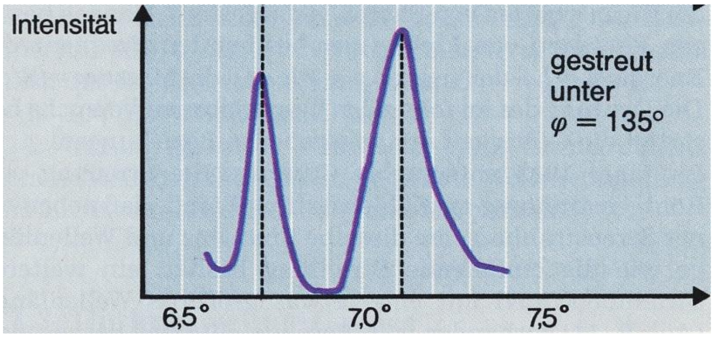
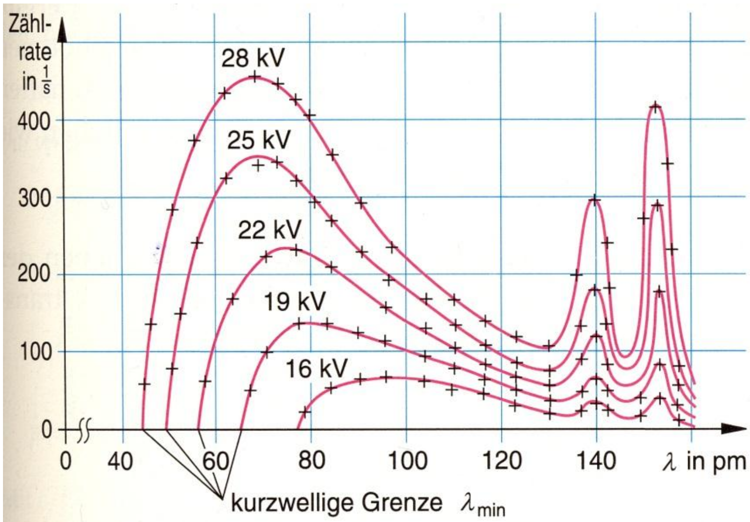
Aufgabe 1



Das Diagramm wurde mit der Drehkristallmethode aufgenommen. Es stellt die Intensität der Röntgenstrahlung in Abhängigkeit vom Glanzwinkel beim Compton-Effekt an Graphit für den Streuwinkel $\varphi = 135°$ dar. Verwendet wurde monochromatische Röntgenstrahlung mit $\lambda = 71pm$.

a) Erläutere den Compton-Effekt und die Drehkristallmethode jeweils anhand einer Skizze! Skizziere den prinzipiellen Versuchsaufbaus zur Aufnahme des abgebildeten Diagramms!
b) Berechne die Wellenlänge λ' der gestreuten Strahlung!
c) Ordne den Maxima des Diagramms die entsprechenden Wellenlängen zu! Bestimme mit bestmöglicher Genauigkeit (auf vier Nachkommastellen) den Netzebenenabstand des Einkristalls, der bei der Aufnahme dieses Diagramms verwendet wurde!

Aufgabe 2



a) Deute die dargestellten Röntgenspektren ausführlich!
b) Berechne den Glanzwinkel ϑ, unter dem das charakteristische Maximum der kleineren Wellenlänge mit Hilfe der Drehkristallmethode aufgenommen wurde! Benutzt wurde ein LiF-Kristall mit dem Netzebenenabstand $d = 201pm$.
c) Bestimme aus den dargestellten Röntgenspektren das Planck'sche Wirkungsquantum h ! Erläutere dein Vorgehen!
d) Häufig werden bei Röntgenspektren, wie auch in der Abbildung zur Aufgabe 1 zu sehen ist, die Glanzwinkel auf der waagerechten Achse statt der Wellenlängen angegeben. In diesem Fall würde gelten: $h = \frac{2 \cdot e \cdot d}{c} \cdot U_A \cdot \sin(\vartheta_{min})$. Leite diese Gleichung begründet her!

h	= Planck'sches Wirkungsquantum
e	= Elementarladung
d	= Netzebenenabstand
c	= Lichtgeschwindigkeit
U_A	= Anodenspannung
ϑ	= Glanzwinkel
ϑ_{min}	= Glanzwinkel zur kurzwelligen Grenze

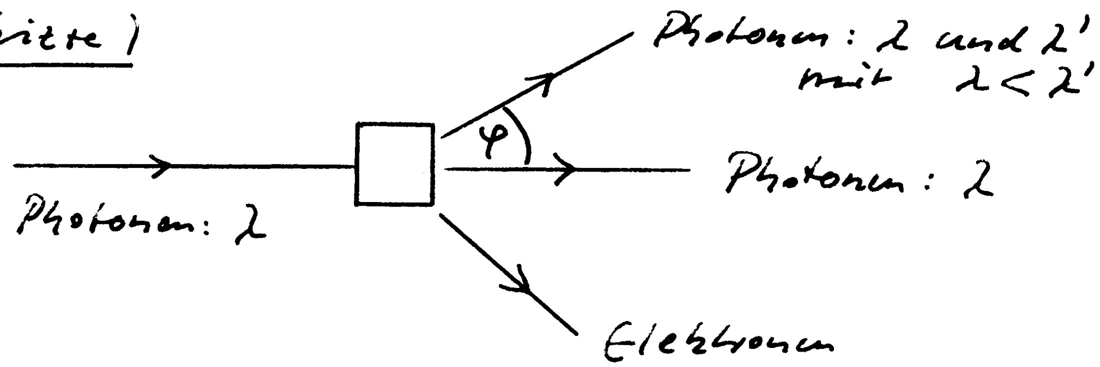
Klausur Nr. 4 Ph - eA 2011

Aufgabe 1 $\varphi = 135°$; $\lambda = 71\ pm$

a) Compton - Effekt (Beschreibung)

Röntgenphotonen werden auf einen Graphitblock geschossen und an den freien Elektronen im Graphit gestreut. Man beobachtet neben den nicht abgelenkten Photonen der Wellenlänge λ auch Photonen der Wellenlänge λ und der Wellenlänge λ', die unter einem Winkel φ abgelenkt werden. Zusätzlich beobachtet man Elektronen, die sich mit einer Geschwindigkeit v vom Stoßort wegbewegen.

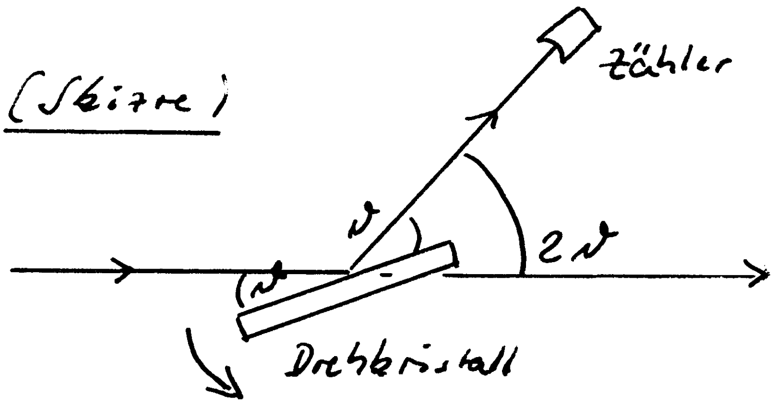
(Skizze)



Drehkristallmethode (Beschreibung)

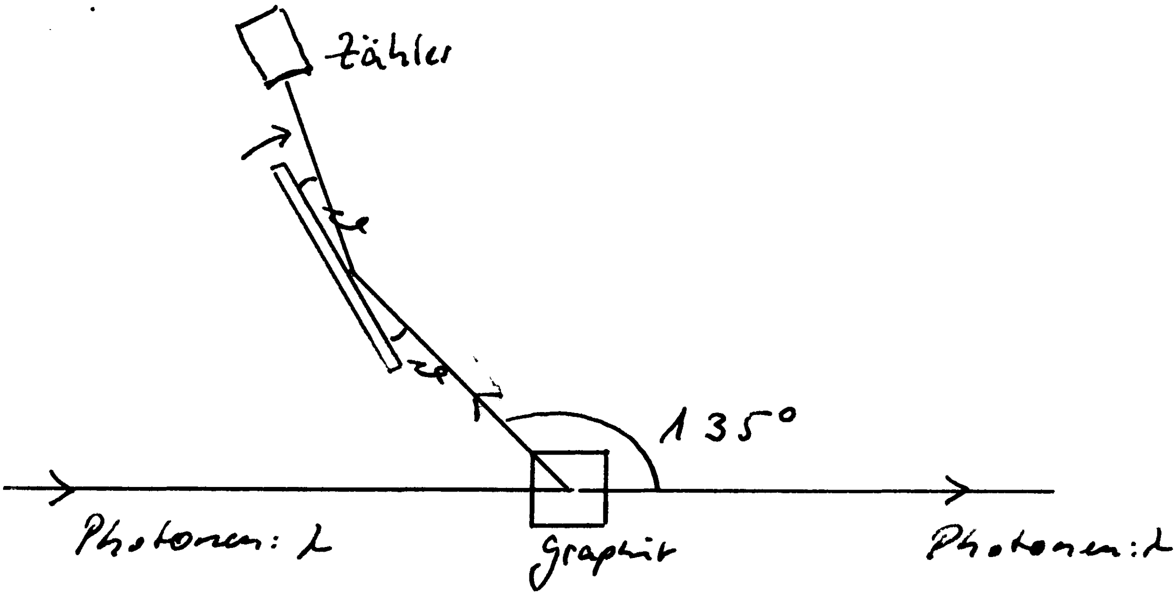
Fällt Rö.-Strahlung auf einen Kristall, so wird sie an den Atomkernen gebeugt. Unter dem Glanzwinkel lassen sich konstruktive Interferenzen beobachten. Einfallender und reflektierter Strahl gehorchen dem Reflexionsgesetz. Man lässt den weißen Rö.-Strahl zunächst streifend auf den Kristall fallen ($\vartheta = 0$) und dreht diesen nun so lange, bis konstruktive Interferenz beobachtet wird. Zuerst entdeckt man die kleinste Wellenlänge zur kleinsten Ordnung, da $0 < \Delta s < 2d$.

(Skizze)



Zähler und Drehkristall werden gemeinsam gedreht

Skizze des gesamten Aufbaus



---

b) $\underline{\lambda' \text{ berechnen}}$ $\qquad \lambda' - \lambda = \frac{h}{m \cdot c}(1 - \cos(\varphi))$

$$\lambda' = 71\,pm + \frac{h}{m \cdot c}(1 - \cos(135°)) \Rightarrow \underline{\underline{\lambda' \approx 75{,}1420\,pm}}$$

---

c) Das 1. Max. gehört zu $\lambda = 71\,pm$, das rechts daneben liegende zu $\lambda' = 75\,pm$.

$4{,}8\,cm \mathrel{\hat{=}} 1°$; $\quad 1{,}05\,cm \mathrel{\hat{=}} 0{,}2188°$

$$\Rightarrow \vartheta_\lambda = 6{,}5° + 0{,}2188° = 6{,}7188°$$

$$2{,}9\,cm \mathrel{\hat{=}} 0{,}6042°$$

$$\Rightarrow \vartheta_{\lambda'} = 7{,}1042° \quad (= 6{,}5° + 0{,}6042°)$$

$$2 \cdot d \cdot \sin(\vartheta) = \lambda \Rightarrow d = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin(\vartheta)}$$ ③

$$\Rightarrow d_1 = \frac{71 \cdot 10^{-12}\,m}{2 \cdot \sin(6{,}7181°)} \approx 3{,}0343 \cdot 10^{-10}\,m$$

$$d_2 = \frac{75{,}142 \cdot 10^{-12}\,m}{2 \cdot \sin(7{,}1042°)} \approx 3{,}0379 \cdot 10^{-10}\,m$$

$$\Rightarrow \bar{d} \approx 3{,}0361 \cdot 10^{-10}\,m$$

7

Aufgabe 2

a) Man sieht 5 Spektren einer Rö-Röhre (gleichbleibende Anode → charakt. Peaks), die bei verschied. Anodenspannungen aufgenommen wurden.
Die einzelnen Kurven bestehen aus der Überlagerung des Bremsspektrums und des charakterist. Spektrums.
Die Bremsstrahlung entsteht durch Abbremsung der Elektronen in Kernnähe des Anodenmaterials, die charakt. Strahlung durch quantenhafte Absorption und anschließende Emission von best. Energie der Elektronen in der Atomhülle. Die Intensität bzw. Zählrate sagt etwas über die Häufigkeit der einzelnen Prozesse aus. Das erste Maximum ist das Max. der Bremsstrahlung - bei dieser Wellenlänge können besonders viele El. in WW mit den Atomkernen treten. Die anderen beiden schärferen Maxima weiter rechts zeigen, das bei diesen Wellenlänge besonders viele Elektr. in WW mit der Hülle treten können. Die kurzwellige Grenze stellt dar, dass diese Elektronen ihre gesamte Energie

in einem Abbremsprozess abgegeben haben und dabei λ_{min} emittieren. Es sind nur sehr wenige. Mit wachsender U_A verschiebt sich λ_{min} nach links: $e \cdot U_A = \frac{h \cdot c}{\lambda_{min}}$.

b) $\underline{\vartheta = ?}$ $\quad d = 201$ pm

Aus der Zeichnung: $\lambda = 140$ pm

$$\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\vartheta) \Rightarrow \vartheta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right)$$

$$\Rightarrow \vartheta = \arcsin\left(\frac{140 \cdot 10^{-12}\,m}{2 \cdot 201 \cdot 10^{-12}\,m}\right) \Rightarrow \underline{\underline{\vartheta \approx 20{,}38^\circ}}$$

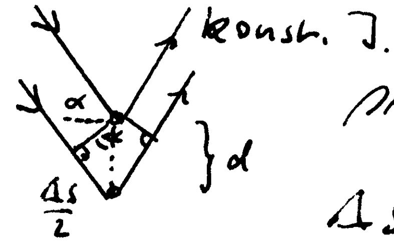
c) Begründete Herleitung

Für die kurzw. Grenze gilt, dass die kin. Energie des Elektrons eU_A voll in Strahlungsenergie $h \cdot f_{max} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{min}}$ $(c = \lambda \cdot f)$ umgesetzt wird.

$$\Rightarrow e \cdot U_A = \frac{h \cdot c}{\lambda_{min}} \Rightarrow \lambda_{min} \cdot e \cdot U_A = h \cdot c$$

$$\Rightarrow h = \frac{1}{c} \cdot \lambda_{min} \cdot e \cdot U_A.$$

λ_{min} ergibt sich aus der Bragg-Gleichung: $k \cdot \lambda_{min} = 2\, d \sin(\vartheta)$. $k = 1$, da zunächst bei der Drehkristallmethode $1 \cdot \lambda_{min}$ „entdeckt wird". Die Bragg-Gleichung ergibt sich aus dem Bild:



$$\sin(\alpha) = \frac{\Delta s}{2 \cdot d} \Rightarrow \Delta s = 2d \cdot \sin(\alpha)$$

$$\Rightarrow \lambda_{min} = 2 \cdot d \cdot \sin(\vartheta) \quad [\alpha = \vartheta] \quad k \cdot \lambda = 2\, d \cdot \sin(\alpha).$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{h = \frac{2ed}{c} \cdot U_A \cdot \sin(\vartheta)}}$$

d) Ich lese die kurzw. Grenzen ab!

5 cm $\hat{=}$ 80 pm

von links nach rechts:

2,5 mm $\hat{=}$ 40 pm + 4 pm = 44 pm

0,6 cm $\hat{=}$ 40 pm + 9,6 pm = 49,6 pm

1 cm $\hat{=}$ 40 pm + 16 pm = 56 pm

1,55 cm $\hat{=}$ 40 pm + 24,8 pm = 64,8 pm

2,3 cm $\hat{=}$ 40 pm + 36,8 pm = 76,8 pm

λ/pm	44	49,6	56	64,8	76,8
$f/10^{18}$Hz	6,81	6,04	5,35	4,63	3,90
U/kV	28	25	22	19	16

Es gilt: $e \cdot U_A = h \cdot f$.

Also: f in Hz in L1

$e \cdot U_A$ in J in L2

Lin Rg: $y = 6,6465 \cdot 10^{-34} x - 2,8415 \cdot 10^{-17}$

Physikal.: $e \cdot U_A = 6,6465 \cdot 10^{-34}$ Js $\cdot f$

0 → 0! sehr klein, kann entfallen!

$$\Rightarrow \underline{\underline{h \approx 6,6465 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}}$$

$\Delta = 0,3$ %!