Der Photoeffekt im Wellenmodell

Eine Glühlampe mit der elektrischen Leistung $P_{el} = 100\,\mathrm{W}$ sendet ihr Licht nach allen Seiten gleichmäßig aus und setzt dabei 4% in Lichtleistung um. Sie bestrahlt eine Cs-Photozelle im Abstand $a = 1\,\mathrm{m}$. Die bestrahlte Fläche sei $A = 1\,\mathrm{cm}^2$ groß.

Wie groß ist die Lichtleistung P_A, die auf die Fläche in der Photozelle auftrifft?

Die Leistung der Glühlampe verteilt sich nach allen Seiten im Abstand a gleichmäßig auf eine Kugeloberfläche der Größe $O_{\text{Kugel}} = 4\pi a^2$. Die Leistung P_{A} auf der Fläche A verhält sich zur Gesamtleitung P_{Kugel} auf der Kugeloberfläche wie die Fläche A zur Kugeloberfläche O.

$$\frac{P_{\text{A}}}{P_{\text{Kugel}}} = \frac{A}{4\pi a^2} \Longrightarrow P_{\text{A}} = P_{\text{Kugel}} \cdot \frac{A}{4\pi a^2} = \frac{0{,}04 \cdot 100\,\mathrm{W} \cdot 1 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^2}{4\pi (1\,\mathrm{m})^2} = 3{,}18 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{W}$$

Auf einer Fläche von $1\,\mathrm{cm}^2$ in der Photozelle kommt also die Leistung $3{,}18 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{W}$ an.

90% des auf diese Fläche auftreffenden Lichtes wird reflektiert. Der Rest dringt in die Metallschicht etwa 50 Atomlagen tief ein ($d = 1{,}15 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{cm}$). Die Dichte von Cäsium ist $\varrho = 1{,}9\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$, die molare Masse $M_{\text{mol}} = 133\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$ ($N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\,\frac{1}{\mathrm{mol}}$).

Wie groß ist die Anzahl der Atome N_{Atome} in dem bestrahlten Volumen?

Die Anzahl der Atome N_{Atome} in dem Volumen verhält sich zur Anzahl N_{A} der Atome in einem Mol wie die Masse des betrachteten Volumens zur molaren Masse.

$$\frac{N_{\text{Atome}}}{N_{\text{A}}} = \frac{m}{M_{\text{mol}}} \Longrightarrow N_{\text{Atome}} = N_{\text{A}} \cdot \frac{m}{M_{\text{mol}}} = N_{\text{A}} \cdot \frac{\varrho \cdot V}{M_{\text{mol}}}$$

$$= 6{,}02 \cdot 10^{23}\,\frac{1}{\mathrm{mol}} \cdot \frac{1{,}9\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3} \cdot 1\,\mathrm{cm}^2 \cdot 1{,}15 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{cm}}{133\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}} = 9{,}89 \cdot 10^{15} \approx 1 \cdot 10^{16}$$

In Cäsium gibt es etwa gleichviel Valenzelektronen wie Atome. Also ist $N_{El.} = N_{Atome}$. Die Energie des eingestrahlten Lichtes soll sich nun **nach dem Wellenmodell** gleichmäßig auf alle Elektronen in dem bestrahlten Volumen verteilen.

Welche Leistung P_{El} erreicht demnach jedes einzelne Elektron?

Oben angegeben ist, dass 90% des Lichtes reflektiert wird. Also kommt nur 10% der Lichtleistung von $3{,}18 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{W}$ an. Diese Leistung soll sich gleichmäßig auf alle Elektronen verteilen. Für ein einzelnes Elektron erhält man dann durch Division durch die Anzahl der Elektronen

$$P_{\text{Elektron}} = \frac{0{,}10 \cdot 3{,}18 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{W}}{1 \cdot 10^{16}} = 3{,}18 \cdot 10^{-22}\,\mathrm{W}$$

Die Austrittsarbeit für Cäsium beträgt $W_{A,Cs} = 1{,}94\ e\text{V}$. Wie länge würde es demnach dauern, bis ein Elektron die für die Austrittsarbeit nötige Energie gesammelt hätte.

$$W_\text{A} = P_\text{Elektron} \cdot t \Longrightarrow$$

$$t = \frac{W_\text{A}}{P_\text{Elektron}} = \frac{1{,}94\,\text{eV}}{3{,}18 \cdot 10^{-22}} = \frac{1{,}94 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{CV}}{3{,}18 \cdot 10^{-22}} = 9{,}77 \cdot 10^2\,\text{s} \approx 16{,}2\,\text{min}$$

Was müsste man nach dem Wellenmodell nach dieser Zeit im Experiment beobachten? Was beobachtet man in Wirklichkeit?

Bis 16 Minuten nach dem Einschalten der Lichtquelle passiert nach dem Wellenmodell erst einmal gar nichts, weil die Elektronen die eingestrahlte Energie irgendwie „sammeln“ müssten. Dann würden mehr oder weniger alle Elektronen auf einmal die Metalloberfläche verlassen können.

In Wirklichkeit ist der Photostrom sofort nach dem Einschalten da, vorausgesetzt natürlich, dass die Wellenlänge der Strahlung kleiner als die Grenzwellenlänge ist.