Leistungsfach Physik 13/1 Klausur Nr. 1

Aufgabe 1

Plancksches Wirkungsquantum

Mit Hilfe des äußeren lichtelektrischen Effekts kann man das Plancksche Wirkungsquantum h bestimmen.

a) Beschreibe und erläutere den äußeren lichtelektrischen Effekt!

b) Das Plancksche Wirkungsquantum kann mit der Gegenfeldmethode bestimmt werden. Beschreibe das experimentelle Vorgehen, und entwickle eine Gleichung für die Berechnung der Konstanten h!

c) In einem entsprechenden Experiment wurden folgende Messwerte ermittelt:

Frequenz in 10^{14} Hz	Gegenspannung in V
5,10	0,13
6,90	0,82
7,09	0,90

Berechne aus diesen Messwerten mit Hilfe einer geeigneten Regression das Plancksche Wirkungsquantum, die Grenzfrequenz und die Ablösearbeit für das verwendete Katodenmaterial!

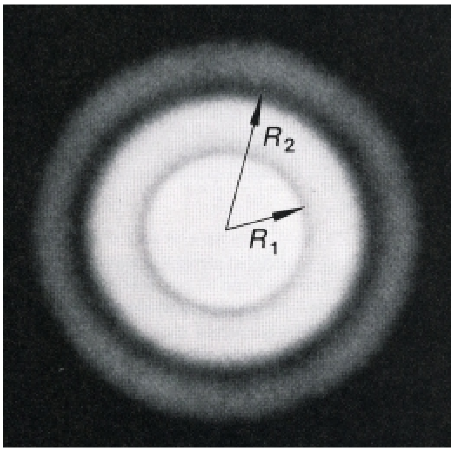
Aufgabe 2

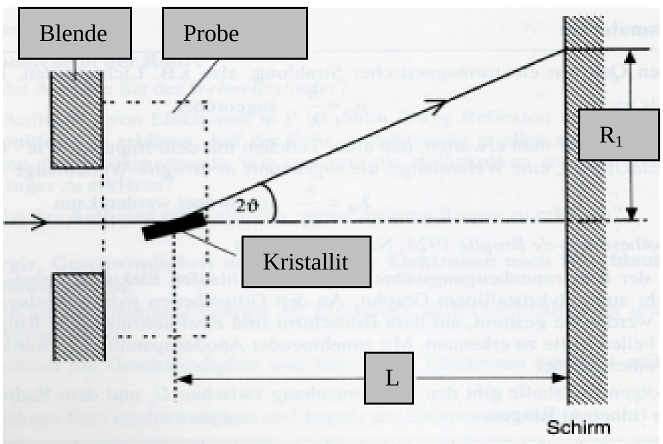
Röntgenstrahlen

a) Erkläre den Begriff „kurzwellige Grenze der Röntgenbremsstrahlung“!
In einer Röntgenröhre werden Elektronen durch die Anodenspannung $U_A = 50\,kV$ beschleunigt. Berechne die kurzwellige Grenze der erzeugten Röntgenstrahlung!

b) Beschreibe und erläutere das Debye-Scherrer-Verfahren! Leite die Braggsche Reflexionsbedingung $2 \cdot d \cdot \sin(\vartheta) = n \cdot \lambda$ her!
[d Netzebenenabstand, ϑ Glanzwinkel, n natürliche Zahl, λ Wellenlänge]

c) Die beiden Ringe entstanden im Debye-Scherrer-Verfahren bei der Beugung von Röntgenstrahlen der Wellenlänge $\lambda = 3,47 \cdot 10^{-11} m$. Der innerste Ring hat den Radius $R_1 = 1,23\,cm$. Der Abstand zwischen dem Schirm und dem Kristallit beträgt $L = 13,5\,cm$. Berechne den Netzebenenabstand d!





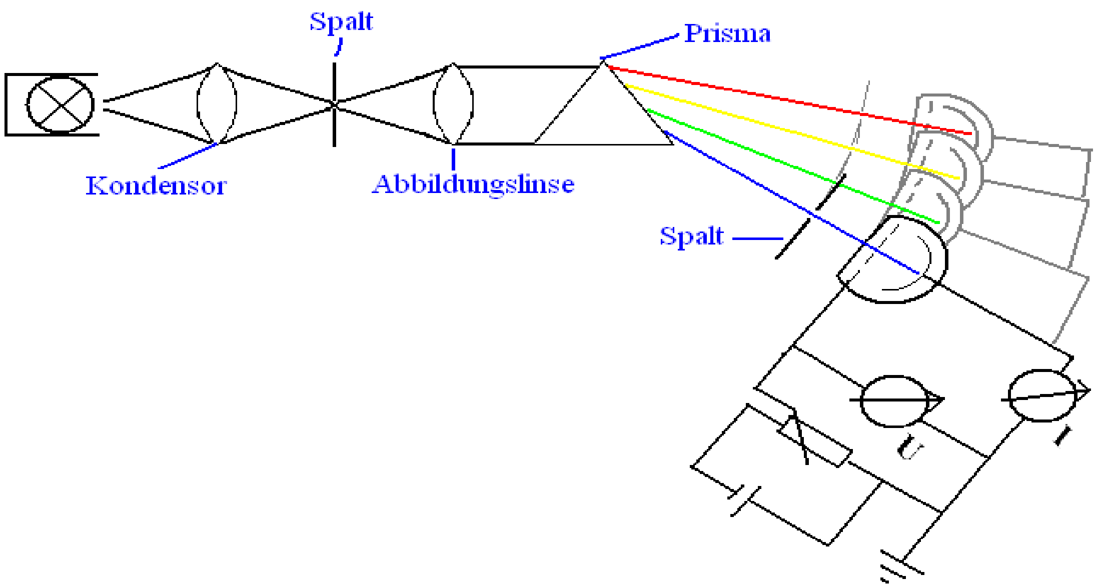
Leistungsfach Physik 13/1 Klausur Nr. 1

Lösungen

Aufgabe 1

a) Bestrahlt man eine Zinkplatte oder eine andere Platte aus Metall mit Licht einer genügend hohen Frequenz, z.B. mit dem Licht einer Quecksilberdampflampe, so treten aus dem Metall Elektronen aus. Der lichtelektrische Effekt ist eine Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung, also dem Licht, und der Materie. Das Licht löst Elektronen aus dem Festkörper heraus und verrichtet außerdem Beschleunigungsarbeit an den Elektronen. Die Energie des Lichtes wird von den so genannten Fotoelektronen als Ablösearbeit und als kinetische Energie aufgenommen. Die Intensität des Lichts ist ein Maß für die Anzahl der ausgelösten Elektronen. Die Energie des Lichts entscheidet darüber, ob überhaupt Elektronen ausgelöst werden können und welche Energie ausgelöste Elektronen in Form von Bewegungsenergie zusätzlich noch haben können. Ist die Frequenz des Lichts zu niedrig, kommt es trotz großer Intensität nicht zum lichtelektrischen Effekt. Ist die Frequenz hoch genug, werden Fotoelektronen auch bei geringster Intensität ausgelöst.

b)



Das Licht einer geeigneten Lampe wird z.B. mit einem Geradsichtprisma spektral zerlegt und auf die fotoempfindliche Katode fokussiert. Die Fotozelle wird nacheinander durch die einzelnen Farben des Spektrums geführt, so dass immer genau eine Farbe die Fotokatode belichtet. Mit Hilfe eines Potentiometers wird an die Anode eine zur Katode negative Spannung angelegt, deren Wert sich über das Potentiometer regeln lässt. Zwischen Anode und Katode besteht damit ein elektrisches Feld, das die vom Licht aus der Katode herausgelösten und in Richtung Anode fliegenden Elektronen abbremst. Im Stromkreis Katode-Anode-Potentiometer liegt ein Messverstärker für die Messung des Fotostroms. Bestrahlt man die Katode mit geeignetem Licht, so zeigt das Stromstärkemessgerät einen Fotostrom an. Regelt man nun die Gegenspannung langsam hoch, so sinkt der Fotostrom. Werden auch die schnellsten, also energiereichsten Fotoelektronen abgebremst, ist der Fotostrom null. Aus der jetzt zu messenden Gegenspannung lässt sich die maximale kinetische Energie der zum Schluss abgebremsten energiereichsten Elektronen berechnen. Das Licht liefert die Energie $h \cdot f$. Die Fotoelektronen nehmen die Ablösearbeit W_a und die kinetische Energie $W_{kin,\max}$ auf. Sie beträgt $e \cdot U$, wobei U die Gegenfeldspannung ist. Es gilt also der Zusammenhang: $h \cdot f = e \cdot U + W_a$. Will man h bestimmen, so betrachtet man die Umformung: $e \cdot U = h \cdot f - W_a$. In einer grafischen

Leistungsfach Physik 13/1 Klausur Nr. 1

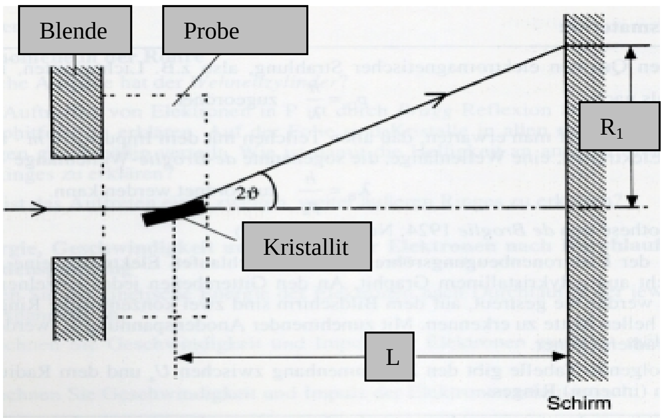
Darstellung, in der man $e \cdot U$ in Abhängigkeit von f zeichnet, ist $h = \dfrac{eU_2 - eU_1}{f_2 - f_1}$ die Steigung der Einsteinschen Geraden.

c) Unter Verwendung des TR ergibt sich folgende lineare Regression: $y = 6{,}176 \cdot 10^{-34} \cdot x - 2{,}942 \cdot 10^{-19}$. Hierbei wird die maximale kinetische Energie gegen die Frequenz des benutzten Lichtes aufgetragen. Physikalisch heißt dies: $W_{kin,\max} = h \cdot f - W_a$. Das Plancksche Wirkungsquantum beträgt also $h = 6{,}176 \cdot 10^{-34}\,Js$. Die Ablösearbeit ist $W_a = 2{,}942 \cdot 10^{-19}\,J = 1{,}836\,eV$. Die Grenzfrequenz beträgt: $f_{Grenz} = \dfrac{W_a}{h} \approx 4{,}764 \cdot 10^{14}\,Hz$.
Trägt man nur die Gegenfeldspannung U gegen die Frequenz f auf, so ergibt sich die Regression $y = 3{,}8549 \cdot 10^{-15} \cdot x - 1{,}836$. Um die Werte für h, W_{Aa} *und* f_{Grenz} zu erhalten, muss man die gefundenen Regressionskonstanten noch mit e multiplizieren.

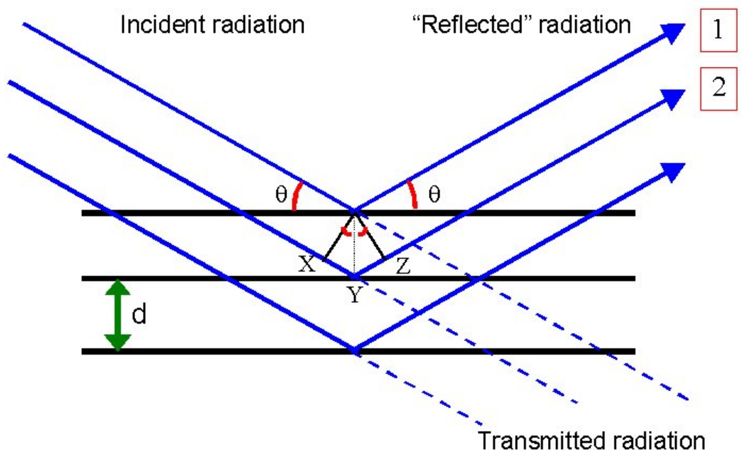
Aufgabe 2

a) In einer Röntgenröhre werden Elektronen sehr hoher kinetischer Energie auf eine Anode geschossen, wo sie unter anderem im Feld der Kerne des Anodenmaterials abgebremst werden. Hierbei entsteht die so genannte Bremsstrahlung, die sich über einen bestimmten Wellenlängenbereich erstreckt. Trägt man die Intensität der emittierten Bremsstrahlung gegen die Wellenlänge auf, so bricht die Kurve bei einer kleinsten Wellenlänge abrupt ab – dies ist die „kurzwellige Grenze der Röntgenbremsstrahlung“. Werden die Elektronen mit der Spannung $U_A = 50\,kV$ beschleunigt, so besitzen sie beim Aufprall die Energie $e \cdot U_A$. Im günstigsten Fall können dabei Photonen der Größe $h \cdot \dfrac{c}{\lambda} = e \cdot U_A$ emittiert werden; dies ist dann der Fall, wenn die absorbierte Elektronenenergie vollständig in die eines Quants überführt wird. Hieraus ergibt sich: $\lambda = \dfrac{h \cdot c}{e \cdot U_A} \approx 2{,}48 \cdot 10^{-11}\,m$.

b) Im Debye-Scherrer-Verfahren werden Röntgenstrahlen an einer polykristallinen Folie gebeugt. Am einzelnen Kristallit findet Braggsche Reflexionsinterferenz statt. Jeder einzelne Kristall liefert nur einen Reflexpunkt auf dem Schirm in einem gewissen Abstand R vom Zentrum. Da sich aber Kristallpulver in der Folie befindet, gibt es in der statistischen Verteilung der Kristallite unter jedem Raumwinkel auch solche, die die Braggsche Bedingung erfüllen. Damit ergibt sich eine rotationssymmetrische Figur mit der Strahlrichtung als Rotationsachse. Auf dem Schirm erscheint ein Kreis.



Die Röntgenstrahlung trifft unter dem so genannten Glanzwinkel θ auf die Kristallfläche und wird an den einzelnen Netzebenen des Kristalls reflektiert. Die Reflexion findet an den Atomen statt. Es entstehen Huygenssche Elementarwellen, die miteinander interferieren. Hierbei kommt



Leistungsfach Physik 13/1 Klausur Nr. 1

es bei zwei aufeinander folgenden Netzebenen zu Gangunterschieden zwischen den Strahlen. In der Skizze beträgt der Gangunterschied $\overline{XY} + \overline{YZ}$. Ist er gleich einem ganzzahligen Vielfachen der Wellenlänge, entsteht konstruktive Interferenz. Der Glanzwinkel tritt auch in den Dreiecken mit der Hypotenuse d auf. Dies kann über elementare geometrische Überlegungen nachvollzogen werden: $\theta + \beta = 90°$; β ist der Winkel zwischen Netzebene und Lot.

Es gilt: $\sin(\theta) = \frac{\overline{XY}}{d} \Rightarrow \overline{XY} = d \cdot \sin(\theta)$. Also folgt insgesamt für konstruktive Interferenz:

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

c) Beträgt der Glanzwinkel ϑ, so wird der Röntgenstrahl insgesamt um $2 \cdot \vartheta$ aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt.

Gemäß Abbildung gilt: $\tan(2\vartheta) = \frac{R_1}{L} \Rightarrow \vartheta = \frac{1}{2} \cdot \arctan(\frac{R_1}{L})$.

Aus der Bragggleichung folgt: $d = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot \sin(\vartheta)}$.

Zusammengefasst gilt dann: $d = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot \sin(\frac{1}{2} \cdot \arctan(\frac{R_1}{L}))}$.

Mit den Zahlenwerten unseres Versuchs ergibt sich: $d = \frac{1 \cdot 3{,}47 \cdot 10^{-11} m}{2 \cdot \sin(\frac{1}{2} \cdot \arctan(\frac{1{,}23}{13{,}5}))}$.

$\Rightarrow d \approx 3{,}820 \cdot 10^{-10}\ m$ ist der gesuchte Netzebenenabstand.