Aufgaben zur Quantenphysik

150. In einer Vakuumfotozelle werden aus der Cäsiumschicht der Katode durch Bestrahlung mit Licht Elektronen herausgelöst.
a) Beschreiben Sie die dabei auftretende Energieumwandlung bezüglich der Wechselwirkung von Photonen und Elektronen.
b) Entscheiden Sie, ob die Intensität des Lichtes die Anzahl der heraus gelösten Elektronen beeinflusst. Begründen Sie.
c) Mit Licht einer Wasserstoffspektrallampe wurde die Abhängigkeit der maximalen kinetischen Energie der Elektronen von der Wellenlänge bestimmt.

λ in nm	486	434	410	397
E_{kin} in eV	0,61	0,92	1,09	1,19

Ermitteln Sie unter Verwendung aller Messwerte das Planck'sche Wirkungsquantum und geben Sie die Ablösearbeit an.
d) Beschreiben Sie eine experimentelle Methode, die maximale kinetische Energie der Fotoelektronen zu bestimmen.
e)Untersuchen Sie, ob das Licht der in der Tabelle gegebenen Wellenlängen aus einer Platinkathode Fotoelektronen herauslösen kann.
(Ablösearbeit für Platin: 5,36 eV)
f) Eine Messung erfordert mindestens die Lichtleistung $5{,}0 \cdot 10^{-18}$ W. Berechnen Sie die dazu notwendige Anzahl Photonen des Lichts der Wellenlänge 486 nm, die in einer Sekunde auf die Kathode auftreffen müssen.

132. Ein Laserpointer strahlt mit einer Wellenlänge von 650 nm. Wie viele Photonen müssen je Sekunde emittiert werden, damit der Laser eine Leistung von 1 mW erreicht?

168. Elektronen der kinetischen Energie 28,0 keV durchlaufen einen Doppelspalt und treffen auf eine parallel zur Spaltbreite aufgestellte Fotoplatte. Der Abstand des Doppelspalts zur Fotoplatte beträgt 45,0 cm. Es werden drei Intensitätsmaxima auf der Fotoplatte festgestellt.

Begründen Sie, dass diese Erscheinung nicht vollständig mit dem klassischen Teilchenmodell erklärbar ist.

Die Intensitätsmaxima entstehen durch Beugung der Elektronen. Es gilt die Gleichung $\sin\alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{b}$. Das mittlere Intensitätsmaximum hat zu den benachbarten Maxima jeweils den Abstand $3{,}20 * 10^{-6}$ m.
Berechnen Sie den Spaltabstand des Doppelspaltes.

Lösungen

150.

a) Die Photonen besitzen eine bestimmte Energie E=h·f . Diese Energie wird bei der Wechselwirkung mit einem Elektron vollständig abgegeben. Ein Teil der Energie wird zum Herauslösen des Elektrons aus dem Atom verwendet. Der Rest der Energie bleibt dem Elektron als kinetische Energie erhalten, es fliegt mit einer bestimmten Geschwindigkeit in einer beliebigen Richtung aus der Metallschicht heraus.

b) Eine höhere Lichtintensität bedeutet mehr Photonen. Damit werden bei einer größeren Intensität auch mehr Elektronen herausgelöst.
(Das gilt nur unter der Voraussetzung, dass die Energie der Photonen größer ist als die Ablösearbeit des Metalls. Falls die Energie zu klein ist, nützt auch eine Intensitätssteigerung nichts, es werden keine Elektronen herausgelöst.)

c) Das Plancksche Wirkungsquantum ist der Anstieg der Ekin(f)-Funktion.
Die Ablösearbeit ist der Schnittpunkt der Kurve mit der Energieachse (y-Achse) und ergibt $3{,}17*10^{-19}$ J.

d) Zur Bestimmung der maximalen kinetischen Energie der Fotoelektronen wird die Gegenspannungsmethode verwendet. An den Anschlüssen einer Fotozelle wird eine veränderbare Spannung angelegt. Fällt Licht auf die Kathode, wird zwischen Anode und Kathode eine Strom gemessen. Die Spannung wird nun so geregelt, dass dieser Fotostrom Null wird.
Alle Elektronen, die aus der Kathode herausgelöst wurden, werden von dem Feld zwischen Kathode und Anode bis auf Null abgebremst. Die Energie der schnellsten Elektronen entspricht dann genau der Energie des elektrischen Feldes.

e) Untersucht werden muss das Licht mit der höchsten Energie, also der kleinsten Wellenlänge. Das ist Licht mit der Wellenlänge 397 nm. Die Photonen dieses Lichtes haben eine Energie von 3,12 ev. $E=\frac{h\cdot c}{\lambda}=5{,}00\cdot 10^{-19}=3{,}12\,eV$
Mit dieser Energie ist es nicht möglich, aus der Platinkathode Elektronen herauszulösen. Die Energie ist zu gering.

f) Es gilt:

$$P=\frac{E}{t}$$

$$P=\frac{n\cdot E}{t}$$

$$n=\frac{P\cdot t}{E}$$

$$n=\frac{P\cdot t}{h\cdot f}$$

$$n=\frac{P\cdot t\cdot \lambda}{h\cdot c}$$

$$n=12$$

Es sind 12 Photonen je Sekunde notwendig.

132. Die Energie eines Photons berechnet sich aus E = h*f oder mit f = c/Wellenlänge E = h*c/Wellenlänge. Damit ist die Energie eines Photons = $3{,}056*10^{-19}$ J. Um damit eine Leistung von 1 mW abzugeben sind nach P = n*E/t immerhin $3{,}3*10^{15}$ Teilchen notwendig.

168. Nach dem klassischen Teilchenmodell sind Interferenzerscheinungen bei Elektronen nicht möglich. Im Quantenmodell kann einem Teilchen aber auch eine Welle zugeordnet werden, so dass es zu Interferenzen kommen kann.
Klassisch Teilchen würden sich wie Kugeln verhalten. Interferenz bedeutet, dass es zu Verstärkungen und Auslöschungen kommt. Das ist mit Kugeln nicht möglich.

geg.:	$E = 28{,}0\,\text{keV}$ $e = 45{,}0 \cdot 10^{-2}\,\text{m}$ $s_1 = 3{,}20 \cdot 10^{-6}\,\text{m}$	ges.:	b

Lösung:

Die gegebene Gleichung wird nach der gesuchten Größe umgestellt:

$$\sin\alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{b}$$

$$b = \frac{n \cdot \lambda}{\sin\alpha_n}$$

Da es das erste Maximum ist, wird n=1. Die Wellenlänge lässt sich aus der Energie berechnen:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{m^2 \cdot v^2}$$

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{m^2 \cdot \frac{2 \cdot E_{kin}}{m}}$$

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{m \cdot 2 \cdot E_{kin}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{h^2}{m \cdot 2 \cdot E_{kin}}}$$

$$E_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{2 \cdot E_{kin}}{m}$$

und eingesetzt:

$$b = \frac{n \cdot \lambda}{\sin\alpha_n}$$

$$b = \frac{\sqrt{\frac{h^2}{m \cdot 2 \cdot E_{kin}}}}{\sin\alpha_n}$$

Der Winkel, unter dem das erste Maximum erscheint, fehlt noch. Der lässt sich aber aus dem Abstand des Gitters von der Fotoplatte und dem Abstand 0. bis 1. Maximum berechnen. Es gilt:

$$\tan\alpha = \frac{s}{e}$$

Bei kleinen Winkeln, die hier auftreten, kann man den tan und den sin eines Winkels gleichsetzen. Damit wird:

$$b = \frac{\sqrt{\frac{h^2}{m \cdot 2 \cdot E_{kin}}} \cdot e}{s_1}$$

$$b = \frac{\sqrt{\frac{\left(6{,}626 \cdot 10^{-34}\,\text{Js}\right)^2}{9{,}1095 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot 2 \cdot 28{,}0 \cdot 10^{3} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{J}}} \cdot 45{,}0 \cdot 10^{-2}\,\text{m}}{3{,}20 \cdot 10^{-6}\,\text{m}}$$

$$b = 1{,}03 \cdot 10^{-6}\,\text{m}$$

Antwort:	Der Doppelspalt ist $1{,}03\,\mu\text{m}$ breit.