Quantenphysik: Photoeffekt und Materiewellen

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

kostenlos, mit Lösungen

Name: _____ Datum: _____

Konstanten: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s, $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg. 1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

1 Bestimme h und die Austrittsarbeit aus einer Messreihe.

Gegenfeldmethode: $e \cdot U_0 = h \cdot f - W_A$. Trägt man U_0 über f auf, ist die Steigung $\frac{h}{e}$, die Nullstelle die Grenzfrequenz $f_G = \frac{W_A}{h}$.

a) Eine Fotozelle wird mit Licht verschiedener Frequenz bestrahlt. Gemessen wird die Gegenspannung U_0, bei der der Strom gerade null wird:
f in 10^{14} Hz: 5,5 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0
U_0 in V: 0,38 | 0,58 | 1,00 | 1,41 | 1,83
Erkläre, warum $e \cdot U_0$ die größte kinetische Energie der Elektronen ist.

Das Gegenfeld bremst die Elektronen. Der Strom wird erst null, wenn auch die schnellsten Elektronen die Anode nicht mehr erreichen. Dann ist ihre ganze Bewegungsenergie gegen das Feld aufgebraucht: $E_{kin,max} = e \cdot U_0$.

b) Zeige, dass die Punkte auf einer Geraden liegen, und bestimme die Steigung.

Steigungen zwischen Nachbarpunkten: 0,40 bis 0,42 V pro 10^{14} Hz, also fast gleich: Die Punkte liegen auf einer Geraden.

Steigung aus erstem und letztem Punkt: $\frac{\Delta U_0}{\Delta f} = \frac{1{,}83\ \text{V} - 0{,}38\ \text{V}}{3{,}5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}} \approx 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ Vs

c) Berechne daraus h.

Steigung = $\frac{h}{e}$, umgestellt $h = e \cdot$ Steigung

$h = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C $\cdot\ 4{,}14 \cdot 10^{-15}$ Vs

$h \approx 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Js, sehr nah am Tabellenwert $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js

d) Bestimme Grenzfrequenz und Austrittsarbeit. Welches Metall ist es? (Cäsium 1,9 eV, Kalium 2,3 eV, Zink 4,3 eV)

Bei der Grenzfrequenz ist $U_0 = 0$. Von $f = 5{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz aus muss man auf der Geraden um $\frac{0{,}38\ \text{V}}{4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{Vs}} \approx 0{,}92 \cdot 10^{14}$ Hz zurückgehen.

$f_G \approx 5{,}5 \cdot 10^{14}\ Hz - 0{,}92 \cdot 10^{14}\ Hz \approx 4{,}6 \cdot 10^{14}\ Hz$

$W_A = h \cdot f_G = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ Js \cdot 4{,}6 \cdot 10^{14}\ Hz \approx 3{,}0 \cdot 10^{-19}\ J$

In eV: $\frac{3{,}0 \cdot 10^{-19}\ J}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J/eV} \approx 1{,}9\ eV$

Das passt zu Cäsium.

2 Zähle die Photonen.

Energie eines Photons: $E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$. Photonen pro Sekunde: $N = \frac{P}{E}$.

a) Ein roter Laserpointer (λ = 663 nm) hat die Leistung 1 mW. Berechne die Energie eines Photons in J und eV.

$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ Js \cdot 3{,}0 \cdot 10^{8}\ m/s}{663 \cdot 10^{-9}\ m}$

$E = 3{,}0 \cdot 10^{-19}\ J$

In eV: $\frac{3{,}0 \cdot 10^{-19}\ J}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J/eV} \approx 1{,}88\ eV$

b) Wie viele Photonen sendet er pro Sekunde aus?

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

$P = 1\ mW = 10^{-3}\ W$

$N = \frac{10^{-3}\ W}{3{,}0 \cdot 10^{-19}\ J} \approx 3{,}3 \cdot 10^{15}$

Der Laser sendet etwa $3{,}3 \cdot 10^{15}$ Photonen pro Sekunde aus.

c) Kann dieses Licht aus Cäsium (W_A = 1,9 eV) Elektronen auslösen? Begründe.

Nein. Jedes Photon hat nur 1,88 eV, knapp weniger als die Austrittsarbeit von 1,9 eV. Ein Elektron nimmt immer nur ein Photon auf, deshalb helfen auch viele Photonen nicht.

Quantenphysik: Photoeffekt und Materiewellen (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

Name: _____ Datum: _____

kostenlos, mit Lösungen

3 Berechne die Wellenlänge von Elektronen.

de Broglie: $\lambda = \frac{h}{p}$. Für ein mit U beschleunigtes Elektron gilt $e \cdot U = \frac{p^2}{2 \cdot m}$, also $p = \sqrt{(2 \cdot m \cdot e \cdot U)}$.

a) In einer Elektronenbeugungsröhre werden Elektronen mit U = 4,0 kV beschleunigt. Berechne ihren Impuls.

$p = \sqrt{(2 \cdot m \cdot e \cdot U)}$

$p = \sqrt{(2 \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ kg \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C \cdot 4000\ V)}$

$p \approx 3{,}4 \cdot 10^{-23}\ kg \cdot m/s$

b) Berechne die de-Broglie-Wellenlänge.

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\ Js}{3{,}4 \cdot 10^{-23}\ kg \cdot m/s}$

$\lambda \approx 1{,}9 \cdot 10^{-11}\ m = 19\ pm$

c) Wie ändert sich λ, wenn man U vervierfacht?

p wächst mit √U. Bei vierfacher Spannung wird p also doppelt so groß, weil √4 = 2. Damit halbiert sich $\lambda = \frac{h}{p}$ auf etwa 10 pm.

d) Warum kann man mit diesen Elektronen Kristalle untersuchen, mit Licht aber nicht?

Beugung zeigt sich deutlich, wenn die Wellenlänge ähnlich groß ist wie die Abstände im Hindernis. Atomabstände im Kristall liegen bei etwa 10^{-10} m, das passt zu den Elektronen. Licht ist mit 400 bis 800 nm tausendfach zu langwellig.

Quantenphysik: Photoeffekt und Materiewellen (Fortsetzung)

Physik · Klasse 12 · mittel · Lösungen

vitus-tutoring.de

Name: _____ Datum: _____

kostenlos, mit Lösungen

4 Begründe mit dem Photonenmodell.

Im Photonenmodell gibt ein Photon seine ganze Energie h · f an genau ein Elektron ab.

a) Nach dem Wellenmodell müsste ein Elektron bei schwachem Licht eine Weile Energie sammeln, bevor es austritt. Was beobachtet man, und wie erklärt es das Photonenmodell?

Die Elektronen treten sofort aus, auch bei sehr schwachem Licht. Im Photonenmodell bekommt ein Elektron die Energie auf einen Schlag von einem einzigen Photon. Schwaches Licht heißt nur: wenige Photonen, also wenige Elektronen, aber jedes sofort.

b) Was ändert sich, wenn man bei gleicher Frequenz die Intensität verdoppelt? Was ändert sich, wenn man die Frequenz erhöht?

Doppelte Intensität: Es kommen doppelt so viele Photonen an, also werden doppelt so viele Elektronen frei, und der Strom verdoppelt sich. Die größte Energie der Elektronen bleibt gleich.

Höhere Frequenz: Jedes Photon hat mehr Energie, die Elektronen sind schneller, U_0 wird größer. Ihre Anzahl bleibt (bei gleich vielen Photonen) gleich.