
Versuch 23

Röntgenstrahlung

Praktikant: Felix Kurtz
Michael Lohmann
E-Mail: felix.kurtz@stud.uni-goettingen.de
m.lohmann@stud.uni-goettingen.de
Betreuer: Phillip Bastian
Versuchsdatum: 11.03.2015

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Röntgenröhre und Bragg-Reflexion	3
2.2	Geiger-Müller-Zählrohr	4
2.3	Bremsstrahlung	4
2.4	Charakteristische Röntgenstrahlung	5
3	Durchführung	5
4	Auswertung	6
4.1	Charakteristisches Spektrum von Eisen	6
4.1.1	Wellenlängen und Energien	6
4.1.2	Abhängigkeit von der Anodenspannung	6
4.1.3	Grenzwellenlänge der Bremsstrahlung	6
5	Diskussion	8
6	Anhang	8
	Literatur	8

1 Einleitung

In diesem Versuch sollen mithilfe der Bragg-Reflexion die Eigenschaften von Röntgenstrahlung untersucht werden. Dabei kann zum einen die *Bremsstrahlung* als auch die für jedes Material *charakteristische Strahlung* beobachtet werden. Außerdem werden noch zwei Naturkonstanten der Atomphysik bestimmt: das *Plancksche Wirkungsquantum* und die *Rydberg-Frequenz*.

2 Theorie

2.1 Röntgenröhre und Bragg-Reflexion

In einer Röntgenröhre (vgl. Abb.1) werden Elektronen durch einen Glühdraht emittiert und anschließend auf eine Anode beschleunigt. Dort wechselwirken sie mit dem Anodenmaterial und es entsteht elektromagnetische Strahlung. Diese ist bei den typischen Beschleunigungsspannungen U_A , die sich bei mehreren Kilo-Volt bewegen, energiereicher als Licht. Man nennt sie im deutschen Sprachraum nach ihrem Entdecker WILHELM CONRAD RÖNTGEN *Röntgenstrahlung*.

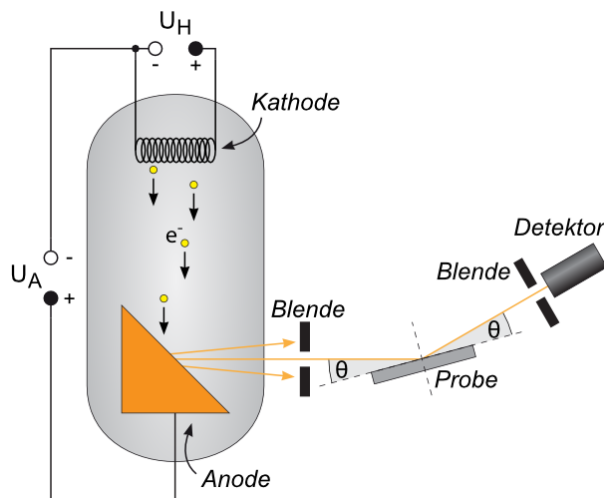


Abbildung 1: Aufbau einer Röntgenröhre mit Detektor. [LP2, Datum: 02.01.15]

Um die Strahlung zu charakterisieren, trifft sie auf ein Kristallgitter, dessen Atomabstand im Bereich der Wellenlänge liegt. Dort kommt es zur *Bragg-Reflexion*, welche in Abb.2 dargestellt wird. Die Strahlen werden an mehreren Kristallschichten reflektiert. Dabei kommt es zu Gangunterschieden, welche ein ganzzahliges Vielfaches n der Wellenlänge sein müssen, damit es zur konstruktiven Interferenz kommt und man am

Detektor ein Signal erkennt. So lässt sich also der Ablenkwinkel 2θ in eine bestimmte Wellenlänge λ umrechnen:

$$2d \sin \theta = n\lambda. \quad (1)$$

Dies nennt man die *Bragg-Bedingung*.

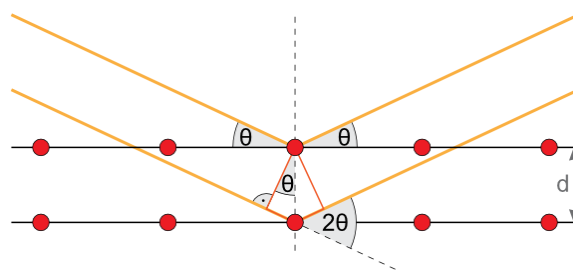


Abbildung 2: Bragg-Reflexion schematisch. [LP2, Datum: 02.01.15]

2.2 Geiger-Müller-Zählrohr

Die Röntgenstrahlung wird durch ein Geiger-Müller-Zählrohr detektiert. Dort ionisiert sie nämlich Atome und setzt somit Elektronen frei. Diese lösen eine Kaskade an weiteren Elektronen aus und ein Strom kann gemessen werden. Da das Zählrohr eine gewisse Zeit benötigt, bis es ein neues Ereignis detektieren kann, (*Totzeit*), müssen die Impulsraten N (Impulse/Sekunde) durch folgende Formel korrigiert werden:

$$N_{\text{korrigiert}} = \frac{N_{\text{gemessen}}}{1 - \tau \cdot N_{\text{gemessen}}}. \quad (2)$$

Dabei ist τ die Totzeit, die sich typischerweise im Bereich von $100 \mu\text{s}$ befindet. Man berechnet nämlich die Wahrscheinlichkeit mit ein, dass ein Ereignis stattgefunden hat, dieses aber nicht detektiert werden konnte.

2.3 Bremsstrahlung

Das Elektron überträgt Energie an das Photon, wenn es mit dem Anodenmaterial wechselwirkt. Läuft dieser Prozess ideal ab, gibt das Elektron seine gesamte Energie $E = e \cdot U_A$ an das Photon ab, dessen Energie $E = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda}$ beträgt. Setzt man also beide Energien gleich, kann man die minimal erreichbare Wellenlänge λ_{gr} berechnen:

$$\lambda_{\text{gr}} = \frac{hc}{e \cdot U_A}. \quad (3)$$

Sie hängt nur von der Beschleunigungsspannung U_A ab, da die Elektronenladung e , die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit c sowie das Plancksche Wirkungsquantum h Naturkonstanten sind.

Da aber die wenigsten Photonen die gesamte Elektronenenergie erhalten, ergibt sich eine typische, kontinuierliche Intensitätsverteilung, deren Maximum sich bei einer etwas größeren Wellenlänge befindet. Man nennt dies *Bremsstrahlung*.

2.4 Charakteristische Röntgenstrahlung

Neben der Bremsstrahlung misst man auch noch die für das Anodenmaterial *charakteristische Strahlung*. Dabei entspricht die Photonen-Energie genau einer Differenz von zwei Energieniveaus: $E_{\text{ph}} = h\nu = E_s - E_f$. Ist das untere Niveau E_f die K-Schale, spricht man von K-Linien. Der Übergang von der L-Schale auf die K-Schale wird mit $K\alpha$ bezeichnet, der von M-Schale mit $K\beta$. Diese Energiedifferenzen der K-Linien kann man mithilfe des *Moseley-Gesetzes*

$$\nu_K = R_\nu (Z - 1)^2 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_s^2} \right) \quad (4)$$

berechnen. Dabei ist ν_K die Frequenz des Photons, R_ν die *Rydberg-Frequenz*, Z die Kernladungszahl des Atoms und n_s bzw. n_f kennzeichnen das obere/untere Niveau. Für die K-Schale ist $n = 1$, für die L-Schale gilt $n = 2$, etc. Analog kann man auch die Energien für die anderen Linien berechnen. Dabei muss aber die Kernladungszahl um die für jede Schale typische Abschirmkonstante σ verringert werden. Anhand der obigen Formel (K-Schale) erkennt man: $\sigma_K = 1$.

Die Intensität I_K der charakteristischen Strahlung hängt über

$$I_K \sim I_A \cdot (U_A - U_K)^{3/2} \quad (5)$$

von dem Anodenstrom I_A sowie der Anodenspannung U_A und dem Ionisationspotential U_K ab.

3 Durchführung

Nach Anschalten der Röntgenröhre, des Computers und Starten des Messprogramms MEASURE

4 Auswertung

4.1 Charakteristisches Spektrum von Eisen

4.1.1 Wellenlängen und Energien

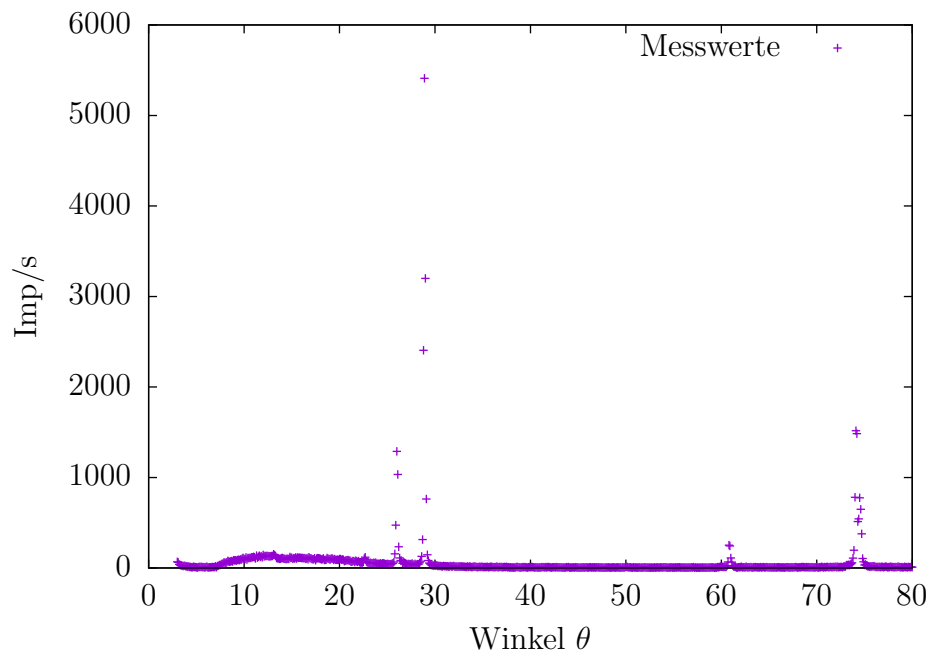


Abbildung 3: Spektrum aus Messung 2

	n	Winkel θ	Wellenlänge λ [pm]	Energie E [eV]	
				Messwert	Lit. Wert
K_α	1	$28.9^\circ \pm 0.2^\circ$	194.3 ± 1.3	6380 ± 50	6391, 6404
	2	$74.1^\circ \pm 0.2^\circ$	193.3 ± 0.2	6414 ± 14	
K_β	1	$26.0^\circ \pm 0.2^\circ$	176.2 ± 1.3	7040 ± 60	7058
	2	$60.8^\circ \pm 0.2^\circ$	175.5 ± 0.4	7065 ± 17	

4.1.2 Abhängigkeit von der Anodenspannung

4.1.3 Grenzwellenlänge der Bremsstrahlung

$$h = (6.57 \pm 0.06) \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

(6)

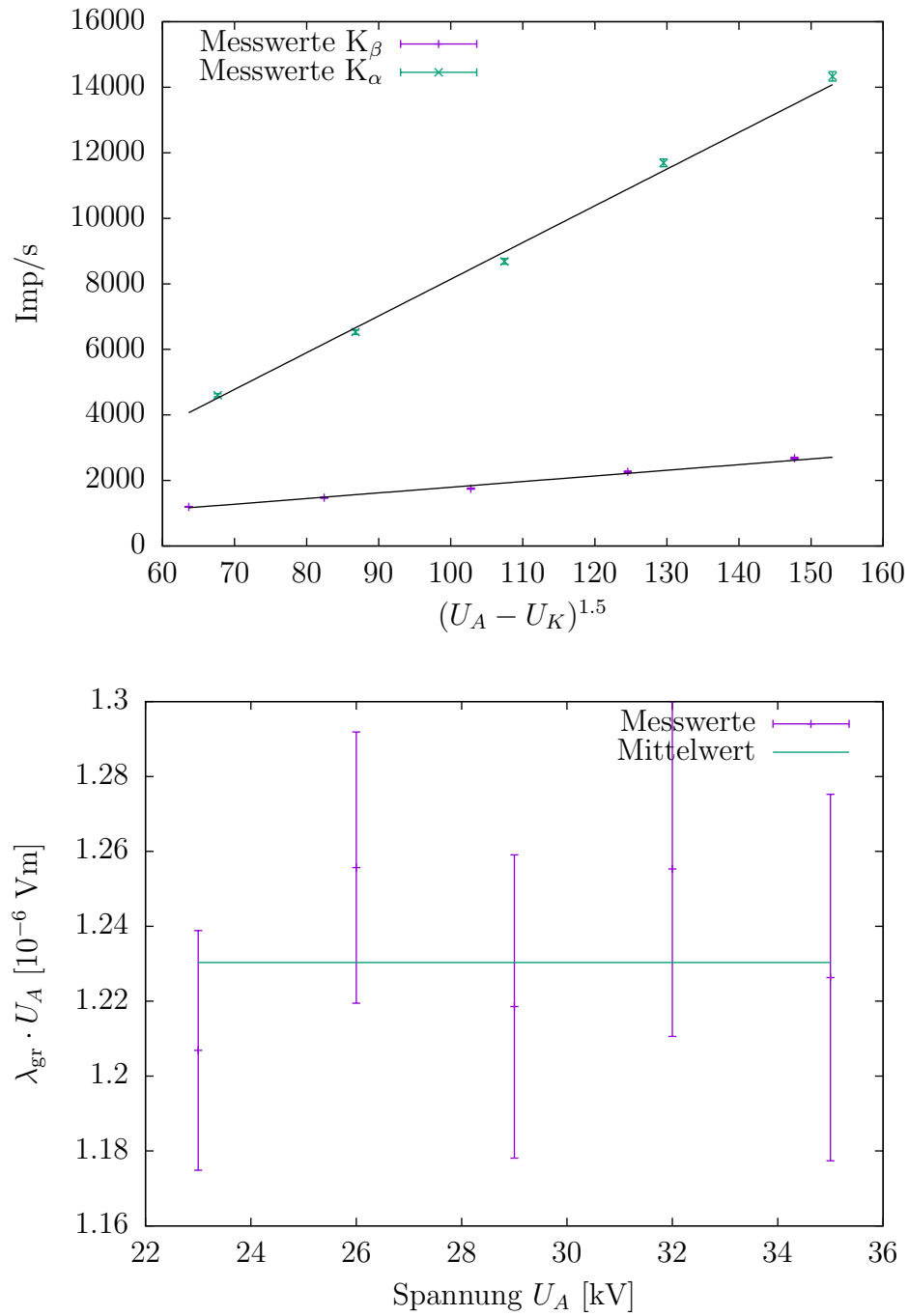


Abbildung 4: Produkt aus Beschleunigungsspannung und zugehöriger Grenzwellenlänge in Abhängigkeit der Spannung

5 Diskussion

6 Anhang

Literatur

[LP2] *Lehrportal der Universität Göttingen.* <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4385>.