2015-10-16 Klausur 1 Kurs 12PH2 Physik

Lösung

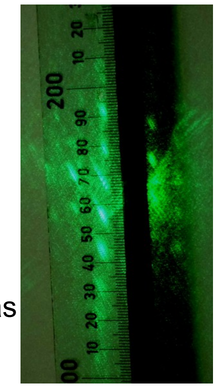
1 Beim Fotoeffekt haben wir im Unterricht gesehen, dass Licht je nach Farbe bzw. Wellenlänge Elektronen unterschiedliche Energien übergeben kann. Obwohl infrarotes Licht auch Energie besitzt (wir spüren diese Energie als Wärmestrahlung), wurde anscheinend durch dieses Licht keine Energie auf die Elektronen übertragen.

Geben Sie mit Begründung an, ob diese Darstellung richtig ist („keine Energieübertragung auf das Elektron“) oder wie es zu erklären ist, dass bei infrarotem Licht keine Spannung gemessen wurde.

Trifft beim Fotoeffekt ein Lichtquant auf ein Elektron, gibt es seine ganze Energie an das Elektron ab und veschwindet. Die Energie des Photons geht also ganz in Bewegungsenergie des Elektrons über, wenn dieses frei ist. Befindet sich das Elektron in einem Metall, so muss es erst aus der Bindung des Metalls herausgelöst werden. Die dafür benötigte Energie wird aus der Energie des Photons bezogen. Bleibt noch Energie übrig, so ist das die Bewegungsenergie des Elektrons. Infrarot-Licht besaß im Schulversuch nicht genügend Energie, um das Elektron aus dem Metall zu lösen. Also gelangten auch keine Elektronen zum Ring der Fotozelle und es wurde die Spannung U=0V angezeigt. Die Darstellung im 1. Absatz der Aufgabe ist also nicht richtig.

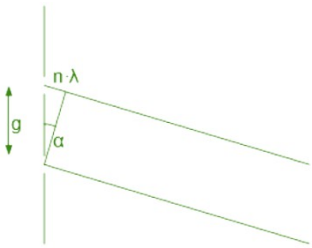
---

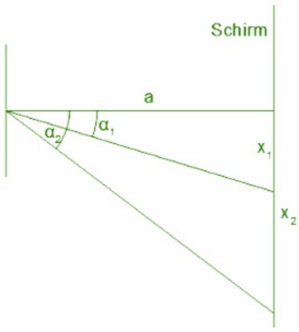
2 Lässt man Licht durch eine Taubenfeder fallen, so erscheint hinter der Feder eine gitterartige Beugungsfigur, die dadurch zu erklären ist, dass die Feder aus parallel laufenden Verdickungen besteht, zwischen denen Lücken vorhanden sind, durch die das Licht fallen kann. Da im Bild rechts die Maxima der Beugungsfigur schlecht abzulesen sind, hier die Information, dass bei Laserlicht der Wellenlänge $\lambda=532\,nm$ im Abstand 38 cm hinter der Feder die Nebenmaxima einen Abstand von 1,2 cm besitzen.



Berechnen Sie den Abstand der parallelen Verdickungen bei einer Taubenfeder.

Aus nebenstehenden Skizzen, die auch für die weiteren Aufgaben dienen, entnimmt man die Beziehungen





$$\sin\alpha=\frac{n\cdot\lambda}{g}\ ;\ \tan\alpha=\frac{x}{a}\ \rightarrow\ \alpha=\arctan\frac{x}{a}$$

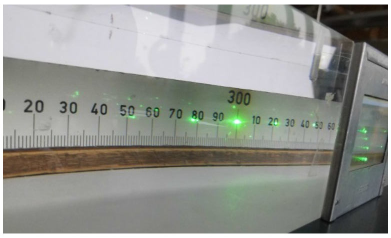
Mit $\lambda=532\,nm\ ;\ x=1{,}2\,cm\ ;\ a=38\,cm$

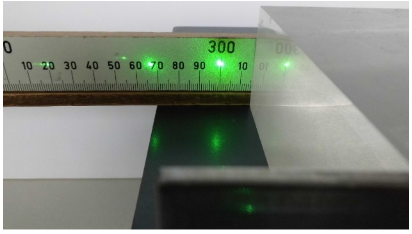
folgt $g=\frac{n\cdot\lambda}{\sin\alpha}=\frac{n\cdot\lambda}{\sin\left(\arctan\frac{x}{a}\right)}\ \rightarrow$

$$g=\frac{1\cdot 532\cdot 10^{-9}m}{\sin\left(\arctan\frac{1{,}2}{38}\right)}\approx 1{,}7\cdot 10^{-5}\,m=17\,\mu m$$

Der Abstand der parallelen Verdickungen bei einer Taubenfeder beträgt also etwa 17µm.

3 Durch ein Gitter mit 570 Gitteröffnungen pro mm wird Licht der Wellenlänge $\lambda_{Luft}=532\,nm$ gebeugt und auf einem Schirm registriert. Dabei breitet sich das Licht einmal innerhalb eines Glasquaders aus, das andere Mal in Luft. Der Abstand von Gitter und Maßstab beträgt in beiden Medien 10,4 cm. Die Frequenz des Lichts ist im Glas und in der Luft gleich.





Rechnen Sie vereinfacht so, als seien alle Ablenkwinkel sehr klein.

3.1 Geben Sie mit Begründung an, woran man mit Hilfe der Bilder erkennt, dass die Wellenlänge des Lichts im Glas nicht mit der Wellenlänge des Lichts außerhalb des Glases übereinstimmen kann.

Im Glas (linkes Bild) ist das 1. Nebenmaximum etwa 2,2 cm vom Hauptmaximum entfernt. In Luft (rechtes Bild) beträgt der Abstand etwa 3,3 cm.

Aus der Formel in Aufgabe 2 ergibt sich $\sin\alpha=\frac{n\cdot\lambda}{g} \rightarrow \sin\alpha\sim\lambda$. *Wegen des kleineren Winkels im Glas muss dort auch die Wellenlänge kleiner sein als in Luft, und wegen* $c=f\cdot\lambda$ *ergibt sich mit konstanter Frequenz f, dass auch die Lichtgeschwindigkeit c in Glas kleiner als in Luft sein muss.*

3.2 Zeigen Sie durch Rechnung, dass die Wellenlänge des Lichts im Glas etwa $\lambda_{Glas}=363\,nm$ beträgt.

Mit Hilfe der Formeln aus Aufgabe 2 ergibt sich $\sin\alpha=\frac{\lambda}{g} \rightarrow \lambda=g\cdot\sin\alpha=g\cdot\sin\left(\arctan\frac{x}{a}\right)$.

Mit $g=\frac{1}{570}mm$ *und* $a=10{,}4\,cm$ *folgt* $\lambda_{Glas}=\frac{1}{570}mm\cdot\sin\left(\arctan\frac{2{,}2}{10{,}4}\right)=3{,}63\cdot10^{-7}m=363\,nm$.

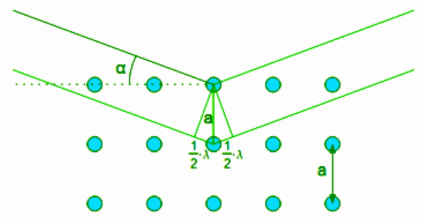
3.3 Bestimmen Sie mit Hilfe der Messwerte die Geschwindigkeit c_{Glas}, die das Licht im Glas besitzt.

Mit $c_{Luft}=f\cdot\lambda_{Luft} \rightarrow f=\frac{c_{Luft}}{\lambda_{Luft}}$ *folgt* $c_{Glas}=f\cdot\lambda_{Glas}=\frac{c_{Luft}}{\lambda_{Luft}}\cdot\lambda_{Glas}=\frac{3\cdot10^8}{532}\cdot363\frac{m}{s}\approx2\cdot10^8\frac{m}{s}$.

---

4 Röntgeneffekt und Elektronenbeugung

4.1 Leiten Sie mit Hilfe einer beschrifteten Skizze die Formel $\lambda=2\cdot a\cdot\sin\alpha$ zur Bragg-Reflexion her (a ist der Gitterebenenabstand).

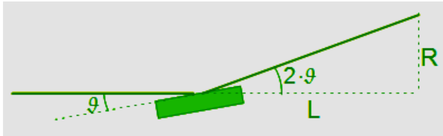


Mit den Bezeichnungen im rechtwinkligen Dreieck in der Skizze ergibt sich $\sin\alpha=\frac{\frac{1}{2}\cdot\lambda}{a}=\frac{\lambda}{2\cdot a} \rightarrow \lambda=2\cdot a\cdot\sin\alpha$.

4.2 Zeigen Sie rechnerisch, dass bei Beschleunigung mit der Spannung U_B Elektronen die Geschwindigkeit $v=\sqrt{\frac{2\cdot e\cdot U_B}{m_e}}$ erhalten.

Durch die potentielle Energie $W_e=e\cdot U_B$ *der Elektronen erhalten diese durch die Beschleunigung die kinetische Energie* $W_{Kin}=\frac{1}{2}\cdot m_e\cdot v^2$. $W_e=W_{Kin} \rightarrow e\cdot U_B=\frac{1}{2}\cdot m_e\cdot v^2 \rightarrow v^2=\frac{2\cdot e\cdot U_B}{m_e} \rightarrow v=\sqrt{\frac{2\cdot e\cdot U_B}{m_e}}$

4.3 Leiten Sie mit Hilfe einer beschrifteten Skizze die Formel $\lambda=2\cdot a\cdot\sin\left(\frac{1}{2}\cdot\arctan\left(\frac{R}{L}\right)\right)$ für den Elektronenbeugungsversuch her (Gitterebenenabstand a, Radius des Kreises R, Abstand L des Graphitkristalls von dem Beobachtungsschirm).



Aus Aufgabe 4.1 ergibt sich für die Bragg-Reflexion $\lambda=2\cdot a\cdot\sin\alpha$ *.*

Aus der Skizze folgt $\tan 2\alpha=\frac{R}{L}$ → $2\alpha=\arctan\frac{R}{L}$ → $\alpha=\frac{1}{2}\cdot\arctan\frac{R}{L}$

und damit $\lambda=2\cdot a\cdot\sin\left(\frac{1}{2}\cdot\arctan\frac{R}{L}\right)$ *.*

4.4 Zeigen Sie rechnerisch, dass die Beschleunigungsspannung beim Elektronenbeugungsversuch etwa $U_B=5000\,V$ betragen hat.
Messwerte: $a=0{,}213\cdot10^{-9}\,m$; $R=1{,}1\,cm$; $L=13{,}5\,cm$

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{m_e\cdot v}=\frac{h}{m_e\cdot\sqrt{\frac{2\cdot e\cdot U_B}{m_e}}}=\frac{h}{\sqrt{2\cdot e\cdot m_e\cdot U_B}} \rightarrow \sqrt{2\cdot e\cdot m_e\cdot U_B}=\frac{h}{\lambda}=\frac{h}{2\cdot a\cdot\sin\left(\frac{1}{2}\cdot\arctan\frac{R}{L}\right)} \rightarrow$$

$$2\cdot e\cdot m_e\cdot U_B=\frac{h^2}{4\cdot a^2\cdot\sin^2\left(\frac{1}{2}\cdot\arctan\frac{R}{L}\right)} \rightarrow U_B=\frac{h^2}{2\cdot e\cdot m_e\cdot 4\cdot a^2\cdot\sin^2\left(\frac{1}{2}\cdot\arctan\frac{R}{L}\right)} \rightarrow$$

$$U_B=\frac{h^2}{8\cdot e\cdot m_e\cdot\left(0{,}213\cdot10^{-9}\right)^2\cdot\sin^2\left(\frac{1}{2}\cdot\arctan\frac{1{,}1}{13{,}5}\right)}V=4991\,V$$

4.5 Beim Versuch mit der Röntgenröhre haben wir mit der Spannung $U_B=35\,000\,V$ und einem Kristall mit dem Gitterebenenabstand $a=0{,}564\,nm$ gearbeitet und ähnliche Ablenkwinkel wir bei der Elektronenbeugung erhalten.
Geben Sie mit Begründung an, wie es sich auf die Winkelwerte beim Röntgenspektrum auswirken würde, wenn man a) den Röntgenversuch mit $U_B=5000\,V$ und b) mit einem Netzebenenabstand von $a=0{,}213\,nm$ durchführen würde.

zu a): Bei geringer Spannung U haben die Röntgenstrahlen geringe Energie $W=e\cdot U=h\cdot f$ *, damit kleinere Frequenz f und wegen* $c=f\cdot\lambda$ → $\lambda=\frac{c}{f}$ *größere Wellenlänge λ und wegen* $\lambda\sim\sin\alpha$ *auch größere Winkelwerte α.*

zu b): Ist der Netzebenenabstand kleiner, so wird wegen $\sin\alpha=\frac{\lambda}{2\cdot a}$ *der Winkel α größer.*

Insgesamt würde das Röntgenspektrum erst bei einem Winkel von $\alpha>50°$ *beginnen, also nur sehr schlecht zu sehen sein. Außerdem wäre die Intensität verschwindend gering.*

Formeln und physikalische Konstanten

$\lambda = \frac{h}{p}$ $\quad p = m \cdot v$ $\quad c = f \cdot \lambda$ $\quad W_e = e \cdot U_B$

$W_{Ph} = h \cdot f$ $\quad W_{Kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (und in Luft):	$c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$
Ladung eines Elektrons:	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\, C$
Masse eines Elektrons:	$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\, kg$
Plancksches Wirkungsquantum:	$h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}\, Js$
mittlere Schwerebeschleunigung:	$g = 9{,}81 \frac{m}{s^2}$

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!