

Ferienkurs Experimentalphysik 3

Donnerstag Übung

17. März 2011

1 Quantenphänomene

1.1 Gravitationsrotverschiebung

(a) Wie groß ist die relative Frequenzverschiebung $\frac{\Delta\nu}{\nu}$ eines Photons, das sich im Gravitationsfeld der Erde um die Strecke $s=5\text{m}$ senkrecht zur Erdoberfläche nach oben bewegt?

(b) Ist die Verschiebung beobachtbar für

1. für Photonen aus einem atomaren Übergang des Natriums ($\lambda = 589.6\text{nm}$, $\tau = 16,4\text{ns}$)
2. für γ -Quanten einem Kernübergang von Zn ($E_\gamma = 93.32\text{keV}$, $T_{\frac{1}{2}} = 9.1\mu\text{s}$)

(c) Wie viele Linien müsste ein Gitterspektrograph haben, um diese Verschiebung in erster Ordnung beobachten zu können ?

1.2 Photonen und Rückstoß

Ein Photon, das von einem Atom ausgesandt wird, überträgt einen Rückstoßimpuls

(a) Wie groß ist die kinetische Energie die dabei auf das Atom übertragen wird ?

(b) Berechnen sie nun explizit die Rückstossenergie

1. bei Aussendung der Quecksilberspektrallinie ($\lambda = 253,7\text{nm}$, $M_{\text{Hg}} = 200.6u$)
2. bei Aussendung eines γ -Quanten der Energie 1.33MeV durch Nickel ($M_{\text{Ni}} = 200.6u$)

(c) Vergleichen sie diese Werte mit der Energieunschärfe aufgrund der begrenzten Lebensdauer der Übergänge $\tau_{\text{Hg}} \approx 10^{-8}\text{s}$, $\tau_{\text{Ni}} \approx 10^{-14}\text{s}$

1.3 Photoeffekt

Blaues Licht der Wellenlänge $\lambda = 430\text{nm}$ falle auf eine Photozelle, deren lichtelektrische Schicht eine Quantenausbeute von $\eta = \frac{N_e}{N_{Ph}} = 0.14$ vorweist.

- (a) Wie groß ist die Strahlungsleistung des auf die Photozelle fallenden blauen Lichts, wenn ein maximaler Photoelektronenstrom von 0.5mA fließt ?
- (b) Welche Austrittsarbeit W_A hat das Material der lichtelektrischen Schicht, wenn durch ein Gegenfeld der Spannung $U = 0.94\text{V}$ der Strom vollständig unterdrückt werden kann ?
- (c) Berechnen sie die Geschwindigkeit der Photoelektronen wenn keine Gegenspannung angelegt ist.
- (d) Ab welcher Wellenlänge tritt kein Strom auf, wenn sie annehmen, dass die lichtelektrische Schicht aus Cäsium besteht, dessen Austrittsarbeit $W_A = 2.14\text{eV}$ beträgt?

1.4 Bragg Reflexion

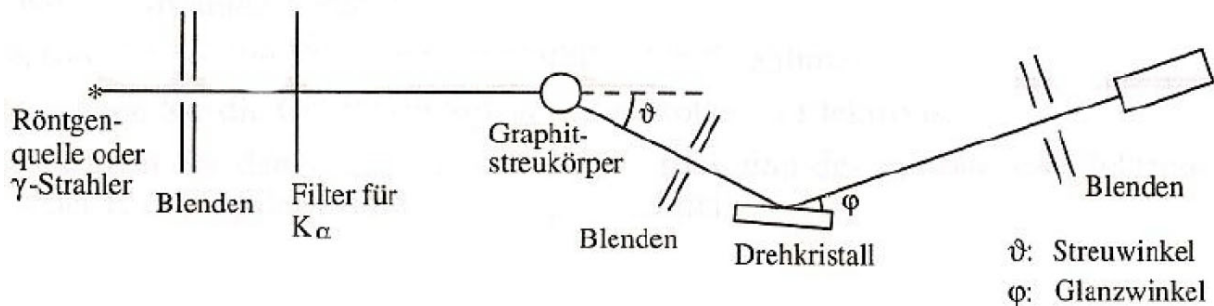
Thermische Neutronen (20°C) aus einem Reaktor werden durch Bragg-Streuung an einem Silizium-Einkristall monochromatisiert.

- (a) Die Neutronen mit der Energie $E = k_B T$ werden dabei um 33.2° von der Einfallsrichtung abgelenkt. Berechnen sie unter der Annahme, dass es sich um einen Bragg-Peak erster Ordnung handelt, den Netzebenenabstand von Silizium.
- (b) Der gleiche Monochromator soll nun für Photonen benutzt werden. Welche Energie müssen diese haben, wenn die gestreuten Photonen unter dem gleichen Winkel beobachtet werden sollen ?
- (c) Wie groß wäre der Ablenkungswinkel bezüglich der Einfallsrichtung bei Elektronen mit einer kinetischen Energie von 1MeV ?

1.5 Compton Streuung

(a) In einem Versuch werden Hüllenelektronen mit Röntgenstrahlung beschossen. Ab welcher Wellenlänge der Photonen kann man die Elektronen als frei betrachten?

Mit dem folgenden Versuchsaufbau werden Messungen durchgeführt. Hierbei werden zunächst in eine Röntgenröhre γ -Quanten erzeugt. Durch Blenden und einen Filter gelangen nur Quanten mit einer speziellen Richtung und Frequenz im Streukörper an. Nachdem die Quanten gestreut wurden, wird mit Hilfe von Bragg-Reflexion ihre neue Frequenz bestimmt.



(b) Bei einer Messung mit einem Winkel von $\theta = 73^\circ$ tritt Strahlung auf, deren Wellenlänge sich durch den Streuprozess verdoppelt hat. Berechnen sie die Frequenz der einfallenden Strahlung.

(c) Berechnen sie nun die Geschwindigkeit des gestreuten Elektrons. Ist eine relativistische Rechnung notwendig?

2 Strahlungsgesetze

2.1 Sterne als schwarze Strahler

Betrachten sie folgende Sterne:

1. Einen roten Stern mit einer Oberflächentemperatur von 3000 K
2. einen gelben Stern mit einer Oberflächentemperatur von 6000 K
3. einen blauen Stern mit einer Oberflächentemperatur von 10000 K

Hinweis: Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz gilt für das spektrale Emissionsvermögen eines schwarzen Strahlers:

$$M(\lambda, T)d\lambda = \frac{c}{4}u(\lambda, T)d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)} - 1} d\lambda$$

Berechnen sie für jeden, unter der Annahme das sie sich wie schwarze Strahler verhalten:

- (a) das gesamte Emissionsvermögen (gesamte abgestrahlte Leistung pro Flächeneinheit)
- (b) die Wellenlänge λ_{max} der mit maximaler Intensität emittierten Strahlung
- (c) den Bruchteil der Strahlungsenergie, der im Sichtbaren Spektralbereich (400 nm - 700 nm) abgestrahlt wird. Verwenden sie dabei die Näherung kleiner Wellenlängen (bzw. großer Frequenzen)

2.2 Oberflächentemperatur

- (a) Außerhalb der Erdatmosphäre misst man das Maximum des Sonnenspektrums bei $\lambda = 465nm$. Berechnen sie daraus die Oberflächentemperatur der Sonne
- (b) Tatsächlich ist die Oberflächentemperatur $T_S = 5700K$. Berechnen sie nun die Oberflächentemperatur der Erde. Nehmen sie dazu an, dass die Erde ein schwarzer Körper im thermischen Gleichgewicht ist. Die Temperatur der Erde werde Tag und Nacht gleich angekommen.

3 Angaben

- Ruhemasse eines Elektrons $m = 9.116 \cdot 10^{-31}kg$
- Ruhemasse eines Neutrons $m = 1.67 \cdot 10^{-27}kg$
- Plancksches Wirkungsquantum $h = 6.626 \cdot 10^{-34}J \cdot s$
- $\int x^n e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a^{n+1}} [(ax)^n - n(ax)^{n-1} + n(n-1)(ax)^{n-2} \dots + (-1)^n n!]$
- Atomare Masseneinheit $u = 1.66 \cdot 10^{-27}kg$
- Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$
- Boltzmann-Konstante $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}J/K$
- Abstand Erde Sonne : $R = 1.5 \cdot 10^8km$
- Sonnenradius : $r_S = 6.96 \cdot 10^5km$
- Erdradius : $r_E = 6378km$