



ATOMSTRUKTUR

Blockpraktikum Physik WS 2018/19

Protokoll

19. 02. 2019



Ziel/Theorie der Versuche

Bei den Versuchen zur „Atomstruktur“ sollte ein tieferes Verständnis für die Struktur von Atomen geschaffen und gleichzeitig wichtige Grundexperimente zu Eigenschaften von Atomen kennengelernt werden.

Hierzu wurden als erster Versuch der Frank-Hertz-Versuch durchgeführt, der das zweite Bohr'sche Postulat bestätigt. Dazu werden mit einem computerbasierenden Auswertungsprogramm PHYCON Frank-Hertz-Kurven aufgenommen, mit denen diskrete Energieniveaus der äußeren Schalen von Quecksilberatomen nachgewiesen werden können.

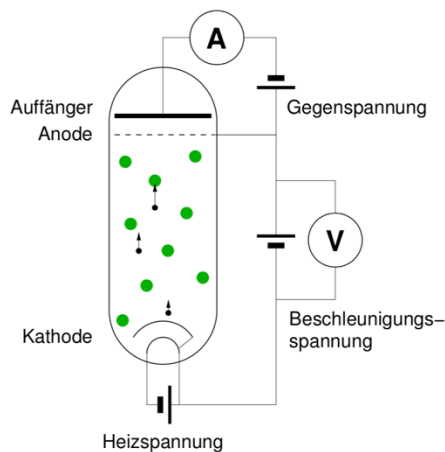


ABBILDUNG 1 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES VERSUCHES (QUELLE: PRAKTIKUMSSKRIPT)

Im zweiten Versuchsteil wurde mithilfe der Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie die Energie von Photonen analysiert, die bei Übergängen zwischen kernnahen Schalen entstehen. In Anknüpfung daran wurde die charakteristische Strahlung analysiert, mit der dann spezifische chemische Zusammensetzung von einigen – auch unbekannten – Proben untersucht werden konnte.

Versuchsablauf Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie:

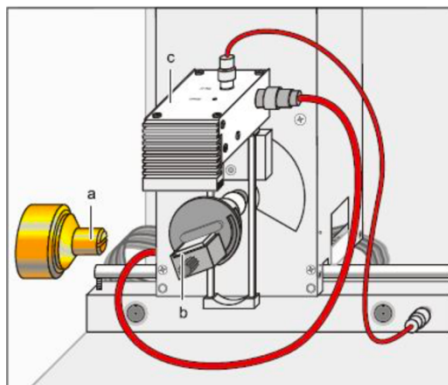


ABBILDUNG 2 AUFBAU DER MESSKAMMER: A) AUSGANG DER RÖNTGENSTRAHLUNG, B) PROBEHALTER, C) PIN-DIODE (QUELLE: PRAKTIKUMSSKRIPT)

Versuchsablauf – Frank-Hertz-Versuch:

Mithilfe einer Glühkathode werden freie Elektronen innerhalb einer mit Quecksilberdampf gefüllten Röhre erzeugt und Richtung der Anode beschleunigt. Dabei können diese Elektronen mit Quecksilbergasatomen zusammenstoßen und einen Teil ihrer kinetischen Energie abgeben. Die zwischen Anode und Auffängerelektrode angelegte Gegenspannung U_{Gegen} (max. 2 V) ist dabei ein Maß dafür, ob und wie viele der Elektronen ihre Energie auf die Quecksilberatome übertragen konnten, denn nur Elektronen, die eine Energie von $E_e > eU_{\text{Gegen}}$ besitzen, können die angelegte Gegenspannung überwinden.

Eine in einer evakuierten Glasröhre befindliche Glühkathode emittiert Elektronen, welche auf ein elektrisches Feld beschleunigt werden. Beim Aufprall wird dabei die kinetische Energie der Elektronen in Wärme und Röntgenstrahlung umgewandelt. Die Anode strahlt diese Strahlung ab; die Strahlung besteht aus zwei Anteilen: der charakteristischen Strahlung und der Röntgenbremsstrahlung. Diese Strahlung wird nun auf eine beliebige Probe abgestrahlt, welche dann eine Fluoreszenzstrahlung emittiert, die mit Hilfe der PIN-Diode gemessen wird.

Frank-Hertz-Versuch (Teil 1)

1. Diagramme

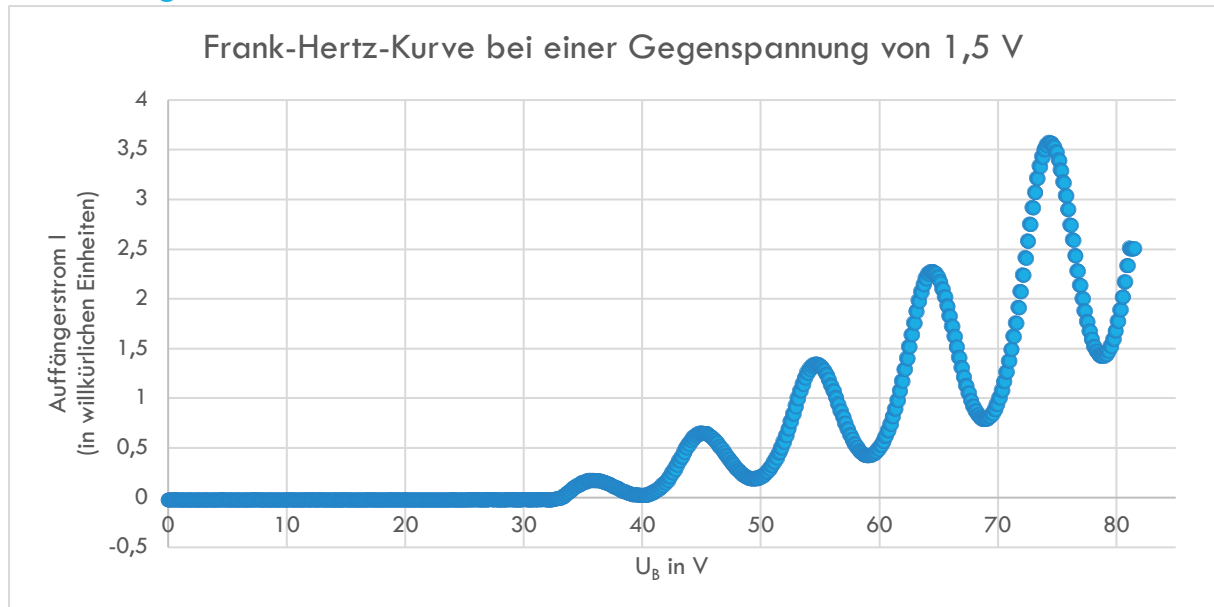


ABBILDUNG 3 STROM-SPANNUNGSKENNLINIE 1. MESSUNG

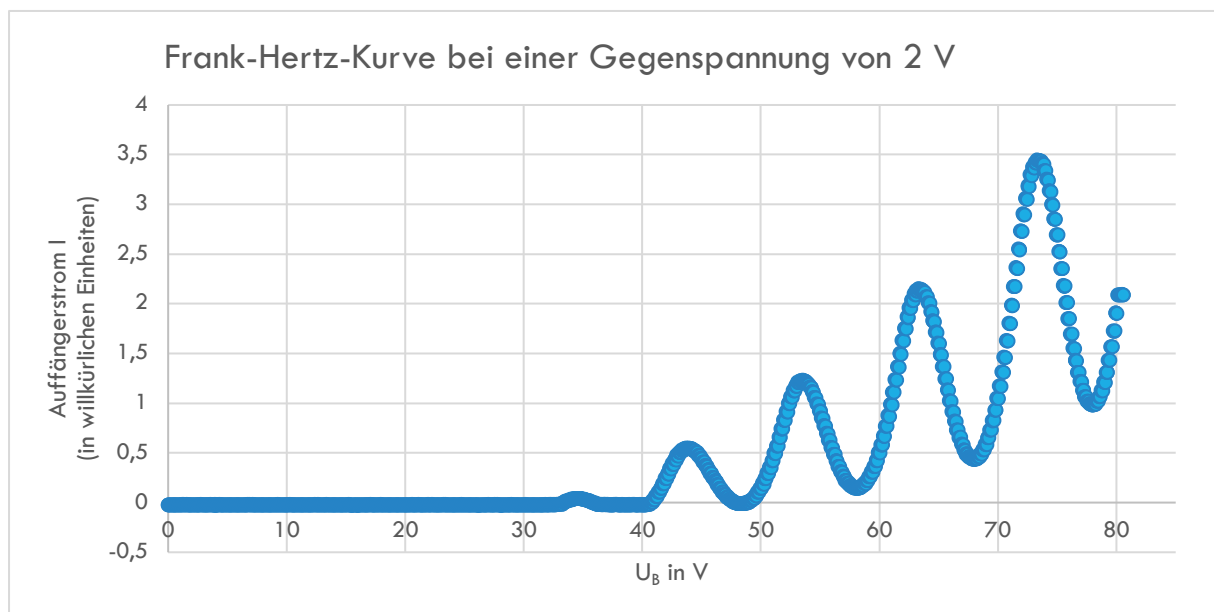


ABBILDUNG 4 STROM-SPANNUNGSKENNLINIE 2. MESSUNG

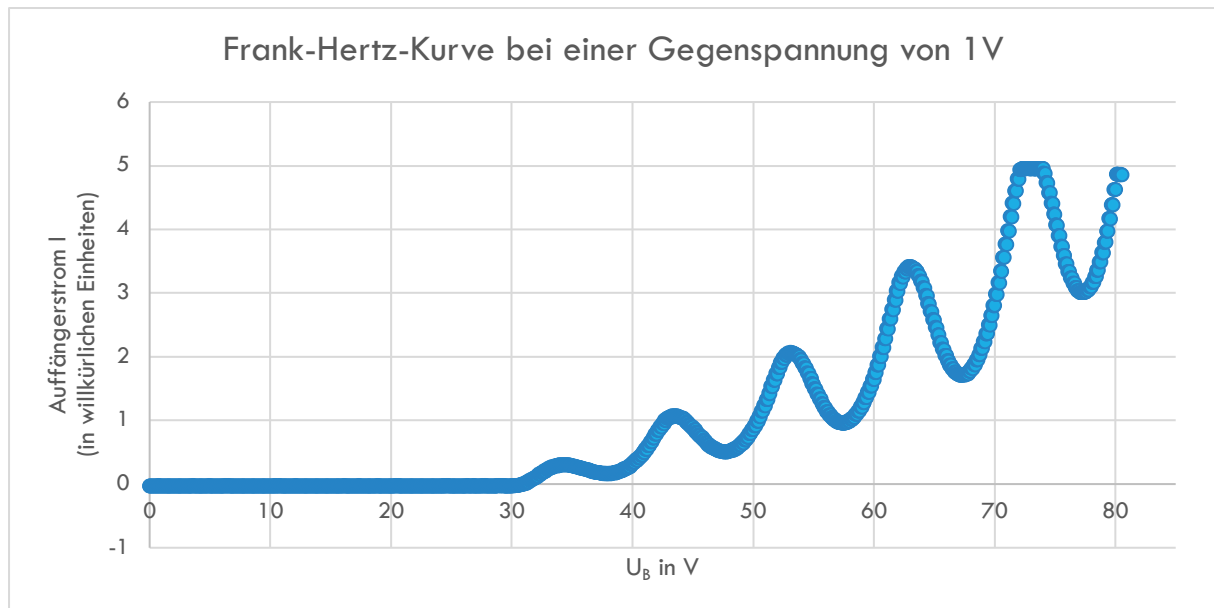


ABBILDUNG 5 STROM-SPANNUNGSKENNLINIE 3. MESSUNG

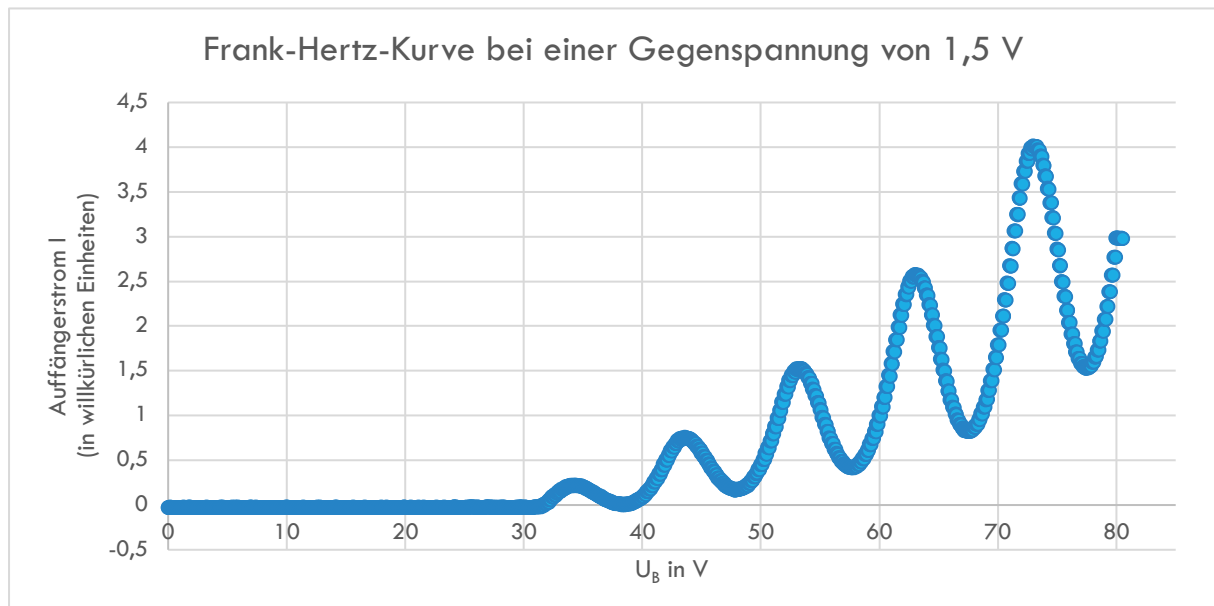


ABBILDUNG 6 STROM-SPANNUNGSKENNLINIE 4. MESSUNG

2. Beschleunigungsspannungswerte U_i

Gesucht sind die Beschleunigungsspannungswerte U_i , an denen der Auffängerstrom den Mittelwert zwischen einem Strommaximum und dem darauffolgenden Stromminimum annimmt.

Näherungsweise wurde angenommen, dass diese Bedingung zeitlich in der Mitte zwischen Minimum und Maximum erfüllt wird.

Aus der Formel für den zeitlichen Verlauf der Beschleunigungsspannung

$$U_i = 0,5 \frac{\text{V}}{\text{s}} \cdot t$$

folgt: $U_i = \frac{1}{4} (t_{\text{max}} + t_{\text{min}})$. Daraus errechnen sich folgende Werte:

1. Messung mit Gegenspannung $U_{\text{gegen}} = 1,5 \text{ V}$

$$U_1 = 23,6125 \text{ V}$$

$$U_2 = 28,45 \text{ V}$$

$$U_3 = 33,35 \text{ V}$$

$$U_4 = 38,275 \text{ V}$$

2. Messung mit Gegenspannung $U_{\text{gegen}} = 2 \text{ V}$

$$U_1 = 23,0625 \text{ V}$$

$$U_2 = 27,8875 \text{ V}$$

$$U_3 = 32,8375 \text{ V}$$

$$U_4 = 37,8375 \text{ V}$$

3. Messung mit Gegenspannung $U_{\text{gegen}} = 1 \text{ V}$

$$U_1 = 22,7625 \text{ V}$$

$$U_2 = 27,6125 \text{ V}$$

$$U_3 = 32,6 \text{ V}$$

$$U_4 = 37,500 \text{ V}$$

4. Messung mit Gegenspannung $U_{\text{gegen}} = 1,5 \text{ V}$

$$U_1 = 22,8125 \text{ V}$$

$$U_2 = 27,725 \text{ V}$$

$$U_3 = 32,625 \text{ V}$$

$$U_4 = 37,625 \text{ V}$$

Berechnung von $\Delta U = U_{i+1} - U_i$ und daraus folgend die Berechnung der Anregungsenergie

$A = e \cdot \Delta U$ in eV:

1. Messung:

$$\Delta U_1 = 28,45 \text{ V} - 23,6125 \text{ V} = 4,8375 \text{ V} \rightarrow A_1 = 4,8375 \text{ eV}$$

$$\Delta U_2 = 33,35 \text{ V} - 28,45 \text{ V} = 4,9 \text{ V} \rightarrow A_2 = 4,9 \text{ eV}$$

$$\Delta U_3 = 38,275 \text{ V} - 33,35 \text{ V} = 4,925 \text{ V} \rightarrow A_3 = 4,925 \text{ eV}$$

2. Messung:

$$\Delta U_4 = 27,8875 \text{ V} - 23,0625 \text{ V} = 4,825 \text{ V} \rightarrow A_4 = 4,825 \text{ eV}$$

$$\Delta U_5 = 32,8375 \text{ V} - 27,8875 \text{ V} = 4,95 \text{ V} \rightarrow A_5 = 4,95 \text{ eV}$$

$$\Delta U_6 = 37,8375 \text{ V} - 32,8375 \text{ V} = 5 \text{ V} \rightarrow A_6 = 5 \text{ eV}$$

3. Messung

$$\Delta U_7 = 27,6125 \text{ V} - 22,7625 \text{ V} = 4,85 \text{ V} \rightarrow A_7 = 4,85 \text{ eV}$$

$$\Delta U_8 = 32,6 \text{ V} - 27,6125 \text{ V} = 4,9875 \text{ V} \rightarrow A_8 = 4,9875 \text{ eV}$$

$$\Delta U_9 = 37,5 \text{ V} - 32,6 \text{ V} = 4,9 \text{ V} \rightarrow A_9 = 4,9 \text{ eV}$$

4. Messung

$$\Delta U_{10} = 27,725 \text{ V} - 22,8125 \text{ V} = 4,9125 \text{ V} \rightarrow A_{10} = 4,9125 \text{ eV}$$

$$\Delta U_{11} = 32,625 \text{ V} - 27,725 \text{ V} = 4,9 \text{ V} \rightarrow A_{11} = 4,9 \text{ eV}$$

$$\Delta U_{12} = 37,625 \text{ V} - 32,625 \text{ V} = 5 \text{ V} \rightarrow A_{12} = 5 \text{ eV}$$

Für den Mittelwert gilt: $\tilde{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$. Bei uns errechnet sich dadurch der Wert $\tilde{A} = 4,915625 \text{ eV}$.

Die Standardabweichung σ von $\tilde{A}$ wurde mithilfe des Rechenbefehls STABW.S in MS Excel berechnet und beträgt: $\sigma = 0,060331706 \text{ eV}$

$$s_{\tilde{A}} = 2 \cdot \frac{0,060331706 \text{ eV}}{\sqrt{12}} = 0,0348325267 \text{ eV} = 0,04 \text{ eV}$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} A &= (4,92 \pm 0,04) \text{ eV} \\ A &= 4,92 (1 \pm 0,81 \%) \text{ eV} \end{aligned}$$

3. Emittierte Energie

Die Energie des Photons, welches emittiert wird, wenn ein Quecksilbergasatom aus dem angeregten Zustand in den Grundzustand zurückkehrt, kann mithilfe der angegebenen Wellenlänge

$\lambda = 253,7 \text{ nm}$, der Lichtgeschwindigkeit $c = 2,998 \cdot 10^{17} \frac{\text{nm}}{\text{s}}$ und dem Planck'schen Wirkungsquantum $h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ wie folgt berechnet werden:

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 4,88755538 \text{ eV} = 4,89 \text{ eV}$$

Daran lässt sich erkennen, dass die emittierte Energie des Quecksilbergasatoms in etwa dem von uns errechneten Mittelwert der Anregungsenergie $A = (4,92 \pm 0,04) \text{ eV}$ entspricht.

Die Übereinstimmung der vom Photon bzw. Lichtquant transportierten Energie mit der Anregungsenergie lässt sich mithilfe des Energieerhaltungssatzes erklären: Das Quecksilbergasatom muss die komplette Energie, die es zuvor aufgenommen hat (Anregungsenergie A) auch wieder abgeben. In unserem Fall geschieht dies in Form einer elektromagnetischen Welle (Die gegebene Wellenlänge $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ ordnet die Strahlen in den ultravioletten Bereich des elektromagnetischen Spektrums ein ($10 - 380 \text{ nm}$). Im Vergleich hierzu ist sichtbares Licht in einem Bereich von $380 - 780 \text{ nm}$ einzuordnen was einem Energiebereich zwischen $1,6 \text{ eV}$ und $3,3 \text{ eV}$ entspricht.

(Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum (Stand: 21.02.2019))

4. Abhängigkeit vom Startzeitpunkt der Messung?

Für die Berechnung von ΔU ist der Zeitpunkt, zu dem die Messung gestartet wurde, zu vernachlässigen, da nur die Differenz zwischen den Extrema eine Rolle spielt, welche wiederum vom Zeitpunkt unabhängig sind (und auch nicht davon beeinflusst wird). Es handelt sich hierbei gleichzeitig um die Energiedifferenz zwischen zwei inelastischen Stößen (Bestätigung des 2. Bohr'schen Postulats).

Während dem Versuch wird die Spannung U manuell variiert und der Auffängerstrom wird gemessen, d.h. der Auffängerstrom ist abhängig von der angelegten Spannung und nicht von der Zeit.

5. Zusammenhang der Frank-Hertz-Kurve bzw. Strom-Spannungskennlinie und den Bohr'schen Postulaten

Wie in AS S. 2 erwähnt sind die Bohr'schen Postulate die folgenden:

- (1) „Um den Atomkern herum gibt es stabile Kreisbahnen, auf denen sich die Elektronen bewegen. Auf diesen Bahnen strahlen die Elektronen keine Energie ab.“ (AS, S.2)
- (2) Geht ein Elektron von einer diskreten Bahn in eine andere über, so wird entweder Energie freigesetzt oder aufgenommen.
- (3) „Die stabilen Kreisbahnradialen ergeben sich nur, wenn der Bahndrehimpuls L des Elektrons ein ganzzahliges Vielfaches des reduzierten Planck'schen Wirkungsquantums [...] ist.“

Wendet man diese Postulate nun auf den Frank-Hertz-Versuch an, so folgt folgendes:

- (1) Wird die Beschleunigungsspannung von $U = 0V$ ausgehend erhöht – wie auch in der Strom-Spannungskennlinie zu sehen – so steigt der Auffängerstrom zunächst langsam an, da es bei geringen Spannungen zunächst nur zu elastischen Stößen kommt.
Bei elastischen Stößen verlieren Elektronen keine Energie, und können so die Gegenspannung überwinden.
- (2) Wird nun ein bestimmter Wert der Beschleunigungsspannung überwunden, kommt es zu einem Einbruch im Auffängerstrom. Dies ist damit zu erklären, dass es nun auch zu inelastischen Stößen zwischen den freien Elektronen und den Quecksilberatomen kommt. Hierbei überträgt das freie Elektron seine kinetische Energie E_{kin} auf ein beliebiges Hüllenelektron des Quecksilberatoms, welches dann die durch Anregung aufgenommene Energie $\Delta E (= E_{kin})$ nutzt, um in eine höhere, unbesetzte Schale überzugehen. Dieser Zustand ist allerdings nicht stabil, sodass ΔE in Form eines Photons wieder abgegeben wird, um in einen energetisch günstigeren Zustand zu wechseln. Das Elektron hat nun ΔE weniger Energie, und wird dadurch gebremst; es hat nicht mehr genügend Energie um den Auffängerstrom zu überwinden, was als Stromeinbruch auf unserer Kurve zu sehen ist.
Hierbei ist zu beachten, dass die Elektronen thermisch emittiert werden, d.h. nicht jedes Elektron hat gleich viel Energie bzw. muss dieselbe Strecke zwischen Kathode und Anode zurücklegen, um inelastisch zu stoßen zu können. Daraus folgt, Spannungseinbrüche bzw. -anstiege kontinuierlich erfolgen, und keine scharfen Einbrüche bzw. Anstiege zu sehen sind; dies ist dann als Kurve zu sehen.
Die Stromstärke wird dabei nie null, denn nicht jedes Elektron, das inelastische Stöße durchführen könnte, trifft auch auf ein Quecksilberatom; daher können kontinuierlich Elektronen auch den Auffängerstrom passieren.
Wird nach einem Minimum die Spannung wieder erhöht, dann steigt der Auffängerstrom wieder an. Der Hintergrund hierfür ist die Verschiebung der Stoßzone: je höher die Spannung, desto näher ist sie an der Kathode, was gleichzeitig bedeutet, dass die Strecke, die die Elektronen zurücklegen müssen, um genügend Energie für inelastische Stöße zu sammeln. Durch das Verschieben der Zone haben die Elektronen nach Abgabe ihrer E_{kin} die Möglichkeit, nochmals Energie anzusammeln um den Auffängerstrom zu überwinden. Gleichzeitig bedeutet dies, dass einige Elektronen auch nochmals einen inelastischen Stoß durchführen können. Es kommt also wiederholt zu einem Maximum und einem darauffolgenden Minimum. Daraus lässt sich aber auch schlussfolgern, dass bei weiteren Erhöhungen die erste Stoßzone immer näher an der Kathode liegt, was zur Ausbildung von mehreren Zonen und daraus schließend auch zu mehreren Stößen kommen kann.
Das Auftreten der Maxima kommt daher, dass die letzte Stoßzone – unabhängig von ihrer Anzahl - immer vor der Anode liegt. Die Maxima treten dabei bei ganzzahligen Vielfachen derselben Spannung auf.
Damit dient der Frank-Hertz-Versuch auch als Beweis des 2. Bohr'schen Postulats.

6. Mögliche Fehlerquellen

- Statistische Abweichungen aufgrund:
 - geringer Anzahl an Versuchsdurchführungen
 - falsches Runden
- systematische Abweichungen aufgrund:
 - Messgerät:
 - Ungenauigkeiten des Spannungsreglers
 - Fehler beim Erhöhen der Spannung (wird manuell durchgeführt)
 - Zu niedrige Betriebstemperatur des Ofens bzw. Temperaturregler inkorrekt
 - Kontaktfehler zwischen Leitung und Messgerät

Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie (Teil 2)

1. Nachweis des Moseley-Gesetzes

TABELLE 1 $\sqrt{\frac{EK_{\alpha}}{13,6\text{eV}}}$ FÜR VERSCHIEDENE ELEMENTE

Element	$E_{K_{\alpha}}$	$\sqrt{\frac{EK_{\alpha}}{13,6\text{eV}}}$	Ordnungszahl Z
Eisen (Fe)	6,45keV	21,77761938	26
Chrom (Cr)	5,44keV	20	24
Nickel (Ni)	7,54keV	23,54595007	28
Kupfer (Cu)	8,09keV	24,38960724	29
Zink (Zn)	8,67keV	25,24876235	30

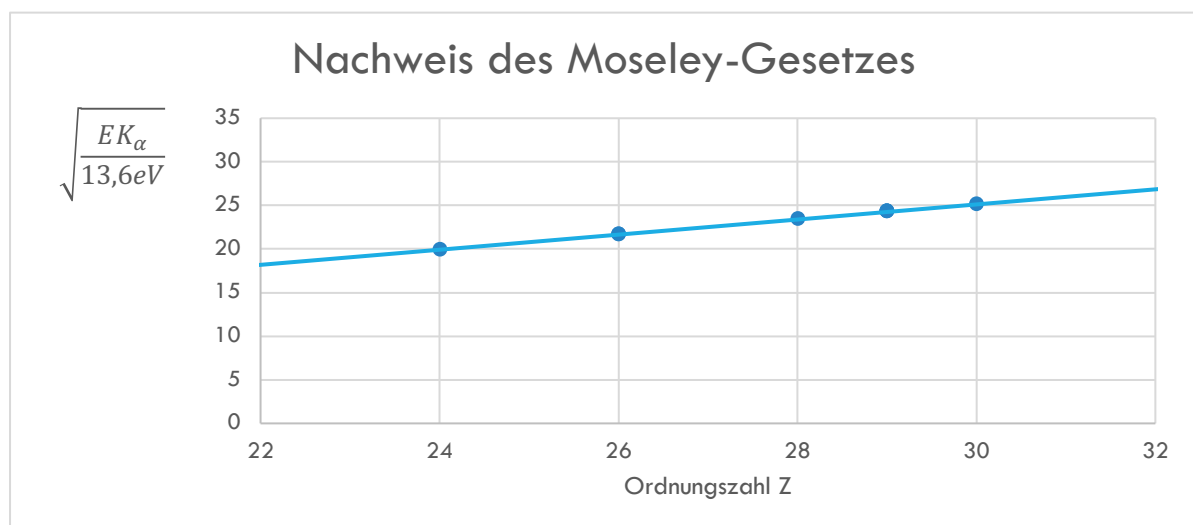


ABBILDUNG 7 $\sqrt{\frac{EK_{\alpha}}{13,6\text{eV}}}$ UND $(Z - 1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$ ZUR VERIFIZIERUNG DES MOSELEY-GESETZES

Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, stimmen unsere gemessenen Energiewerte mit der Formel

$\sqrt{\frac{EK_{\alpha}}{13,6eV}}$ und die Werte, die aus der Formel $(Z - 1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$ folgen, nahezu überein. Daher kann

das Moseley-Gesetz als bestätigt gesehen werden.

Mögliche Abweichungen können unter anderem von einer zu geringen Messdauer folgen, was unter anderem auch zur Verschiebung der Peaks führen könnte. Außerdem kann es auch sein, dass die PIN-Diode oder der Probenhalter minimal im falschen Winkel positioniert sind. Auch die richtige (, zentrale) Position der Probe ist wichtig. Weiterhin könnte sich auch beim Eichen des Versuchsgeräts ein systematischer Fehler einschleichen.

2. Messung unbekannter Proben

a) „Bonus“-Münze

Standard - CASSY Lab 2

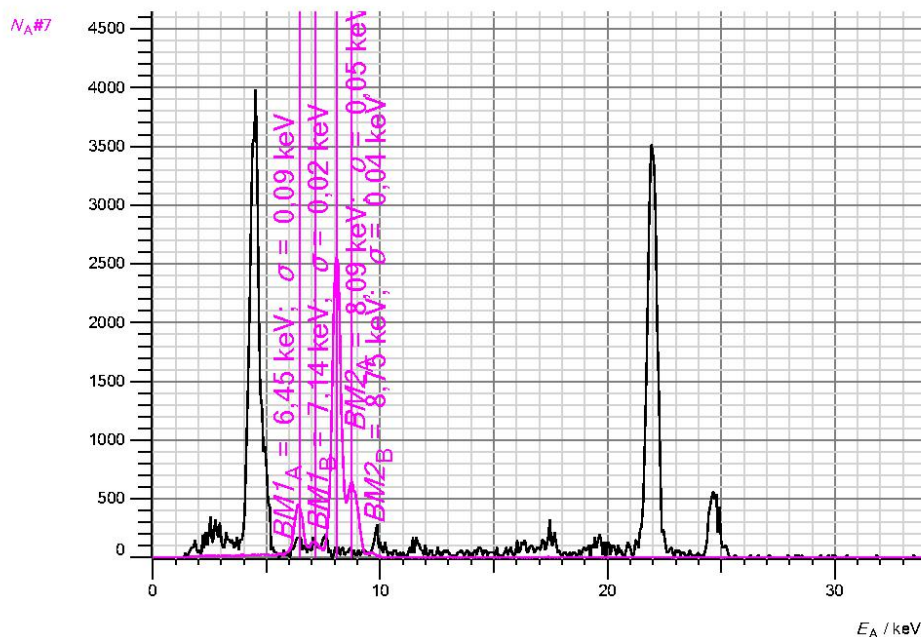


ABBILDUNG 8 SCREENSHOT MESSERGEBNIS "BONUS"-MÜNZE

$$\begin{aligned} E(\text{BM1})_{K_{\alpha}} &= 6,45 \text{ keV} & E(\text{BM1})_{K_{\beta}} &= 7,14 \text{ keV} \\ E(\text{BM2})_{K_{\alpha}} &= 8,09 \text{ keV} & E(\text{BM2})_{K_{\beta}} &= 8,75 \text{ keV} \end{aligned}$$

Bei der ersten unbekannten Probe handelt es sich um eine „Bonus“-Münze. Die gemessenen $E_{K_{\alpha}}$ -Werte entsprechen den charakteristischen Röntgenenergien von Eisen und Kupfer (vgl. Tabelle, S. 7). Daraus lässt sich schließen, dass die Münze zu größten Teilen aus Eisen und Kupfer besteht. Da die Probe keinerlei Beschriftung bezüglich des verwendeten Materials hat, und auch keine Information vom Herausgeber erfragt werden konnte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Probe zu geringeren Anteilen auch weitere Elemente enthält, die wegen ihrem geringen Anteil im Rauschen verschwinden bzw. die Messung davon abhängt, wo genau die Röntgenstrahlen auftreffen und welches Material sich genau an diesem Punkt befindet.

b) 20ct-Münze

Standard - CASSY Lab 2

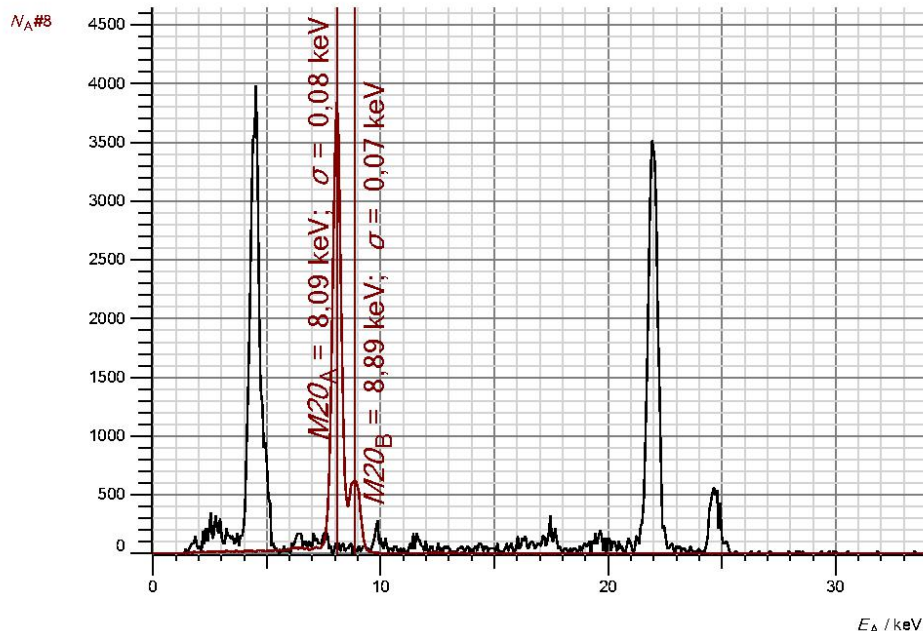


ABBILDUNG 9 SCREENSHOT MESSUNG 20CT-MÜNZE

$$E(20\text{ct})_{K_{\alpha}} = 8,09 \text{ keV} \quad E(20\text{ct})_{K_{\beta}} = 8,89 \text{ keV}$$

Als zweite unbekannte Probe wurde eine 20ct Euro-Münze benutzt. Der gemessene $E_{K_{\alpha}}$ -Wert entspricht der charakteristischen Röntgenenergie von Kupfer. Dies bedeutet, dass eine 20ct Euro-Münze zum größten Teil aus Kupfer besteht. Allerdings ist bekannt, dass 20ct Euro-Münzen aus *Nordischem Gold* hergestellt werden, was eine Legierung aus Kupfer, Aluminium, Zink und Zinn ist. Allerdings können diese sehr geringen Anteile in Abb. 8 nicht abgelesen werden; die Peaks dieser Proben im Vergleich zum Kupfer-Peak wären so klein, dass sie im Rauschen praktisch verschwinden.

Anhang

Messergebnisse (Screenshots, in Reihenfolge der Versuche)

Frank-Hertz-Versuch

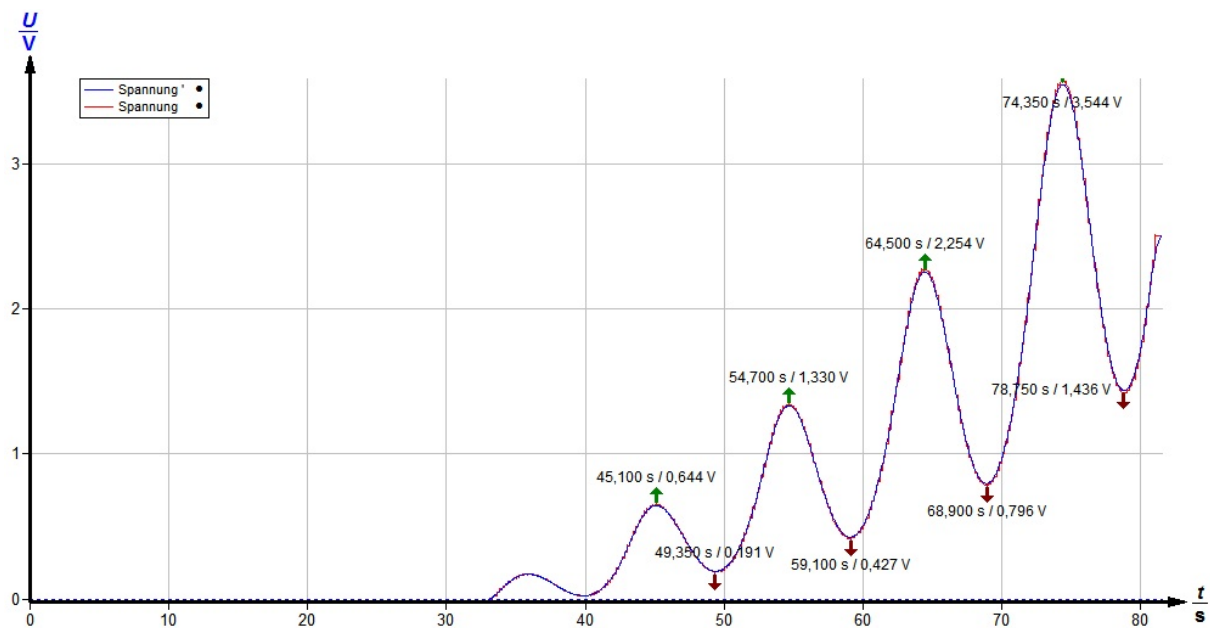


ABBILDUNG 10 1. MESSUNG MIT GEGENSPANNUNG 1,5 V

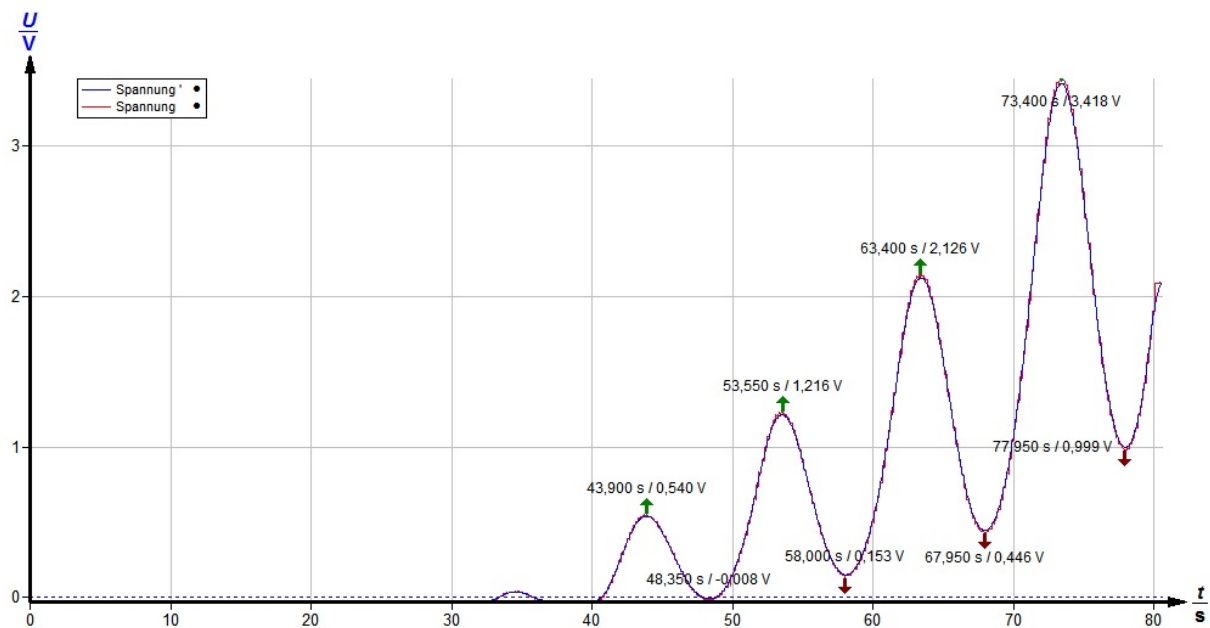


ABBILDUNG 11 2. MESSUNG MIT GEGENSPANNUNG 2 V

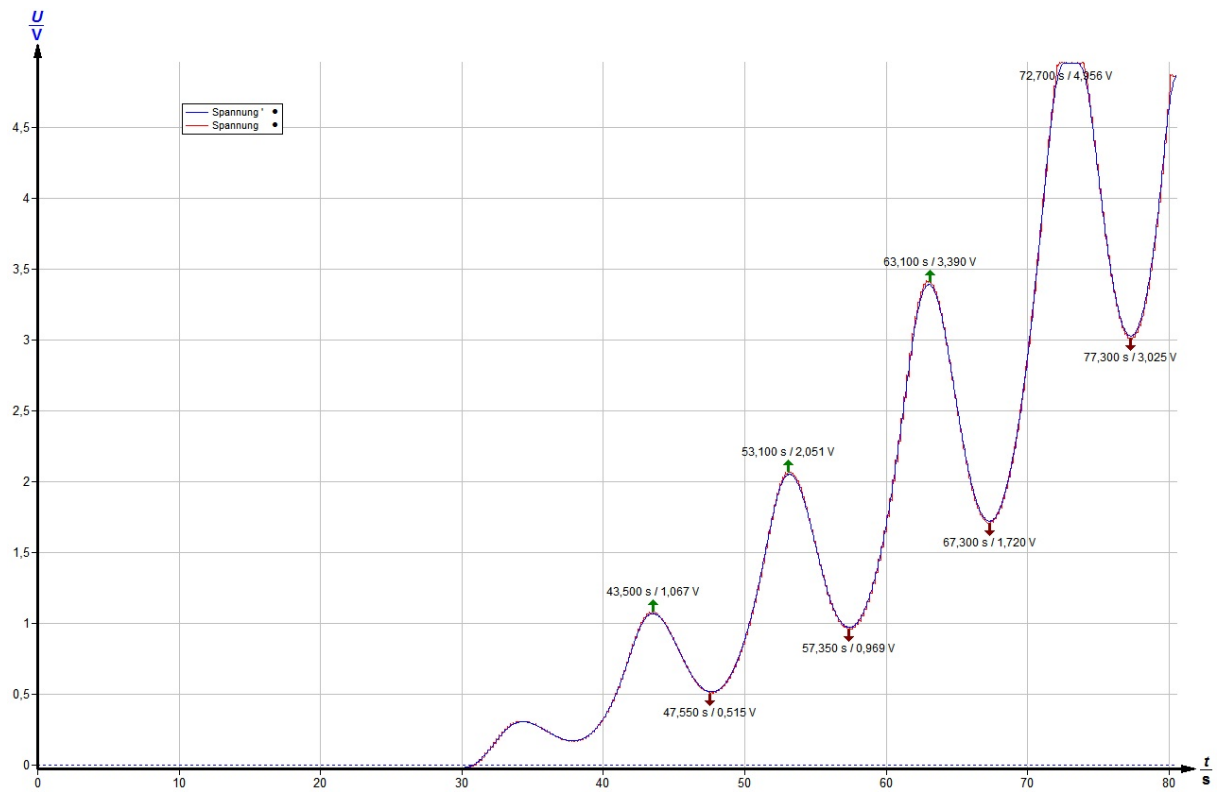


ABBILDUNG 12 3. MESSUNG MIT GEGENSPANNUNG 1 V

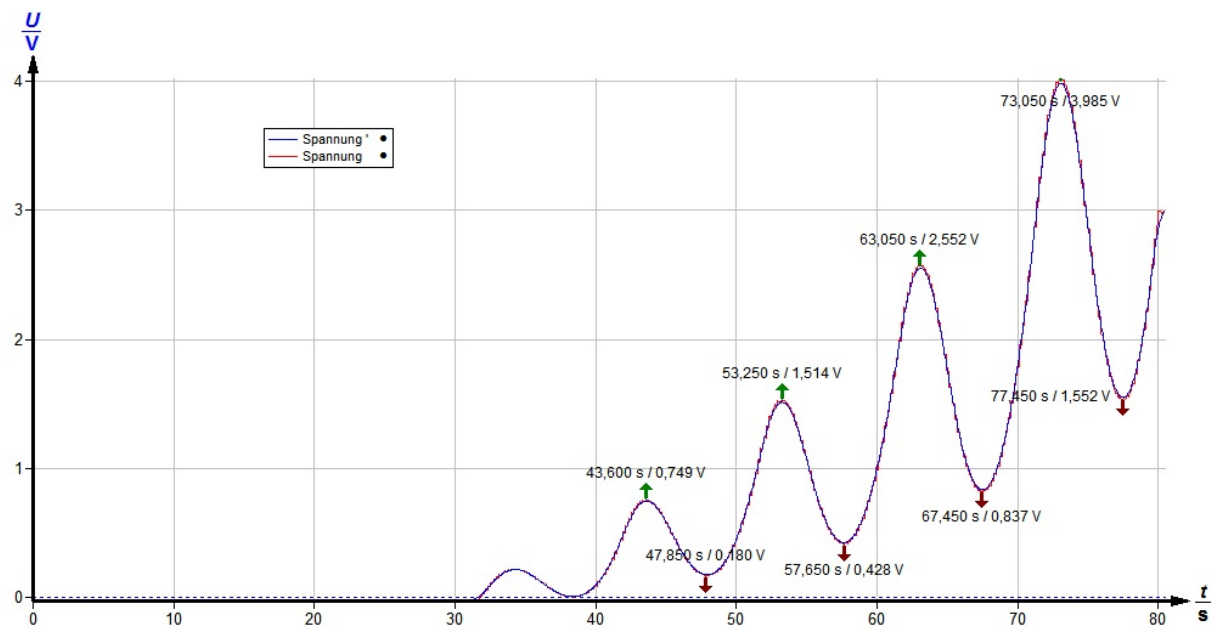


ABBILDUNG 13 4. MESSUNG MIT GEGENSPANNUNG 1,5 V

Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

Standard - CASSY Lab 2

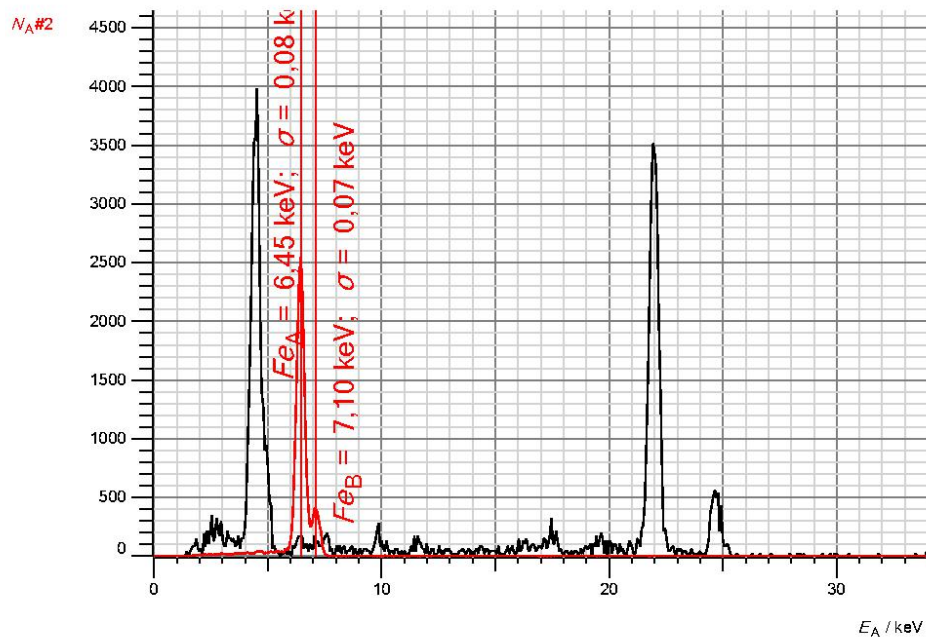


ABBILDUNG 14 MESSUNG MIT EISENPROBE (Fe)

Standard - CASSY Lab 2

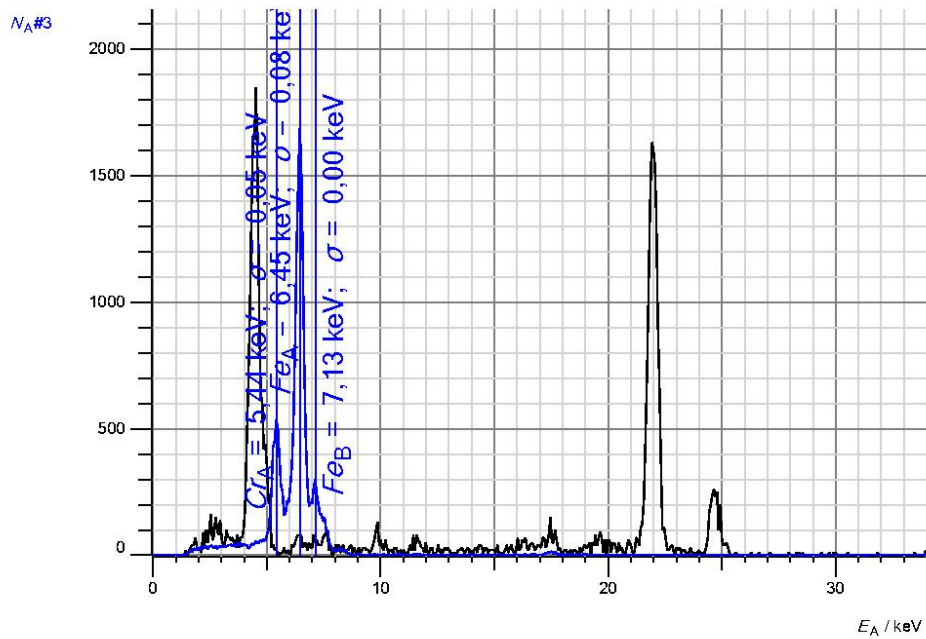


ABBILDUNG 15 MESSUNG MIT VA-STAHl (LEGIERUNG AUS CHROM (Cr) UND EISEN (Fe))

Standard - CASSY Lab 2

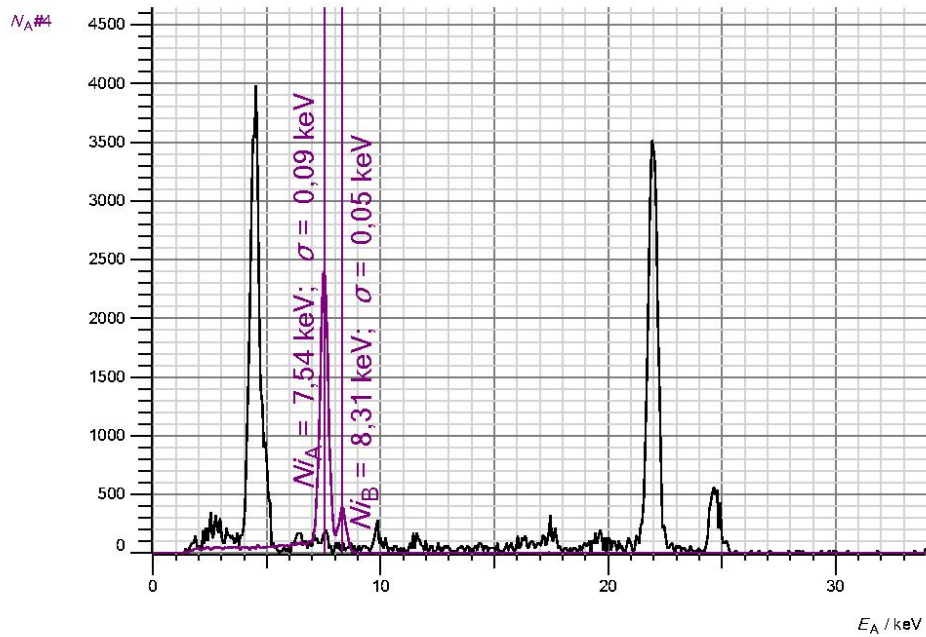


ABBILDUNG 16 MESSUNG MIT NICKELPROBE (Ni)

Standard - CASSY Lab 2

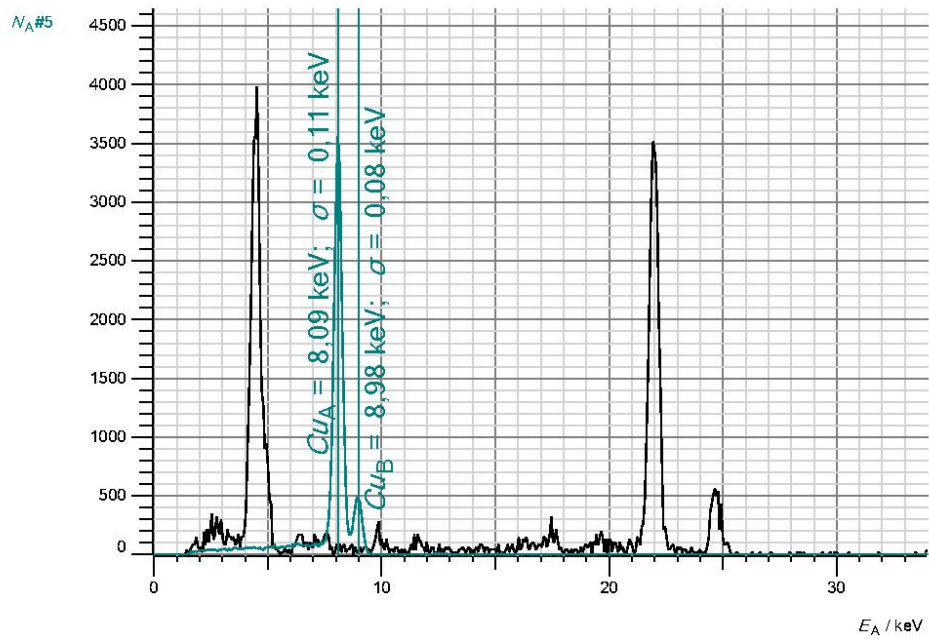


ABBILDUNG 17 MESSUNG MIT KUPFERPROBE (Cu)

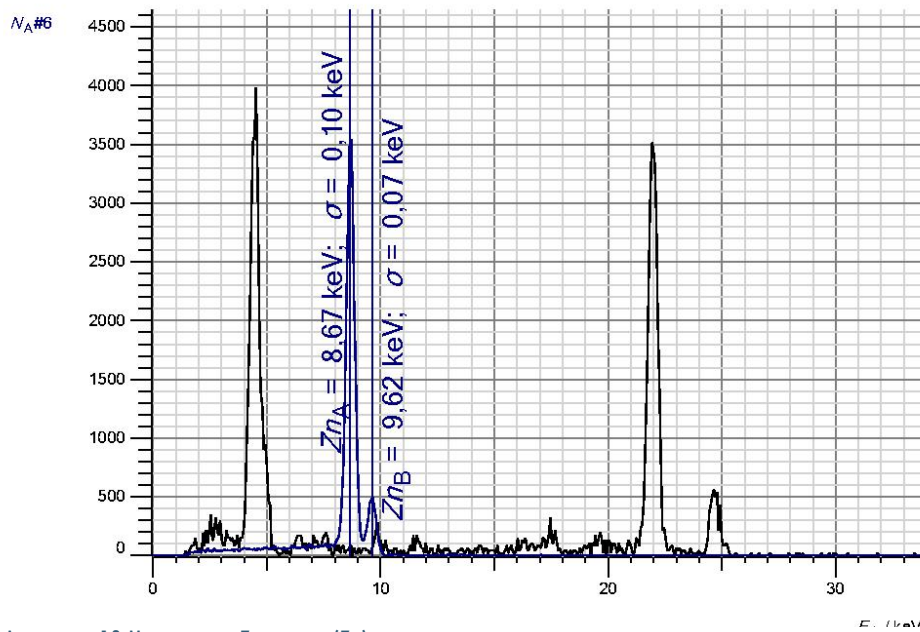


ABBILDUNG 18 MESSUNG MIT ZINKPROBE (Zn)

Teil 2 : Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

Eisen (Fe): $K_{\alpha_{Fe}} = 6,45 \text{ keV}$ (Fe_A)
 ($N_A \#2$) $K_{\beta_{Fe}} = 7,10 \text{ keV}$ (Fe_B)

VA-Stahl $K_{\alpha_{Cr}} = 5,44 \text{ keV}$ (Cr_A)
 ($N_A \#3$) ~~Chrom~~
 (Chrom und $K_{\alpha_{Fe}} = 6,45 \text{ keV}$ (Fe_A)
 Eben) $K_{\beta_{Fe}} = 7,13 \text{ keV}$ (Fe_B)
 (300s)

Ni-Probe: $K_{\alpha_{Ni}} = 7,54 \text{ keV}$ (Ni_A)
 ($N_A \#4$) $K_{\beta_{Ni}} = 8,31 \text{ keV}$ (Ni_B)

Cu-Probe $K_{\alpha_{Cu}} = 8,09 \text{ keV}$ (Cu_A)
 ($N_A \#5$) $K_{\beta_{Cu}} = 8,98 \text{ keV}$ (Cu_B)

Zn-Probe $K_{\alpha_{Zn}} = 8,67 \text{ keV}$ (Zn_A)
 ($N_A \#6$) $K_{\beta_{Zn}} = 9,62 \text{ keV}$ (Zn_B)

"Bonus"-Kunze, ~~K_{Al}~~ $BM1_{\alpha} = 6,45 \text{ keV}$
 unbekanntes, $BM1_{\beta} = 7,14 \text{ keV}$
 metall. Material
 ($N_A \#7$) (BM) $BM2_{\alpha} = 8,09 \text{ keV}$
 $BM2_{\beta} = 8,75 \text{ keV}$

^{20}Cl -Mumec $K_\alpha = 8,09 \text{ keV}$
 $(N_A \# 8)$ $K_\beta = 8,89 \text{ keV}$
 $(M20)$

Teil 1: Franck-Hertz-Versuch

1) (Minima T)
 (Maxima: H)

4)

Art	t in s	U in V	Gegenspannung: 1,5V
H	45,100	0,644	
T	49,350	0,131	
H	54,700	1,330	
T	59,100	0,427	
H	64,500	2,254	
T	68,900	0,736	
H	74,350	3,544	
T	78,750	1,436	

2)

H	43,900	0,540	Gegenspannung: 2V
T	48,350	-0,008	
H	53,550	1,216	
T	58,000	0,153	
H	63,400	2,126	
T	67,950	0,446	
H	73,400	3,418	
T	77,950	0,339	

3)

H	43,500	1,067
T	47,550	0,515
H	53,100	2,051
T	57,350	0,969
H	63,100	3,390
T	67,300	1,720
H	72,700	4,956
T	77,300	3,025

Gegenspannung: 1V

4)

H	43,600	0,749
T	47,850	0,180
H	53,250	1,514
T	57,650	0,428
H	63,050	2,552
T	67,450	0,837
H	73,050	3,985
T	77,450	1,552

Gegenspannung: 1,5V

[Signature]