Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler SS 26

AS – Atomstruktur

Gruppe:	21
Betreuer:	Kartseliuba, Uliana
Verfasser:	[redacted]
	[redacted]
Versuchsdatum:	21.05.2026
Abgabedatum:	23.06.2026
Abgabe:	1

Inhaltsverzeichnis

1. Teilversuch 1: Franck-Hertz-Versuch

1.1 Einführung und Zielsetzung 3

1.2 Versuchsaufbau und Durchführung 3

1.3 Auswertung 4

1.4 Fazit 7

2. Teilversuch 2: Röntgenfluoreszenz- Spektroskopie

2.1 Einführung und Zielsetzung 8

2.2 Versuchsaufbau und Durchführung 8

2.3 Auswertung 9

2.4 Fazit 11

3. Anhang 12

1. Teilversuch 1: Franck-Hertz-Versuch

1.1 Einführung und Zielsetzung

Im ersten Teilversuch wird das zweite Bohrsche Postulat mithilfe des Franck-Hertz-Versuchs experimentell untersucht. Dazu wird die Anregungsenergie von Quecksilber bestimmt.

1.2 Versuchsaufbau und Durchführung

Der schematische Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs ist in Abbildung 1 dargestellt:

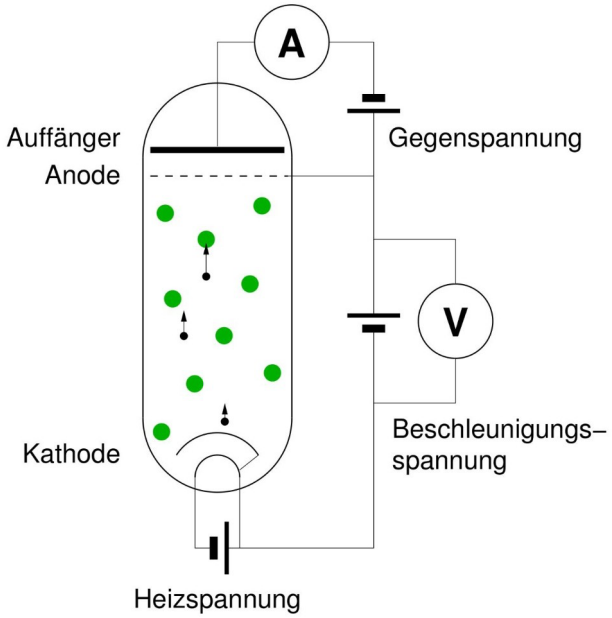


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Franck- Hertz- Versuchs

In einer, zuvor auf 160 Grad gebrachte, gefüllten Röhre mit Quecksilberdampf, werden Elektronen mit einer Beschleunigungsspannung beschleunigt. Die Beschleunigungsspannung wird dabei konstant erhöht. Diese stoßen dann auf Quecksilberatome und fliegen im Anschluss durch die Gitteranode. Die Anode ist somit als Gitter gestaltet. Zwischen Anode und Auffängerelektrode wird eine Gegenspannung von bis zu 2V angelegt, die energiearme Elektronen aufhält. Der Auffängerstrom wird dabei bei verschiedenen Gegenspannungen gemessen. Die Beschleunigungsspannung wird während der Messung konstant von 0V auf 40V (0,5 V/s) erhöht. Die Messung wird dabei mithilfe eines Programms aufgezeichnet und dargestellt. Anschließend wurden die Zeitpunkte von Tief- und Hochpunkten notiert.

1.3 Auswertung

1) Frank-Hertz-Kurve – Diagramme

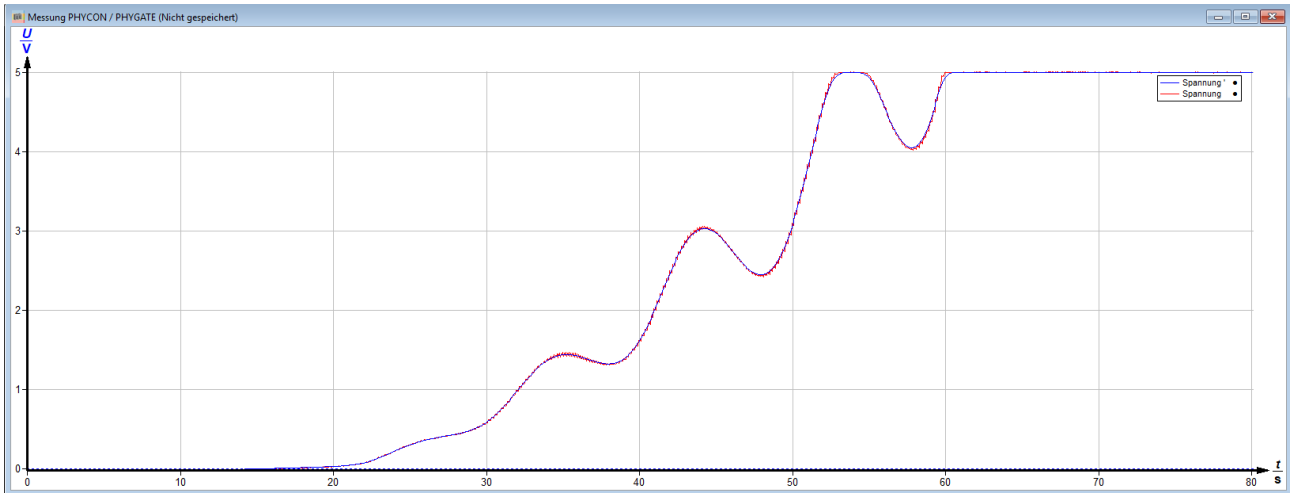


Abbildung 2: Frank-Hertz-Kurve mit einer Gegenspannung von 1 V

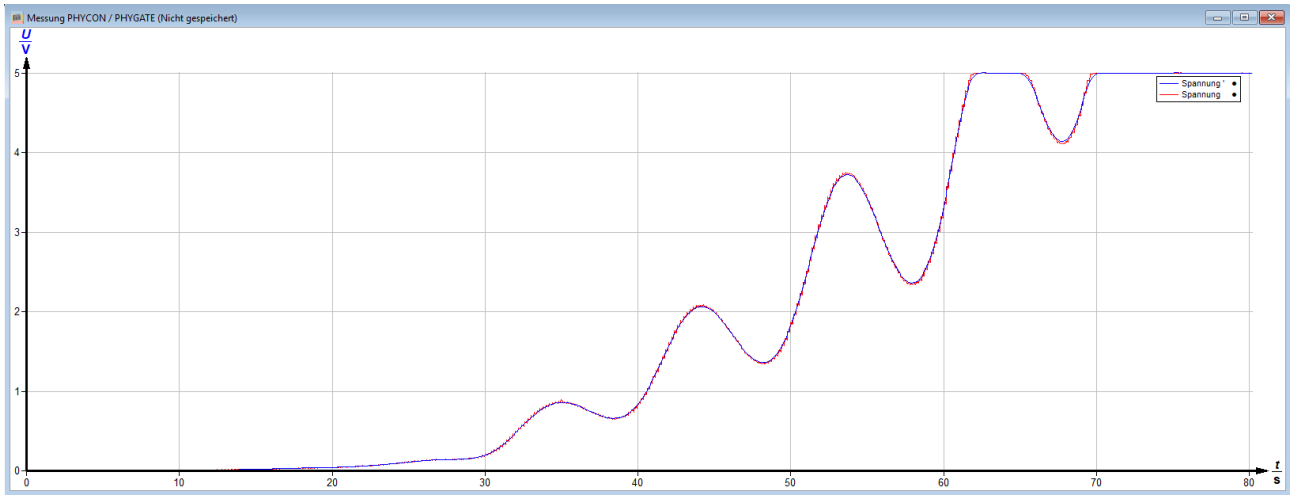


Abbildung 3: Franck-Hertz-Kurve mit einer Gegenspannung von 1,5 V

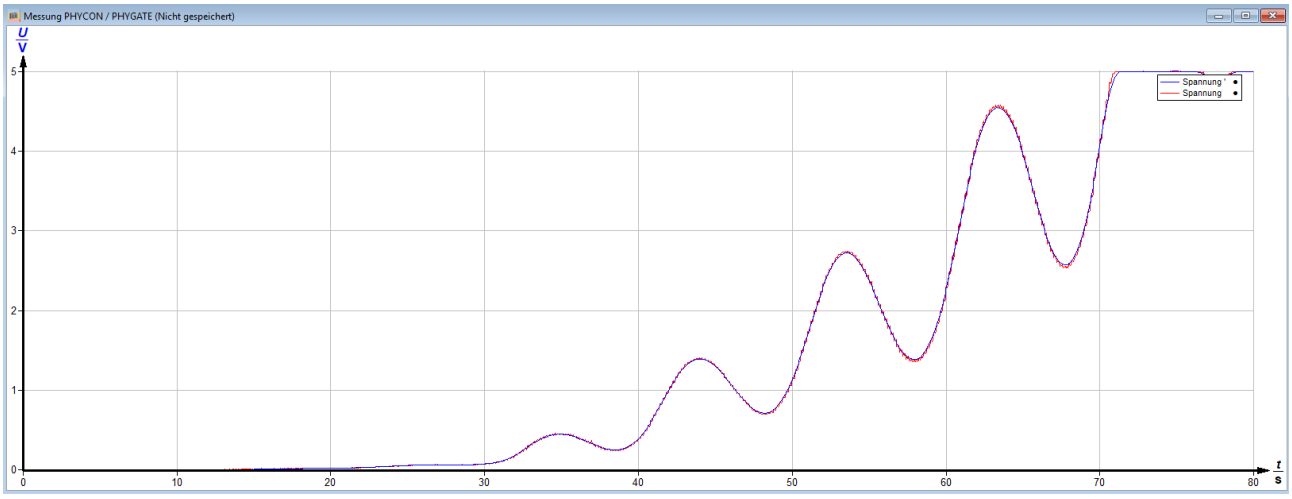


Abbildung 4: Franck-Hertz-Kurve mit einer Gegenspannung von 2 V

2) Nun sollen wir die Zeiten t_i bestimmten, dieser gibt dabei den Mittelwert der Zeitpunkte eines Hochpunkts und des darauffolgenden Tiefpunkts an. Anschließend soll die die Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden t_i, also Δt , ΔU und die Anregungsenergie A berechnet werden.

Δt, ΔU und die Anregungsenergie A werden dabei wie folgt berechnet[1]:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i$$
$$\Delta U = c \cdot \Delta t$$
$$A = e \cdot \Delta U$$

Die Messergebnisse ergeben dann folgenden Tabelle:

Tabelle 1: Übersicht der Messwerte

Gegenspannung [V]:	Maxima /s	Minima /s	t_i [s]	Δt [s]	ΔU [V]	A [eV]
1 V	35,2	37,95	36,5750			
1 V	44,25	48	46,1250	9,5500	4,7750	4,7750
1 V	53,65	57,8	55,7250	9,6000	4,8000	4,8000
1,5 V	35,1	38,45	36,7750			
1,5 V	44,1	48,25	46,1750	9,4000	4,7000	4,7000
1,5 V	53,7	57,9	55,8000	9,6250	4,8125	4,8125
1,5 V	62,5	67,75	65,1250	9,3250	4,6625	4,6625
2 V	44,05	48,25	46,1500			
2 V	53,5	57,9	55,7000	9,5500	4,7750	4,7750
2 V	63,45	67,7	65,5750	9,8750	4,9375	4,9375
2 V	74,85	77,65	76,2500	10,6750	5,3375	5,3375

Nun berechnen wir für alle A Werte den Mittelwert, sowie die Standartabweichung.
Es sei dann:

Mittelwert $\bar{A}$[2] = 4,85 eV

Standardabweichung σ[3] = 0,21318… eV

Die dazugehörige Messunsicherheit Δu_A[4] = 0,07537... eV

Absolute Messunsicherheit: A = (4,85 ± 0,08) eV

Relative Messunsicherheit: A = 4,85 (1 ± 1,6%) eV

1 *Anleitung AS. Seite 9*
2 *Formel: GR..10*
3 *Formel: GR.,11*
4 *Formel: GR.12*

3) Wenn ein Quecksilberatom aus dem ersten angeregten Zustand in den Grundzustand zurückkehrt, wird ein sogenanntes Lichtquant ausgesendet. Das Lichtquant emittiert mit der Wellenlänge 253,7 nm. Es stellt sich die Frage, welche Energie in eV transportiert wird.

Durch die Formel $\Delta E = h \cdot f$[5] kann man die transportierte Energie berechnen. Um die Frequenz f zu berechnen, verwenden wir die Formel $f = c / \lambda$ mit $c = 3 \cdot 10^8 \,\mathrm{m/s}$. Daraus ergibt sich:

$$f = \frac{3 \cdot 10^8 \,\mathrm{m/s}}{253{,}7 \,\mathrm{nm}}$$

Wir rechnen außerdem mit der Plancksche Wirkungsquantum $h = 4{,}135667 \cdot 10^{-15} \,\mathrm{eVs}$[6]. Es folgt daraus:

$$\Delta E = 4{,}135667 \cdot 10^{-15} \,\mathrm{eVs} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \,\mathrm{m/s}}{253{,}7 \cdot 10^{-9} \,\mathrm{m}} = 4{,}890422 \ldots \,\mathrm{eV} \approx 4{,}89 \,\mathrm{eV}$$

Verglichen mit unserem Ergebnis für die Anregungsenergie sieht man fast denselben Wert. Dies liegt an dem Satz der Energieerhaltung. Der berechnete Wert liegt im Fehlerintervall des Messwertes, also stimmt unser Messwert an dieser Stelle.

Wenn die Anregungsenergie aufgenommen wird, befindet sich das Atom in einem angeregten Zustand. Die Energie wird dann wieder abgegeben, so fällt es dann in den Grundzustand zurück. Es lässt also die Energie wieder durch das Lichtquant frei. Beim Übergang vom angeregten Zustand in den Grundzustand wird die zuvor aufgenommene Energie in Form eines Photons wieder abgegeben.

Der Bereich der für ein menschliches Auge sichtbar ist, liegt bei ungefähr 400 bis 800nm[7]. Ein Lichtquant emittiert hier (laut Anleitung) mit der Wellenlänge 253,7nm. Damit liegt der Bereich im Ultravioletten. Der Mensch kann Licht in einem Energiebereich von ungefähr 1,59eV bis 3,26eV sehen.

4) In dieser Aufgabe soll geklärt werden, warum der genaue Zeitpunkt des Starts bei der Messung für die Berechnung von ΔU keine Rolle spielt.

Für die Berechnung von ΔU spielt nur Δt eine Rolle. Δt ist dabei die Differenz aufeinanderfolgender Mittelwerte t_i eines Hochpunkts und des darauffolgenden Tiefpunkts. Man kann sagen, dass die Differenz immer unabhängig vom Startzeitpunkt ist, da der Abstand der Extrema, egal wie man ihn verschiebt, immer gleich bleibt. Δt ist unabhängig vom Startzeitpunkt, da sich die Mittelwerte bei einer Verschiebung der Startzeit, auch beide gleichermaßen (um denselben Wert) mit verschieben, die Differenz bleibt gleich. Wäre dies nicht der Fall, würde sich auch die Differenz wieder verändern.

5 *Entnommen aus AS. Seite 2*
6 *Gerundet; AS Seite 2*
7 *Entnommen aus IF Seite 1*

5) Zur Erklärung der Franck-Hertz-Kurve wird die Beschleunigungsspannung ausgehend von 0 V kontinuierlich erhöht.

Bei kleinen Beschleunigungsspannungen werden die Elektronen zwar in Richtung der Anode beschleunigt, ihre kinetische Energie reicht jedoch noch nicht aus, um die Gegenspannung zu überwinden. Daher bleibt der Auffängerstrom zunächst nahezu null. Die Elektronen stoßen lediglich elastisch mit den Quecksilberatomen zusammen, wobei praktisch keine Energie auf die Atome übertragen wird.

Mit zunehmender Beschleunigungsspannung erreichen immer mehr Elektronen genügend kinetische Energie, um die Gegenspannung zu überwinden und die Auffängerelektrode zu erreichen. Der Auffängerstrom steigt deshalb an.

Erreicht die kinetische Energie der Elektronen die Anregungsenergie der Quecksilberatome, können die Elektronen bei einem inelastischen Stoß ein Quecksilberatom anregen. Dabei geben sie einen festen Energiebetrag an das Atom ab und verlieren entsprechend kinetische Energie. Erfolgt dieser Stoß kurz vor dem Gitter, besitzen die Elektronen anschließend nicht mehr genügend Energie, um die Gegenspannung zu überwinden. Der Auffängerstrom nimmt daher wieder ab und erreicht ein Minimum.

Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht, erhalten die Elektronen insgesamt mehr Energie. Trotz eines inelastischen Stoßes können nun wieder mehr Elektronen die Auffängerelektrode erreichen, sodass der Strom erneut ansteigt.

Bei noch höheren Beschleunigungsspannungen können die Elektronen zwei oder mehr Quecksilberatome anregen. Erfolgt der letzte inelastische Stoß jeweils kurz vor dem Gitter, verlieren die Elektronen erneut die notwendige Energie zur Überwindung der Gegenspannung. Dadurch entstehen weitere Stromminima. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch, wodurch die charakteristische Franck-Hertz-Kurve entsteht.

Die beobachteten periodischen Minima bestätigen das zweite Bohrsche Postulat. Nach diesem können Atome Energie nur in bestimmten diskreten Energiebeträgen aufnehmen oder abgeben. Die Elektronen verlieren bei jedem inelastischen Stoß denselben Energiebetrag, der der Anregungsenergie des Quecksilberatoms entspricht. Die annähernd konstanten Spannungsabstände zwischen den Minima zeigen somit, dass die Energieniveaus im Atom quantisiert sind.

1.4 Fazit

Die experimentell bestimmte Anregungsenergie von 4,85±0,08 eV stimmt innerhalb der Messunsicherheit gut mit dem Literaturwert überein. Dadurch konnte das zweite Bohrsche Postulat experimentell bestätigt werden.

2. Teilversuch 2: Röntgenfluoreszenz- Spektroskopie

2.1 Einführung und Zielstellung

Im zweiten Teil des Versuches führen wir die Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie durch. Dabei untersuchen wir die K-Alpha-Strahlung von unterschiedlichen bekannten Materialien, die wir mithilfe eines Computerprogramms darstellen können. Dies machten wir zum Nachweis des Mosley-Gesetzes. Wir haben auch unbekannte Proben bestimmt. Zusammengefasst kann man sagen, dass wir an dem Versuchstag, wie der Name schon sagt, die Struktur eines Atoms untersucht haben.

2.2 Versuchsaufbau und Durchführung

Im zweiten Versuchsteil arbeiteten wir mit einem Röntgengerät (siehe Abb.2), in welches verschiedene, bekannte und unbekannte, Proben eingesetzt wurden. Wir messen hier die KAlpha- oder Beta-Strahlung. Die Proben werden dabei mit Röntgenstrahlung beschossen. Hierbei wird im Probeatom ein Elektron aus seiner K-Schale geschossen. Ein Elektron, welches auf einer äußeren Schale liegt, füllt die entstandene Lücke auf. Die Energiedifferenz wird als elektromagnetische Strahlung abgegeben. Dabei muss beachtet werden, dass die jeweiligen Energien für die Probe charakteristisch sind. Wir messen also die Energien der Photonen. Diese Signale werden durch den verbundenen Computer aufgezeichnet. Es werden sogenannte Peaks sichtbar.

2.3 Auswertung

1. Nachweis des Moseley-Gesetzes:

a) Es sollen, mithilfe der Gleichung AS.5, für die Elemente Cr, Fe, Ni, Cu und Zn $\sqrt{\frac{E_{K\alpha}}{13{,}6\,\mathrm{eV}}}$ bestimmt werden. Die Energiewerte für die Kα- Linien wurden gemessen und werden nun in die Gleichung eingesetzt.

$$\sqrt{\frac{E_{K\alpha}}{13{,}6\,\mathrm{eV}}} = (Z-1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}} \qquad \text{(AS.5)}$$

Tabelle 2: Die Elemente, unsere Messwerte, die Ordnungszahl und Ergebnisse von AS.5

Element	Ordnungszahl	$E_{k\alpha}$ [eV]	$\sqrt{\frac{E_{K\alpha}}{13{,}6\,\mathrm{eV}}}$
Chrom Cr	24	6320	20,05507...
Eisen Fe	26	6290	21,53998...
Nickel Ni	28	7370	23,21574...
Kupfer Cu	29	7950	24,17765...
Zink Zn	30	8570	25,04408...

Anschließend sollen die Werte in ein Diagramm über Z eingezeichnet werden.

b) In das folgende Diagramm wird außerdem eine schwarze Gerade mit der Geradengleichung: $(Z-1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$ eingefügt. Die Werte für die schwarzen Gerade sind durch das einsetzten der Ordnungszahlen der einzelnen Elemente in die gegebene Gleichung entstanden.

Tabelle 3: Berechnete Energiewerte

Element	$(Z-1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$
Chrom Cr	19,918...
Eisen Fe	21,650...
Nickel Ni	23,382...
Kupfer Cu	24,248...
Zink Zn	25,114...

Die Werte aus Aufgabe a und b werden in einem Diagramm zusammengetragen. Datenreihen 1 in blau beschreibt dabei die in a) ausgerechneten Werte, schwarze Gerade, wie bereits erwähnt die Werte aus Tabelle 3.

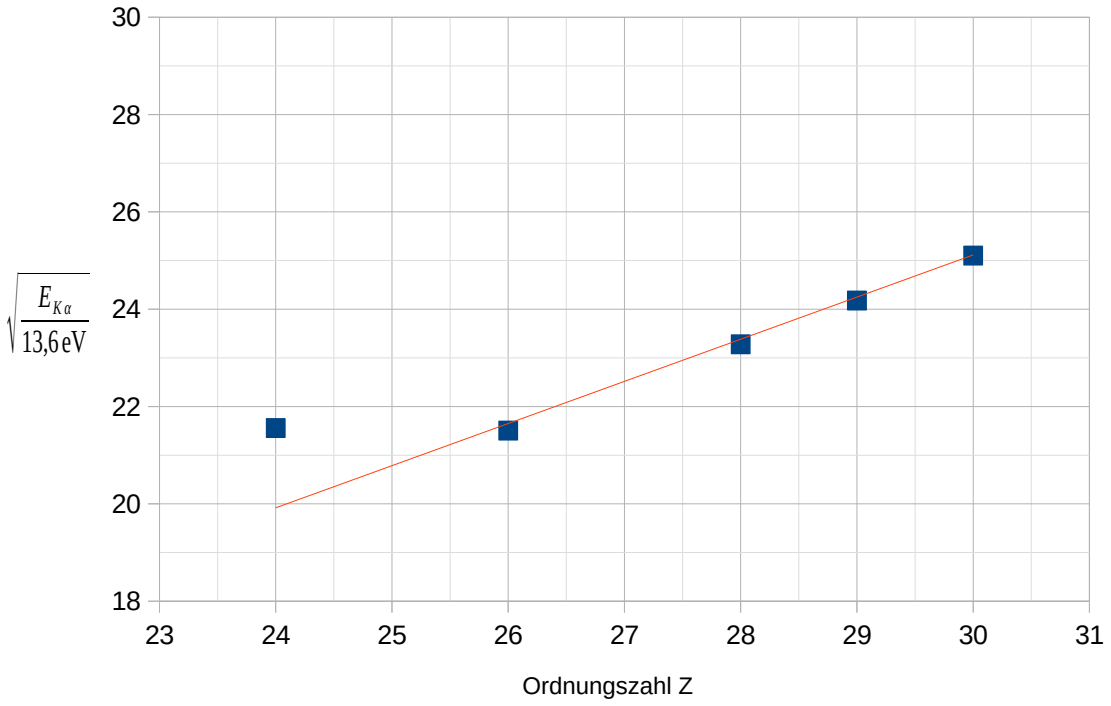


Abbildung 5: Diagramm das die Abhängigkeit der Ordnungszahl und der verschieden berechneten Energiewerte aufzeigt

Man erkennt eine starke Ähnlichkeit der Messwerte, sie stimmen gut mit dem „Richtwert“, der Moseley-Gerade, überein. Minimale Abweichungen sind durch Messunsicherheiten zu erklären. Man kann also zusammenfassen, dass sich das Moseley-Gesetz dadurch verifizieren lässt.

2) In der letzten Aufgabe sollten wir versuchen, unsere unbekannte Probe (nach der Tabelle in der Anleitung) nach ihrer Zusammensetzung aufzuschlüsseln.

Zunächst folgt eine Übersicht unserer Messwerte:

Probe	E [keV]
500 japanische Yen Münze	7,95

Die 500 Yen Münz hat einen großen Peak bei 7,95 keV gegeben. Dabei handelt es sich um den zuvor ermittelten Wert für Kupfer Cu mit auch genau 7,95 keV. Da wir aus zeitlichen Gründen nur die K-α- Strahlung beobachtet haben. Konnten wir keine weiteren Peaks erfassen. Laut Literaturangaben[8] besteht die 500-Yen-Münze neben Kupfer auch aus Nickel und Zink.

8 https://en.wikipedia.org/wiki/500_yen_coin

Man sieht unsere Messung im folgenden Bild:

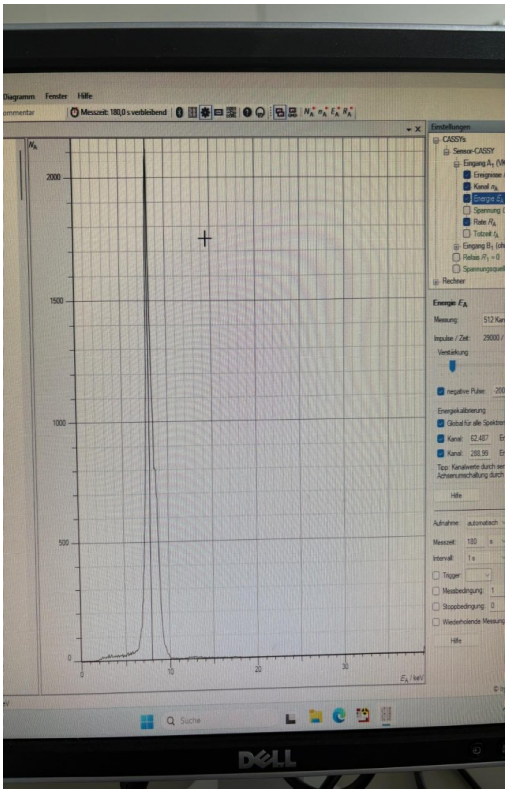


Abbildung 6: Messung einer 500 Yen Münze mithilfe einer Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

2.4 Fazit

Bei dem zweiten Versuch konnten wir verschiedene Energiewerte und auch Zusammensetzungen von

Gegenständen untersuchen. Dabei konnten wir unsere unbekannten Proben zwar zuordnen, die Messwerte stimmen dennoch nicht identisch mit den Literaturwerten überein. Eine Fehlerquelle bei uns war dabei, die Erfassung des Peaks auf dem Computer, da dies nur nach „Augenmaß“ möglich war und somit zu teilweise ungenauen und fehlerhaften Ergebnissen führt.

Trotz dessen waren unsere Ergebnisse insgesamt zufriedenstellend.

Die gemessenen Werte stimmen insgesamt gut mit den erwarteten Literaturwerten überein.

3. Anhang

1. Messwerte Franck-Hertz-Versuch

8x reicht

Gegenspannung:	1 V			
Maxima /s	35,200	44,250	53,650	
Minima /s	37,950	48,000	57,800	

Gegenspannung:	1,5 V			
Maxima /s	35,100	44,100	53,700	62,500
Minima /s	38,450	48,250	57,900	67,750

Gegenspannung:	2 V			
Maxima /s	44,050	53,500	63,450	74,850
Minima /s	48,250	57,900	67,700	77,650

-> Bilder

Datum des Versuchstags: 21.05.2026

Gruppennummer: 21

Teilnehmer: [redacted]

Unterschrift Assistent/-in: [redacted]

Gegenspannung:						
Maxima /s						
Minima /s						

Gegenspannung:						
Maxima /s						
Minima /s						

Gegenspannung:						
Maxima /s						
Minima /s						

2. Messwerte Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

1x reicht

Bekannte Proben:

Element	E_A in keV
Eisen Fe	6,29
Chrom Cr	6,32
Nickel Ni	7,37
Kupfer Cu	7,95
Zink Zn	8,57

Unbekannte Probe 1:

E_A in keV
500 japanische Yen: 7,95

Unbekannte Probe 2:

E_A in keV