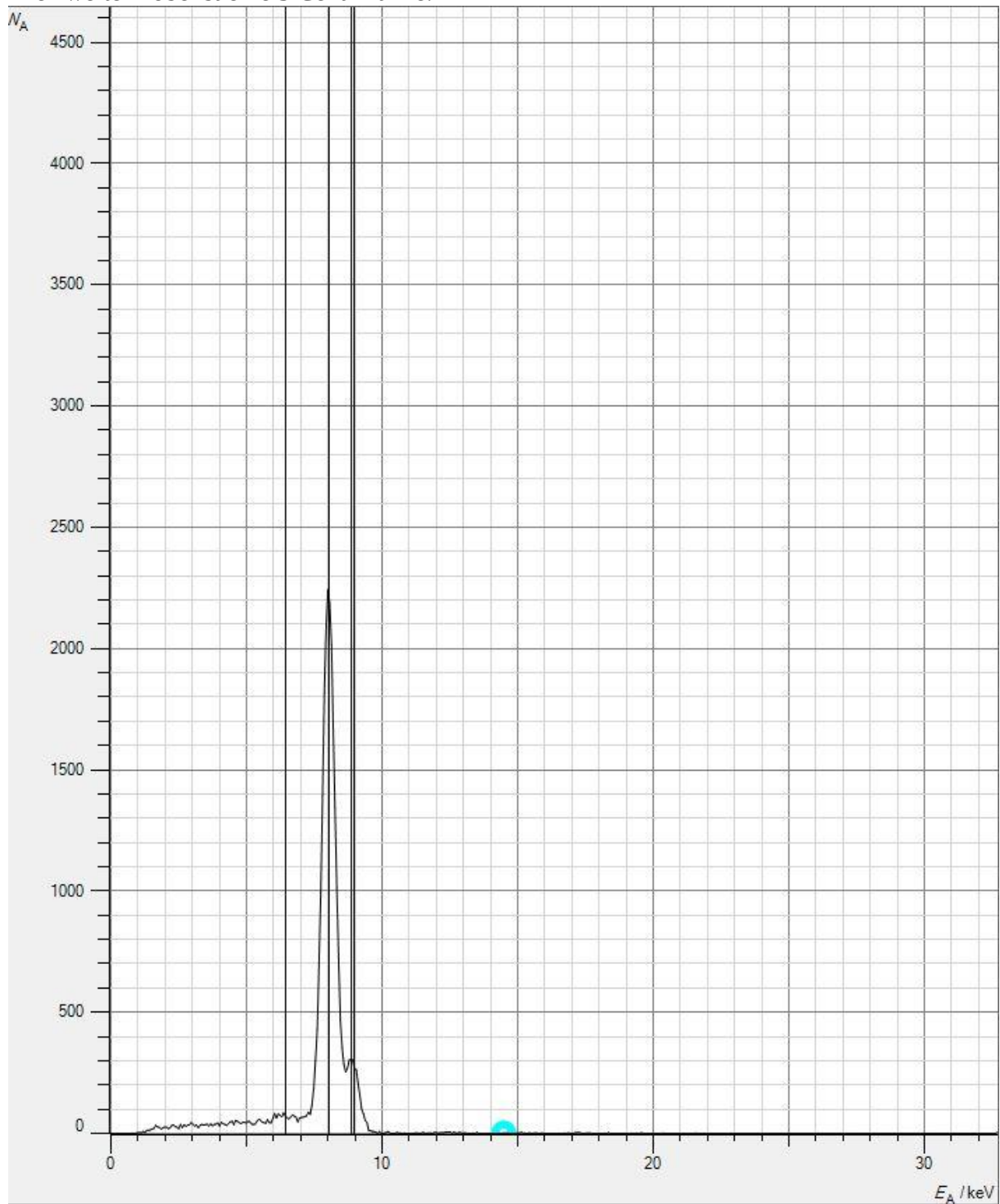


Abbildung 5: Diagramm des 5ct Stücks

Es sind drei Peaks zu erkennen. Der erste Peak liegt bei 6,45keV und entspricht Eisen. Der zweite Peak liegt bei 8,03keV und entspricht der K_α -Strahlung von Kupfer. Der dritte Peak liegt bei 8,85keV und entspricht damit der K_β -Strahlung von Kupfer. Ein 5 Cent Stück setzt sich also aus Eisen und Kupfer zusammen.

2.5 Fazit

Im ersten Teil wurden die charakteristischen Strahlungen von verschiedenen Elementen bestimmt, um damit das Moseley-Gesetz zu bestätigen. Abweichungen können durch Verschmutzung der Probe, ungenaues Kalibrieren und ungenaue Messung durch das Computerprogramm erklärt werden.

Im zweiten Teil wurde die Zusammensetzung von zwei unbekannten Proben ermittelt. Schwierigkeiten gab es bei der Bestimmung der Peaks im Computerprogramm, da sie nicht immer eindeutig ersichtlich sind. Zudem besteht die Problematik, dass mit diesem Verfahren hauptsächlich Oberflächenbestandteile ermittelt werden können, sodass Materialien im inneren der Probe nur schlecht erfasst werden. So besteht beispielsweise die 5 Cent Münze zu über 90% aus Eisen mit einer Kupferbeschichtung. Dies ist aus dem Diagramm nicht ersichtlich, da hier der Peak des Kupfers deutlich stärker ausgeprägt ist als der des Eisen.

3. Anhang

1. Messwerte Frank-Hertz-Versuch

1

Gegenspannung:	1V	0,5V	1,298	2,155
Maxima /s	4	49,1	58,75	68,5
Minima /s		53,2	62,5	72,75
		0,356	0,679	1,147

2

Gegenspannung:	1V			
Maxima /s	45	54,7	64,3	74,3
Minima /s	49,25	59,05	68,85	78,65

3

Gegenspannung:	1,5V			
Maxima /s	44,85	54,65	64,3	74,1
Minima /s	49,2	58,95	68,75	78,45

4

Gegenspannung:	1,5V			
Maxima /s	45,0	54,4	64,45	74,2
Minima /s	49,45	58,85	68,7	78,85

5

Gegenspannung:	2V			
Maxima /s	45,8	55,1	65,0	75,0
Minima /s	49,12	59,75	69,65	79,55

6

Gegenspannung:	2V			
Maxima /s	45,65	55,25	65,1	74,85
Minima /s	49,11	60,0	69,55	79,5

78,35
80,18

Datum des Versuchstags: 06.03.2021

Gruppennummer: 4

Teilnehmer: M. G. von Schaper
Adrian E. Schmidt

Unterschrift Assistent/-in: M. Ali

2. Messwerte Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

Bekannte Proben:

Element	E_A in keV
Eisen Fe	6,40
Chrom Cr	5,99
Nickel Ni	7,46
Kupfer Cu	8,05
Zink Zn	8,64

Unbekannte Probe 1:

E_A in keV	50 ct
Cu	8
Zn	8,56
Cu K α	8,9

Unbekannte Probe 2:

E_A in keV	5 ct
Cu	8,03
Cu K α	8,85
Fe	6,45