Protokoll:
[AS] Atomstruktur

Betreuer: Alexander Gaus

Studiengang: Medizintechnik

Versuch erfolgte am: 01.03.2019

Inhalt

1. Zielstellung 3
2. Auswertung Teil 1: 4
   1. 4
   2. 4
   3. 5
   4. 6
   5. 6
3. Auswertung Teil 2 8
   1. Nachweis des Moseley-Gesetzes 8
   2. Messung unbekannter Proben: 9
4. Fazit 10

1. Zielstellung

Die heutigen Versuche sollen das Verständnis über den Aufbau eines Atoms weiter prägen. Dabei führen wir zum einen den Frank-Hertz-Versuch durch, der beweisen soll, dass ein Atom verschiedene Energieniveaus besitzt. Dazu wurden klassischer weise unter anderem beschleunigte Elektronen verwendet, sowie Quecksilberatome in Gasform.
Der zweite Versuch ist die Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie. Dieser Versuch ermöglicht es uns auf Grund von Röntgenfloureszenz die Energiewerte von verschiedenen Materialien zu untersuchen, um anschließend mit den erfassten Werten Aussagen über unbekannte Proben treffen zu können.
Dies ist ein gängiges Verfahren in der Materialanalytik.

2. Auswertung Teil 1:

1.

Das folgende Diagramm zeigt die Frank-Hertz-Kurve unserer ersten Messung mit einer Gegenspannung von 1V. Da die Kurven für die Gegenspannungen 1,5V und 2V ein ähnliches Bild aufzeigen, lassen sich die folgenden charakteristischen Aussagen auch auf diese anwenden.
Da im Programm die x-Achse in Zeit gegeben war galt es diese erst mittels folgender Formel umzurechnen:

$$U = \frac{1}{2} \cdot \frac{V}{s} \cdot t$$

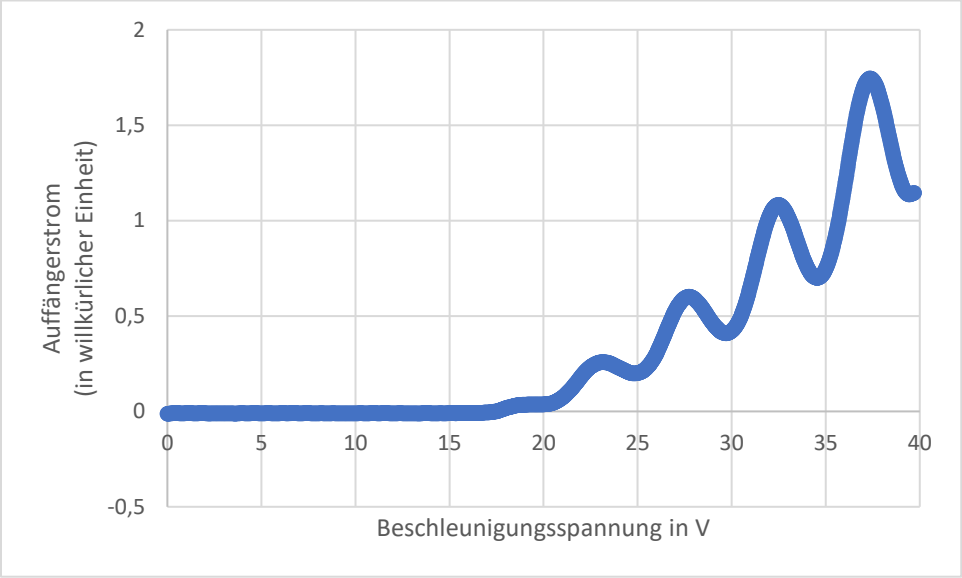


Abbildung 1: trägt Auffängerstrom gegen die Beschleunigungsspannung auf, erster Versuchsdurchlauf mit 1V Gegenspannung.

2.

Nun werden die Beschleunigungsspannwerte U_i für den Mittelwert der aufeinander folgenden Strommaxima und Stromminima bestimmt.
Mittels dieser Werte wird anschließend die Differenz aufeinanderfolgender Werte bestimmt. Dies erfolgt durch die Formel aus der Aufgabenstellung: $\Delta U = U_{i+1} - U_i$
Daraus ergibt sich direkt die Anregungsenergie: $A = e \cdot \Delta U$

Maxima, Minima und U_i bezogen auf die Gegenspannung:
Dabei ist hinzuzufügen, dass unser Programm deutlich weniger Maxima und Minima feststellen konnte siehe Computermessung im Anhang. Bei der Gegenspannung 1V waren zwei Maxima- und Minimapaare ablesbar, bei 1,5V und 2V jeweils drei.

Tabelle 1: Minima und Maxima sowie Ui aufgetragen mit zugehöriger Gegenspannung. Zudem ΔU mit der jeweiligen Anregungsenergie A.

Gegenspannung in V	Maximum in V	Minimum in V	U_i in V	ΔU in V	A in eV
1	27,7	29,7	28,7	4,8125	4,8125
1	32,5	34,525	33,5125		
1,5	22,25	24,275	23,2625	4,8	4,8
1,5	26,975	29,15	28,0625	4,9125	4,9125
1,5	31,875	34,075	32,975		
2	23,075	25,25	24,1625	4,725	4,725
2	27,775	30	28,8875	4,9	4,9
2	32,675	34,9	33,7875		

Nun wird der Mittelwert $\bar{A}$ und die Standartabweichung σ mittels Excel berechnet:

$$\bar{A} = 4{,}83eV$$

$$\sigma = 0{,}0774eV$$

Es folgt die Berechnung der Messunsicherheit mittels der Formel:$\Delta u_A = 2 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

$\Delta u_A = 0{,}07$eV

Somit ist das Ergebnis mit absoluter und relativer Messunsicherheit:

$$A = (4{,}83 \pm 0{,}07)eV$$

$$A = (4{,}83(1 \pm 1{,}5\%)eV$$

Dadurch, dass unser Programm weniger Maxima und Minima angezeigt hat, ist die Aussagekraft des Messergebnisses in Frage zu stellen.

3.

Ein aus dem ersten Zustand angeregtes Quecksilberatom kehrt in seinen Grundzustand zurück. Die dabei emittiert es einen Lichtquant der Wellenlänge 253,7nm.
Die transportierte Energie wird mittels folgender Formel berechnet:

$$\Delta E = h \cdot f$$

Mit $f = \frac{C}{\lambda}$ (Lichtgeschwindigkeit c=299 792 458 m/s)

Somit ist $f = 1{,}18 \cdot 10^{15} Hz$

Mit diesem Wert und dem Planck'schen Wirkungsquantum (h= 4,135*10^{-15}eV) lässt sich ΔE bestimmen

$\Delta E = 4{,}886$eV

Erstaunlicherweise liegt der errechnete Wert im Messunsicherheitsbereich der zuvor in Aufgabe 2 errechneten Anregungsenergie A. Dies lässt sich durch den Energieerhaltungssatz erklären. Die Anregungsenergie sowie die Energie die frei wird wenn ein Atom in seinen Grundzustand zurück kehrt muss natürlich gleich sein. Es lässt sich nun zusätzlich behaupten dass unsere Messungen aus Aufgabe 2 doch aussagekräftig genug sind, obwohl mit weniger Minima und Maxima gerechnet wurde.
Es wird ein Lichtquant mit der Wellenlänge 253,7nm emittiert. Damit liegt sie außerhalb des vom menschlichen Auge erkennbaren Bereichs (ca. 380-780nm laut Wikipedia). Die Wellenlänge liegt im Bereich des Ultravioletten Lichts.
Der Energiebereich des vom menschlichen Auge sichtbaren Lichts entspricht in etwa von 1,58954eV bis 3,26274eV. (https://www.wolframalpha.com/input/?i=((4.13567%C3%9710%5E-15+electronvolt+seconds)*(speed+of+light))%2F(780nm,
https://www.wolframalpha.com/input/?i=((4.13567%C3%9710%5E-15+electronvolt+seconds)*(speed+of+light))%2F(380nm)

4.

Der Startzeitpunkt der Messung ist irrelevant, da bei der Differenz ΔU die aufeinander fallenden Maxima und Minima sich so abziehen das die x-Achsenverschiebung keinerlei Rolle spielt. Die Anregungsenergie bleibt gleich. Zudem ist der Zeitpunkt irrelevant, da der fließende Strom eine Funktion der von uns angelegten Spannung ist und nicht von der Zeit. Dadurch das die Spannung aber linear ist und wir einen klaren Zeitraum von 80s sowie einer Spannung von 0 auf 40V haben, lassen sich diese Größen ins Verhältnis setzen durch:$U = 1\ /\ 2V\ /\ s \cdot t$
Im Endeffekt wollen wir nur die Anregungsenergie von Quecksilber feststellen. Dieses Erhalten wir durch die Differenzen der Mittelwerte von Stromminima und Strommaxima. Somit brauchen wir lediglich einen ausreichend großes Zeitintervall mit einer ausreichendgroßen Spannungsänderung. Somit ist unsere Messung völlig vom Startzeitpunkt entkoppelt.

5.

Besonders wichtig beim Verständnis einer Frank-Hertz-Kurve ist das 2. Bohrsche Postulat. Dieses besagt, dass zunächst das der Elektronenwechsel zu einer anderen Bahn möglich ist. Die Energie, die dabei benötigt wird, hängt unmittelbar davon ab auf welcher Bahn wir uns befinden und um welches Atom es sich handelt.
Zudem wie schon bei 3. Herausgefunden ist die Anrege Energie die selbe Energie wie die, die frei wird, wenn die jeweilige Position wieder mit einem Elektron gefüllt wird.

Der Verlauf der Frank-Hertz kurve wird anhand von Abb.2 erklärt.

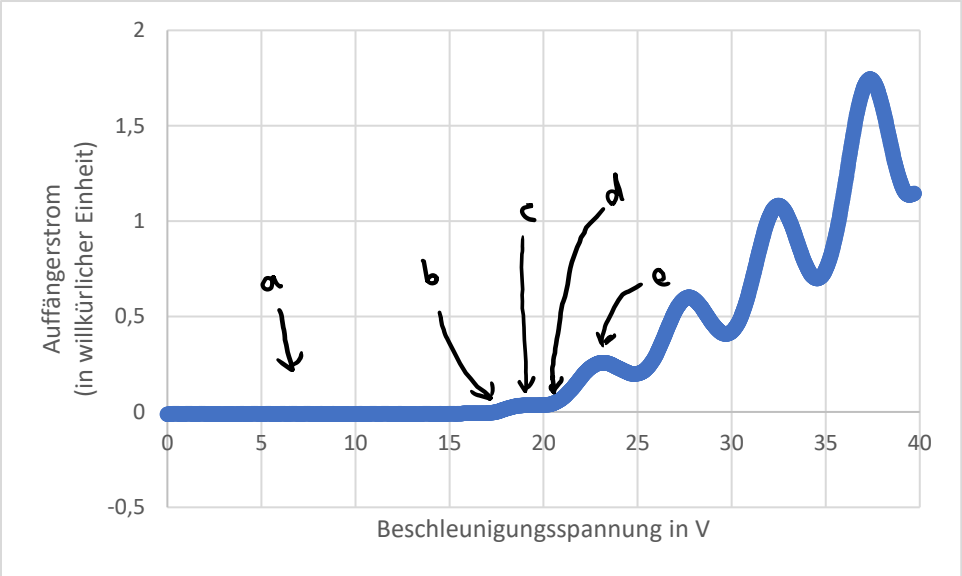


Abbildung 2: Frank-Hertz-Kurve mit 1V Gegenspannung und Nummerierung zur Erklärung. Quelle: Messergebnisse des Eigenen Versuchs

a)
Eine Beschleunigungsspannung wurde angelegt. Die Elektronen werden somit beschleunigt, allerdings ist ihre kinetische Energie nicht groß genug um die Gegenspannung überwinden zu können. Es zeigt sich somit keine Reaktion am Messgerät des Auffängerstroms.

b)
Die Beschleunigungsspannung ist langsam groß genug, um die ersten Elektronen so zu beschleunigen, dass ein Auffängerstrom entsteht. Es finden elastische Stöße mit den Quecksilberatomen statt.

c)
Dies ist der Interessante Teil des Versuchs. Die Elektronen haben dank der angestiegenen Beschleunigungsspannung ein Energieniveau erreicht, welches es ihnen in räumlicher Sicht, knapp vor dem Anoden-Gitter, immer mehr ermöglicht, inelastische Stöße mit den Quecksilberatomen durchzuführen. Insbesondere sind selbst die Elektronen, die zu Anfang von der Katode in die entgegengesetzte Richtung vom Gitter beschleunigt werden, in der Lage inelastische Stöße durchzuführen. Getroffene Quecksilberatome werden dadurch angeregt und das jeweilige Elektron verliert seine Energie. Es entsteht ein Minima.

d)
Die mittels der Beschleunigungsspannung maximale anregbare Zahl an Quecksilberatomen ist erreicht. Allerdings ist das Niveau des Auffängerstroms trotz Minima über dem Anfangswert. Dies liegt daran, dass es auch immer Elektronen gibt, die auf ihrem Weg in dem Körper kein Quecksilberatom treffen und somit den Auffängerstrom erhöhen. Somit steigt die gesamte Kurve immer weiter in y-Richtung.

e)
Die Beschleunigungsspannung hat nun erneut ein Level erreicht an dem die Beschleunigung der Elektronen ausreicht um sogar zwei inelastische Stöße mit Quecksilberatomen durchzuführen. Dieser Vorgang wiederholt sich und es entstehen immer mehr Maxima und Minima. Bei zwei inelastischen Stößen finden diese auf der Hälfte der Wegstrecke statt und zum anderen erneut direkt vor dem Gitter. Je nachdem wie viele inelastische Stöße die Beschleunigungsspannung ermöglicht, finden diese immer kurz vor dem Gegenstromgitter (räumlich gesehen) und bei der Hälfte, einem Drittel

(zwei Drittel), einem Viertel (zwei Viertel, drei Viertel), … , der Wegstrecke statt, da an diesen Stellen die kinetische Energie der Elektronen, die einen inelastischen Stoß durchführen, am größten ist.

Würde man das Quecksilbergas durch ein Gas austauschen, das bei Anregung sichtbares Licht abgibt, würde man in der Röhre des Experiments bei höherer Beschleunigungsspannung von der Seite mehrere leuchtende Ebenen sehen.

3. Auswertung Teil 2

1. Nachweis des Moseley-Gesetzes

(a)

Mittels der Formel $\sqrt{\frac{E_{k_\alpha}}{13{,}6eV}} = (Z-1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$ (AS.5)

Verrechnen wir unsere Energiewerte der K_α-Linien, der Stoffe Fe, Cr, Ni, Cu und Zn

Tabelle 2 Elemente und deren Energiewerte sowie Kernladungzahl

Element	E_α in keV	$\sqrt{\frac{E_{k_\alpha}}{13{,}6eV}}$	Kernladungszahl Z	$(Z-1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$
Fe	6,45	21,7776194	26	21,65063509
Cr	5,44	20	24	19,91858429
Ni	7,53	23,5303309	28	23,3826859
Cu	8,09	24,3896072	29	24,24871131
Zn	8,7	25,2924076	30	25,11473671

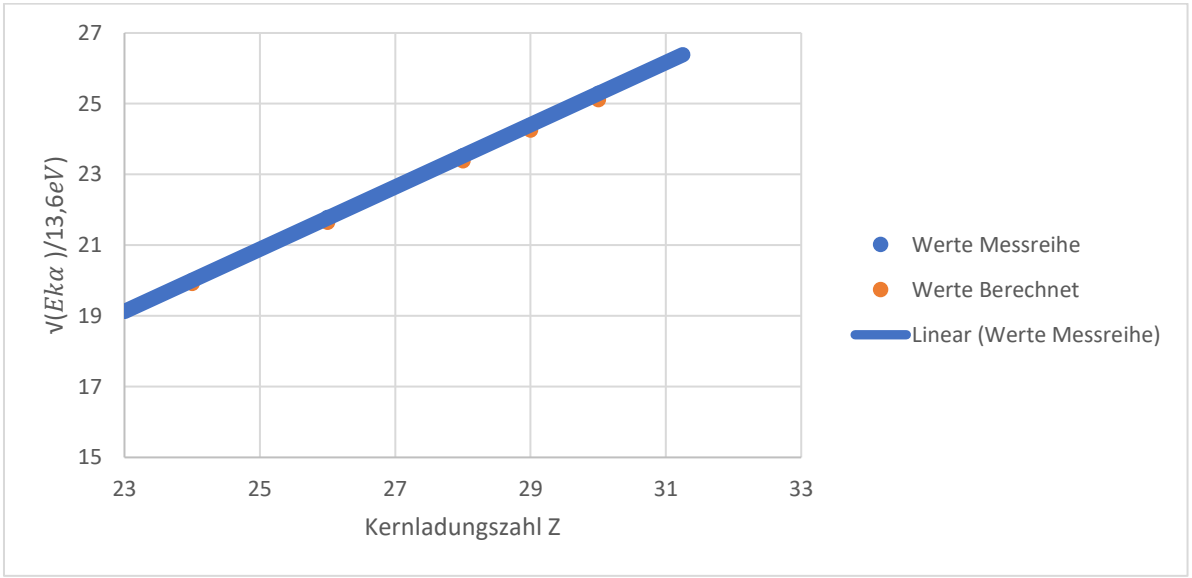


Abbildung 3: Trägt die Geraden der Gleichung gegeneinander auf. Die x-Achse stellt die Kernladungszahl Z dar die y-Achse das Ergebnis der Formel

Laut der Formel (Moseley-Gesetz) müssten unsere gemessenen Werte exakt auf den berechneten Werten (gelb) liegen. Dies ist beinahe der Fall, allerdings ist ein minimaler Unterschied festzustellen. Dies könnte an der fehlerhaften Feststellung der Peaks am Computer Programm liegen. Die Kalibration am Anfang ist aber nicht alleine verantwortlich, da die Abweichungen nicht konstant sind. Somit lässt sich sagen, dass bei jeder einzelnen Messung eine Art Fehler vorliegt.

2. Messung unbekannter Proben:

Unsere erste unbekannte Probe war ein 5ct Stück. Als Ergebnis haben wir einen Wert von $K_{\alpha 1=}$8,09keV und $K_{\beta 1}$= 8,96 gemessen. Wenn man diesen Wert unseren vorherigen Messungen vergleicht ist klar, dass das ein Bestandteil der Münze Kupfer ist. Die Peaks stimmen überein (siehe Tabelle 2). Allerdings besteht die 5ct Münze laut Wikipedia (Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Eurom%C3%BCnzen) zu 94,35% aus einem Eisen Kern. Somit ist klar, dass wir nur die Ummantelung messen konnten. Der Grund dafür ist vermutlich, dass ein Großteil der Röntgenstrahlung schon mit dem Kupfer „stößt“ und nicht bis zum Eisen durchdringt. Jene Strahlen, die durchdringen, lösen wiederrum Röntgenstrahlung ausgehen vom Eisen aus, die ebenfalls erneut die Kupferummantelung durchdringen muss. Somit werden diese vom Sensor zusätzlich weniger erfasst.

Unsere zweite Probe war eine handelsübliche Schraube. Dabei konnten wir zwei signifikante Peaks feststellen. Zum einen Kα1=6,40keV und zum andern Kα2=8,40keV. Der erste Peak ist klar Eisen zuzuordnen. Der zweite Peak ist interessanter, denn dieser liegt am nächsten zu Zink (siehe Abb.4 und Quelle: https://www.hegedues.de/fileadmin/user_upload/de/PDF/Bereitstellung_Extern/Anhang_B.pdf). Es ist somit denkbar, dass die Schraube verzinkt wurde um Korrosion zu vermeiden. Allerdings ist dies nicht klar zu sagen, da bei diesem Peak unser gemessener Wert nicht vollkommen auf dem Literaturwert liegt.

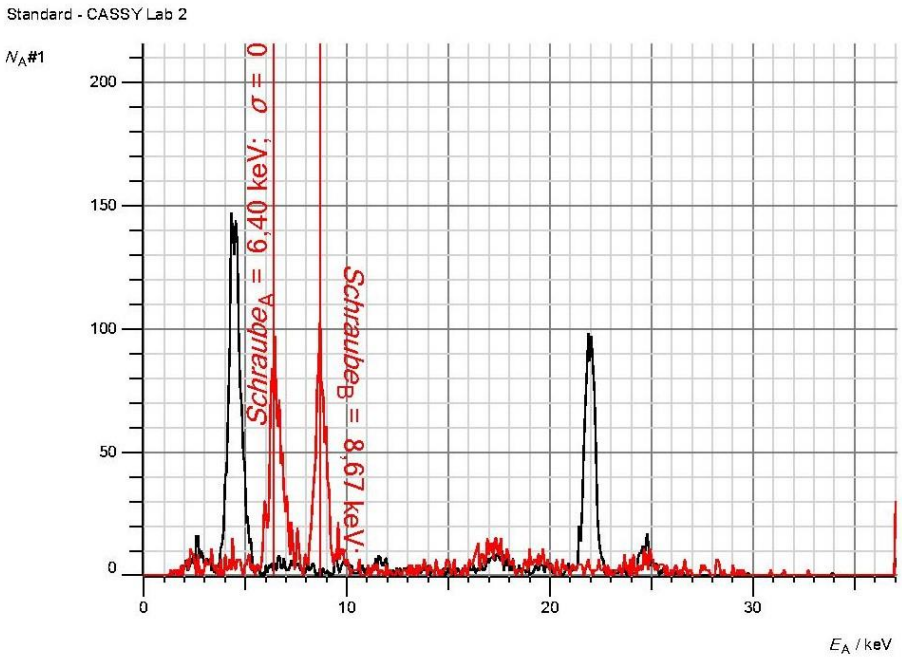


Abbildung 4: Messung der Röntgenenergien einer Schraube mittels der Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

4. Fazit

Uns ist es gelungen, sowohl im ersten Versuchsteil (trotz mangelnden Minima und Maxima), als auch im zweiten Versuchsteil die erwarteten Ergebnisse zu erzielen. Wir konnten im ersten Versuchsteil, anhand unseres Versuchs und den Messergebnissen eine Frank-Hertz-Kurve bilden. Diese wies auch die typischen Eigenschaften einer Frank-Hertz-Kurve auf.
Auch der zweite Versuchsteil entsprach unseren Erwartungen. Dank den Röntgenenergien konnten wir die verschiedenen Objekte in ihrer Zusammensetzung einordnen und mit den ermittelten Werten sogar unbekannte Proben einstufen.
Die Messergebnisse des ersten Versuchsteil haben aufgrund weniger Werten eine weniger präzise Messung dargestellt. Die des zweiten Versuchsteils stimmen dagegen größtenteils mit den Literaturwerten überein. Somit lässt sich sagen, dass die Messungsqualität des zweiten Versuchs relativ hoch ist.

Zusammengefasst könnten bei den Versuchen folgende Fehler entstehen:

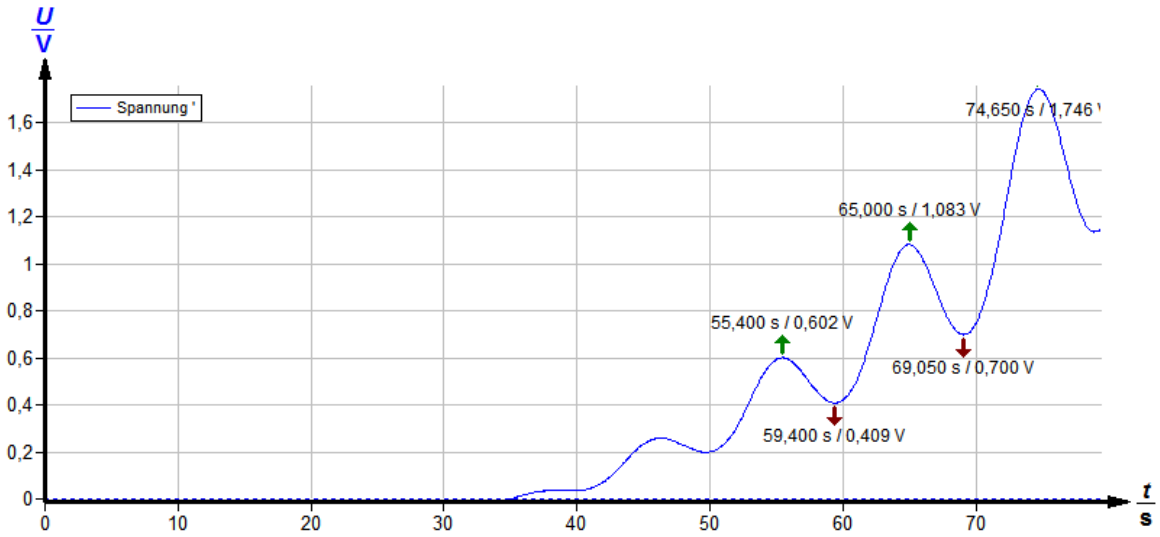
Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie

- Die falsche/ungenaue Markierung der Peaks am Programm löst einen Systematischen Fehler aus, der sich über die gesamte Versuchsreihe zieht. Da somit die Kalibrierung der Achsen falsch ist.
- Falls das Präparat nicht richtig positioniert ist, kann dies ebenfalls die Ergebnisse verfälschen.

Frank-Hertz-Versuch

- Das Gedrückt halten des Knopfes könnte kurzzeitig durch menschliches Versagen unterbrochen werden.
- Es ist nicht möglich die Messung exakt zeitgleich mit dem Drücken des Knopfes am Gerät zu starten.

5. Anhang


U
V
Spannung
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
0
10
20
30
40
50
60
70
t
s
74,650 s / 1,746
65,000 s / 1,083 V
55,400 s / 0,602 V
69,050 s / 0,700 V
59,400 s / 0,409 V

[redacted]

Messwerte Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie 01.05.19

Fe A = 6,45 keV σ = 0,09 keV
Fe B = 7,13 keV σ = 0,00 keV

~~XRA~~

Cr A = 5,44 keV σ = 0,08 keV
Fe A = 6,46 keV σ = 0,13 keV
Fe B = 7,20 keV σ = 0,00 keV

Ni A = 7,53 keV σ = 0,11 keV
Ni B = 8,32 keV σ = 0,00 keV

Cu A = 8,09 keV σ = 0,09 keV
Cu B = 8,88 keV σ = 0,04 keV

Zn A = 8,70 keV σ = 0,06 keV
Zn B = 9,63 keV σ = 0,04 keV

5 cent

A = 8,09 keV σ = 0,09 keV
B = 8,96 keV σ = 0,03 keV

Schraube

A = 6,40 keV σ = 0,07 keV
B = 8,90 keV σ = 0,03 keV

Messwerte Franck-Hertz-Versuch measure 4

	Messung 1 t(s)	Messung 1 u(V)	Messung 2 t(s)	Messung 2 u(V)	Messung 3 t(s)	Messung 3 u(V)
HP	55,400	0,602	4,650	1,737	44,500	0,359
TP	59,400	0,409	10,200	0,296	48,550	0,147
2 HP	65,000	1,083	14,650	1,016	53,950	0,828
2 TP	69,050	0,700	20,000	0,102	58,300	0,347
3 HP	74,650	1,746	24,450	0,509	63,750	1,510
~~3 TP~~ 3TP			29,500	-0,004	68,150	0,658
4 HP			33,850	0,154	73,750	2,475
Gegenspannung	~~2,6~~ 1V		2V		1,5V	