

Verwandte Themen

Brems- und charakteristische Röntgenstrahlung, Energieniveaus, Photonenenergie, Halbleiterdetektoren, Vielkanalanalysatoren.

Prinzip

Die Röntgenspektren einer Röntgenröhre werden bei verschiedenen Anodenspannungen mit Hilfe eines Halbleiterdetektors energiedispersiv gemessen. Aus der maximalen Energie der Bremsspektren wird das Duane-Huntsche Verschiebungsgesetz verifiziert.

Material

1 XR 4.0 expert unit, Röntengerät	09057-99
1 XR 4.0 Goniometer	09057-10
1 XR 4.0 Einschub mit Wolfram-Röntgenröhre	09057-80
1 Blendentubus d = 1 mm	09057-01
1 Blendentubus d = 2 mm	09057-02
1 Vielkanalanalysator	13727-99
1 XR 4.0 Röntgenenergiedetektor	09058-30
1 XR 4.0 RED Kabel, 50 cm	09058-32
1 Abgeschirmtes Kabel, BNC, l = 750 mm	07542-11
1 measure software Vielkanalanalysator	14452-61

PC, Windows® XP oder höher



Abb. 1: P2546301

Aufgaben

1. Registriere das von der Wolframanode ausgehende Röntgenspektrum bei verschiedenen Werten der Anodenspannung U_a .
2. Berechne Sie aus der maximalen Energie der jeweiligen Bremspektren die minimale Wellenlänge der entsprechenden Photonen.
3. Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Anodenspannung und minimaler Wellenlänge der jeweiligen Bremspektren grafisch dar.

Versuchsaufbau

- Adapterring auf den Eintrittstubus des Energiedetektors schrauben.
- Signal- und Versorgungskabel mit den Winkelsteckern an die entsprechenden Buchsen des Detektors anschließen.
- Signal- und Versorgungskabel an die entsprechenden Anschlüsse im Experimentierraum anschließen. In Abb. 2 ist der Anschluss für das Signalkabel rot gekennzeichnet, der für das Versorgungskabel grün. Entsprechend außen die X-RED Anschlüsse des Röntgengeräts (Siehe Abb. 3) mit dem Vielkanalanalysators (VKA) verbinden. Verbinden Sie das Signalkabel mit der Buchse „Input“ und das Versorgungskabel mit der Buchse „X-Ray Energy Det.“ des VKA verbinden.
- Energiedetektor in der Halterung des Schwenkarmes des Goniometers befestigen (Abb. 4). Beide Kabel sind mit ausreichender Länge so zu führen, dass eine ungehemmte Drehung des Goniometers über den gesamten Schwenkbereich gewährleistet ist.
- Verbindung zwischen VKA und Rechner mit Hilfe des USB-Kabels herstellen.

Durchführung

Kalibrierung des VKA

- (wenn nicht auf eine bereits vorliegende Kalibrierung zurückgegriffen werden kann).
- Goniometerblock und Detektor werden jeweils in ihre rechten Endpositionen gebracht,
- Blendentubus mit 1-mm-Lochdurchmesser in den Austrittstubus der Röntgenröhre einsetzen,
- bei eingeschaltetem Röntgengerät den Detektor in die 0° -Stellung bringen. Zur Reduzierung der Gesamtrate den Detektor anschließend um einige $0,1^\circ$ aus der Nulllage drehen.

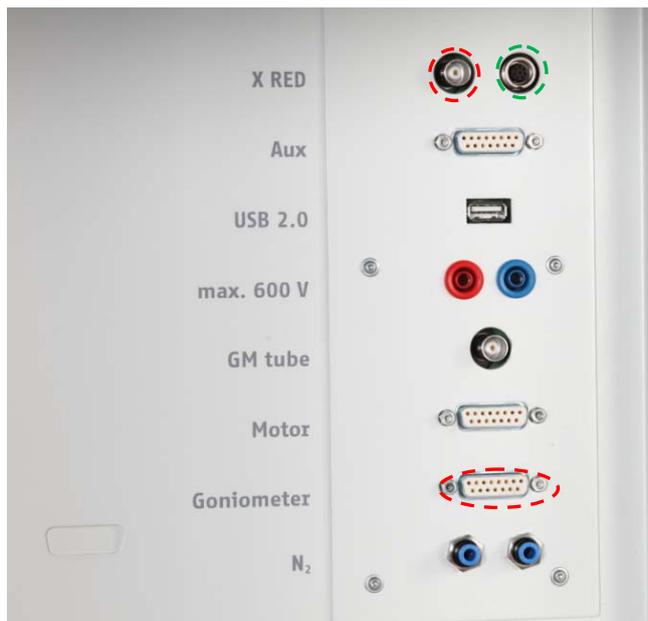


Abb. 2: Anschlüsse im Experimentierraum



Abb. 3: Anschluss des VKA



Abb. 4: Versuchsaufbau am Goniometer

- Betriebsdaten der Wolframröntgenröhre: Anodenspannung $U_A = 25$ kV und Anodenstrom $I_A = 0,02$ mA wählen und die Röntgenstrahlung aktivieren.
- Im MEASURE-Programm unter „Messgerät“ VKA auswählen. Dann „Einstellungen und Kalibrieren“ wählen. Nach Anklicken der Schaltfläche „Kalibrieren“ kann nun ein Spektrum gemessen werden. Die Zählrate sollte dabei < 300 Imp./s betragen (evtl. Zählrohr weiter aus dem Strahl bewegen). Einstellungen zur Energiekalibrierung: – 2-Punkt Kalibrierung, – Einheit = keV, Verstärkungsfaktor = 4, – der Offset ist so zu wählen, dass niederenergetische Rauschsignale unterdrückt werden (in der Regel genügt ein Offset von einigen %) – siehe Abb. 5.
- Messdauer 5 Minuten, dazu Timer des Röntgengerätes benutzen,
- Die zwei farbigen Kalibrierlinien werden jeweils mit den Linienmitten der beiden intensivsten charakteristischen Röntgenlinien zur Deckung gebracht. Die zugehörigen Energiewerte (Zuordnung der Linien: siehe z. B. P2544701) $E(L_3M_5/L_3M_4) = 8,41$ keV und $E(L_2N_4) = 9,69$ keV werden farbenrichtig in die zugehörigen Felder eingetragen. (Da die L_3M_5/L_3M_4 -Linien nicht zu trennen sind, wird ein Mittelwert der beiden Energien genommen)
- Die Kalibrierung bezeichnen und speichern.

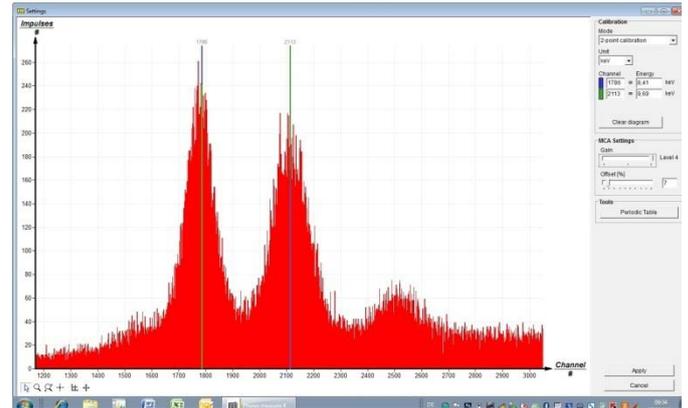


Abb. 5: Kalibrierung des VKA

Messung von Röntgenspektren

Zur Verifizierung des Duane-Huntschen Verschiebungsgesetzes werden Röntgenspektren mit verschiedenen Beschleunigungsspannungen zwischen $8 \text{ kV} < U_A < 30 \text{ kV}$ gemessen.

- Die zur Energiekalibrierung verwendeten Parameter sind wieder zu verwenden, Verst. 2,
- Die jeweiligen Zählraten sollten ≈ 300 Imp./s betragen. Dieses wird durch Variation des Anodenstroms und durch die um einige zehntel Grad aus der Nulllage gedrehten Detektorstellungen erreicht,
- Die Messdauer beträgt 3-5 Minuten/Spektrum,
- Zur besseren Auswertung der Messkurven geht man von der Balken- zur Kurvendarstellung über. Dazu „Darstellungsoptionen“, anschließend „Interpolation“ und „Geraden“ anklicken.
- Mit Hilfe der Funktion „Vermessen“  den Einsatz der Bremspektren ermitteln (s. Abb. 2).

Theorie und Auswertung

Durch die zwischen der Anode und Kathode liegende Spannung U_A werden die von der Kathode ausgehenden Elektronen zur Anode hin beschleunigt. An der Kathode haben dann die Elektronen die Energie:

$$E = e \cdot U_a \quad (1)$$

Durch Wechselwirkung mit den Atomen des Anodenmaterials verlieren die Elektronen schrittweise ihre kinetische Energie, die in ein kontinuierliches Spektrum von Röntgenstrahlung (Bremspektrum) umgesetzt wird. Erfolgt der Verlust der kinetischen Energie in einem Schritt, werden Röntgenstrahlen mit maximaler Energie E_{\max} und mit minimaler Wellenlänge λ_{\min} erzeugt. Die amerikanischen Physiker Duane und Hunt fanden 1915 empirisch, dass das Produkt aus Beschleunigungsspannung und minimaler Wellenlänge konstant ist:

$$U_a \cdot \lambda_{\min} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{Vm} \quad (2)$$

Aus der Energiegleichung

$$E_{\max} = e \cdot U_a = h \cdot f_{\max} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\min}} \quad (3)$$

folgt mit

Planck-Konstante $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Vakuumlichtgeschwindigkeit $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Elementarladung $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

für die kürzeste Wellenlänge der Röntgenphotonen:

$$\lambda_{\min} = 1,24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{U_a} \text{Vm} \quad (4)$$

Aufgabe 1:

Die Abb. 6a und 6b zeigen für zwei verschiedene Beschleunigungsspannungen die entsprechenden Röntgenspektren des Wolframs. In Abb. 6a beträgt die Beschleunigungsspannung $U_A = 9 \text{ kV}$. Da die Energie des L -Niveaus von Wolfram ca. 10 keV beträgt, können bei dieser Beschleunigungsspannung noch keine charakteristischen L -Linien erzeugt werden.

Aufgabe 2

Die Auswertung der Messreihen zeigt die Tabelle, in deren Spalte A die jeweiligen Anodenspannungswerte U_A eingetragen sind. Die Spalte B enthält die Maximalenergie E_{\max} der zugehörigen Bremspektren. In der Spalte C sind die nach (3) mit dem Äquivalent $1 \text{ eV} = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ berechneten λ_{\min} -Werte eingetragen.

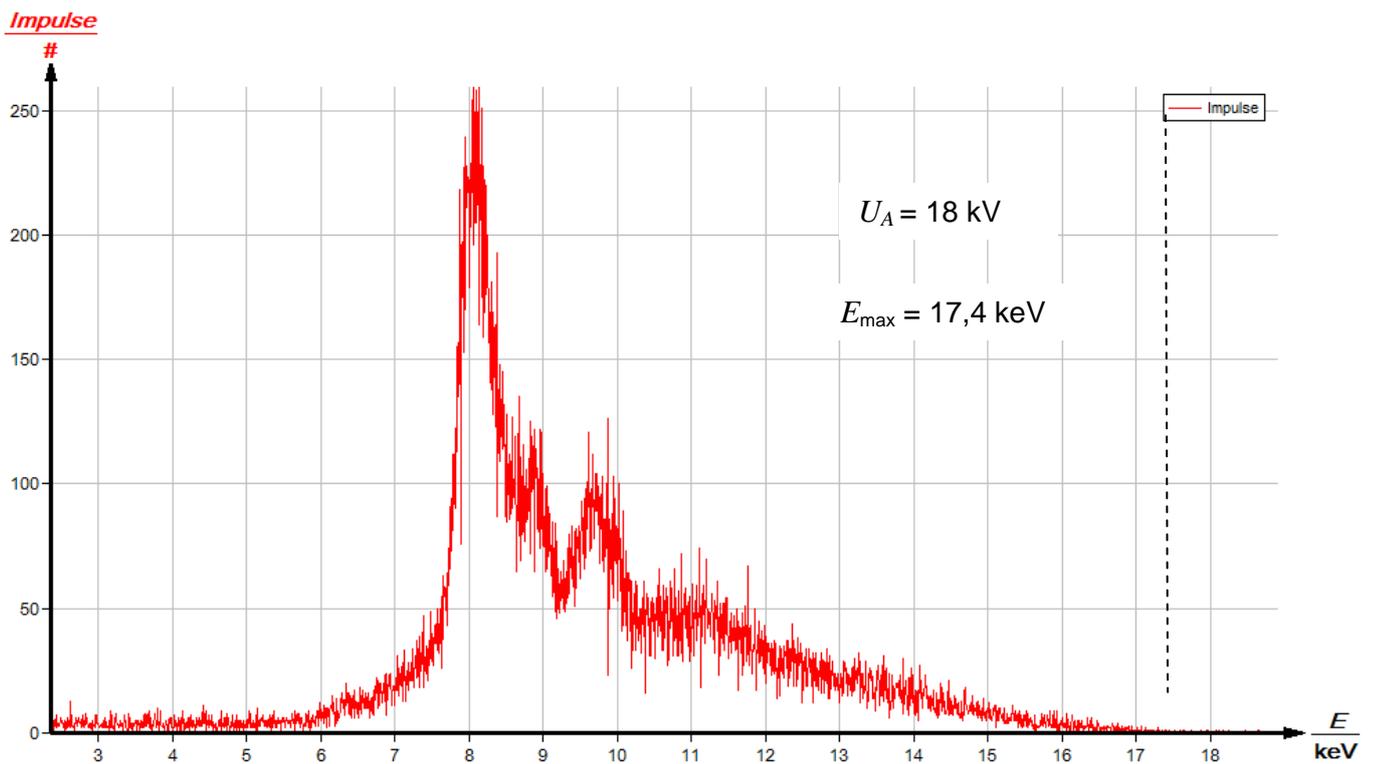
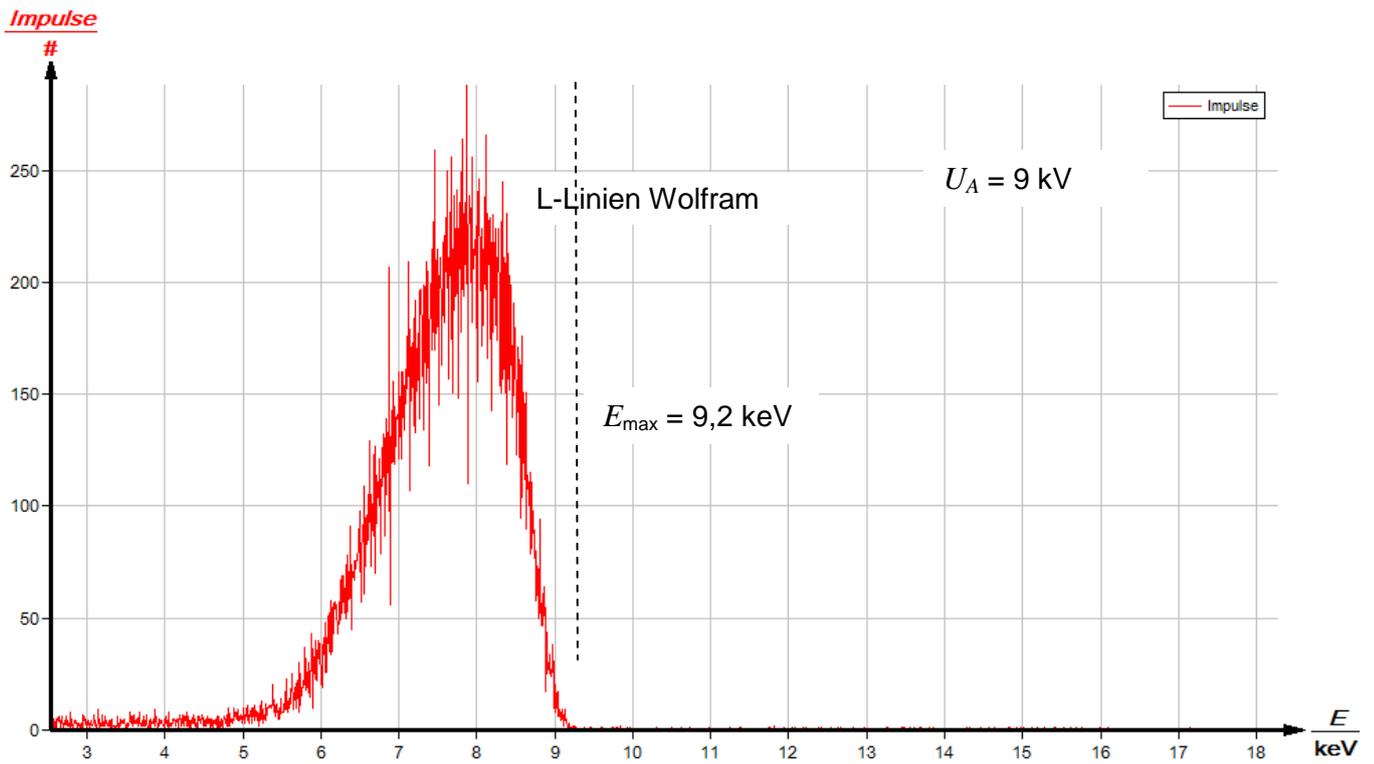


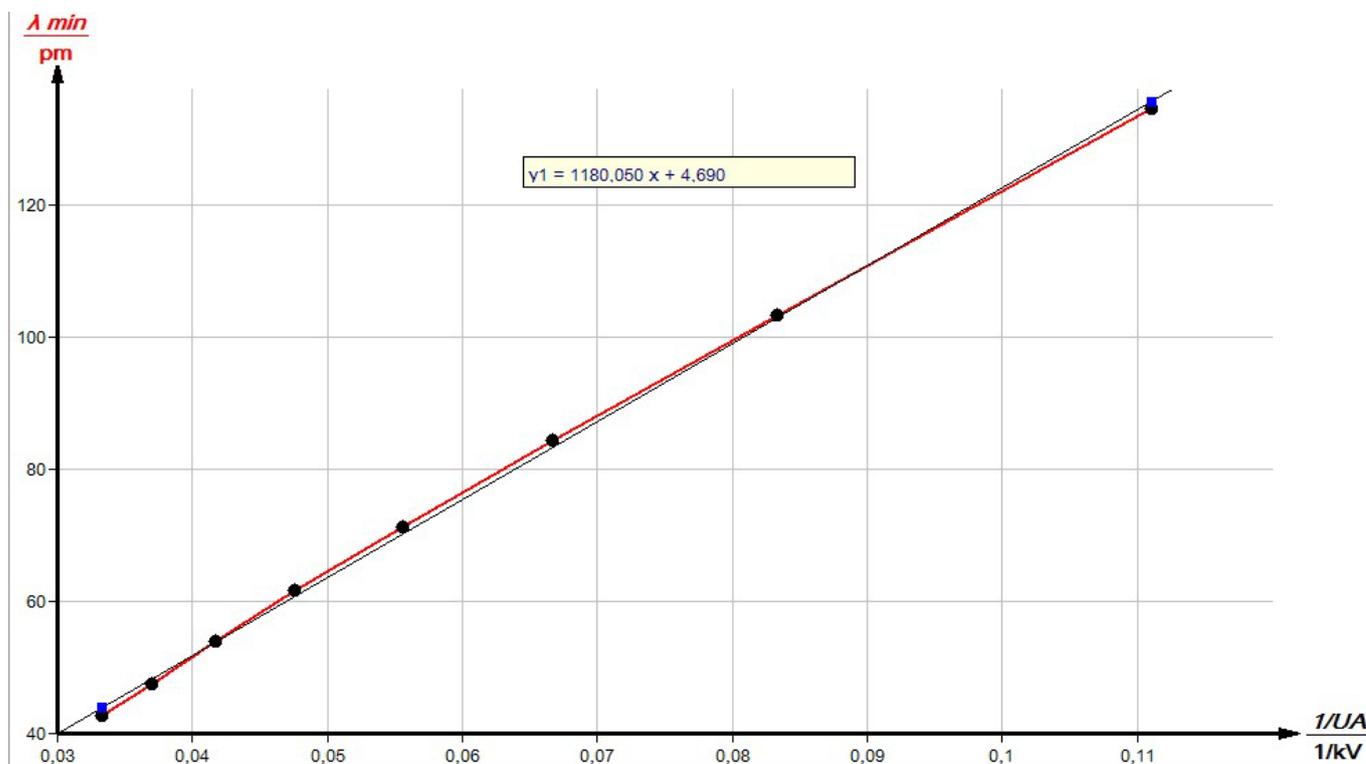
Abb. 6: W-Röntgenspektrum bei Beschleunigungsspannungen von a: $U_A = 9 \text{ kV}$ und b: $U_A = 18 \text{ kV}$

Tabelle: Minimale Wellenlängen der Röntgenphotonen als Funktion der Anodenspannung

A	B	C
U_A / kV	$E_{\text{max}} / \text{keV}$	$\lambda_{\text{min}} / \text{pm}$
30	29	42,8
27	26,1	47,5
24	23	53,9
21	20,1	61,7
18	17,4	71,3
15	14,7	84,4
12	12	103,3
9	9,2	134,8

Aufgabe 3

Mit den Werten aus der Tabelle zeigt die Abb. 7 den Verlauf der Funktion $\lambda_{\text{min}} = f(1/U_a)$. Die Steigung der zusätzlich eingezeichneten Ausgleichsgeraden beträgt – in Übereinstimmung mit dem Verschiebungsgesetz nach Duane-Hunt – $\sim 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Vm}$.

Abb. 7 λ_{min} der Photonen als Funktion von $1/U_a$

Anmerkung

Die Existenz einer Grenzwellenlänge des Bremsspektrums kann nur durch die Quantentheorie mit Hilfe der Einsteinschen Energiebeziehung erklärt werden, denn nach der klassischen Theorie der Elektrodynamik müsste das abgebremste (negativ beschleunigte) Elektron ein Photonenspektrum mit beliebig hohen Frequenzen erzeugen.