

## Physik \* Jahrgangsstufe 10 \* Photonen und Fotoeffekt

Um Elektronen aus einem Metall freizusetzen, benötigt man Energie, die so genannte Ablösearbeit  $W_A$ . Diese Ablösearbeit ist für jedes Metall eine charakteristische Größe.

Trifft Licht auf eine Metalloberfläche, so können Elektronen ausgelöst werden (Fotoeffekt), aber nur falls die Wellenlänge des Lichts genügend klein ist. Die Intensität des Lichts ist in diesem Fall dann proportional zur Anzahl der ausgelösten Elektronen.

Der Fotoeffekt kann mit Hilfe der Photonentheorie erklärt werden.

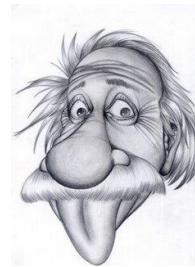
Die Energie eines Photons hängt nur von seiner Wellenlänge  $\lambda$  (bzw. seiner Frequenz  $f$ ) ab.

Es gilt  $E_{\text{Photon}} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$  mit  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  (Plancksches Wirkungsquantum  $h$ )

Der Fotoeffekt lässt sich mit der von Albert Einstein aufgestellten Gleichung beschreiben:

$$E_{\text{Photon}} = W_A + E_{\text{kin,max}} \quad \text{bzw.} \quad h \cdot f = W_A + E_{\text{kin,max}}$$

Hierbei ist  $W_A$  die Ablösearbeit des Metalls und  $E_{\text{kin,max}}$  die maximale kinetische Energie der ausgelösten Elektronen.



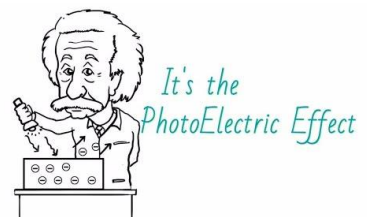
### Aufgaben:

- Eine Zinkplatte wird mit dem Licht einer Glühlampe (400 nm bis 750 nm) und mit einer Quecksilberdampf Lampe (zwei Hauptemissionslinien bei 248nm und 254nm) bestrahlt. Die Ablösearbeit von Zink beträgt 4,34 eV.

  - Zeigen Sie, dass im Gegensatz zur Hg-Lampe die Glühlampe keine Elektronen aus der Zinkplatte auslösen kann.
  - Wie groß ist die maximale kinetische Energie der ausgelösten Elektronen bei Bestrahlung mit der Hg-Lampe? Welche Geschwindigkeit haben diese Elektronen?

- Ab welcher Wellenlänge kann elektromagnetische Strahlung bei den Metallen Cäsium, Aluminium, Zink bzw. Platin Elektronen auslösen?

Metall	Cs	Al	Zn	Pl
Ablösearbeit in eV	2,14	4,20	4,34	5,66



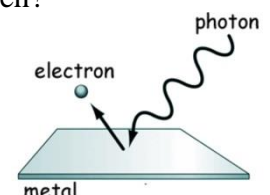
- Ein Laserpointer mit grünem Licht der Wellenlänge 532 nm und eine rote LED mit 635 nm haben jeweils die gleiche Strahlungsleistung von 5,0 mW. Wie viele Photonen senden die beiden Lichtquellen jeweils pro Sekunde aus?

- Die relative Effizienz einer Metalloberfläche (z.B. von Cäsium mit der Austrittsarbeit 2,14 eV) betrage  $1,0 \cdot 10^{-16}$ , d.h. es werden  $10^{16}$  Photonen benötigt, um im Mittel ein Elektron aus der Oberfläche herauszulösen.

Eine Lampe mit der Strahlungsleistung 60W ( $\lambda \approx 500 \text{ nm}$ ) trifft auf diese Cäsiumoberfläche. Wie viele Elektronen werden pro Sekunde aus der Oberfläche herausgeschlagen?

Welcher Stromstärke entspricht das?

(Diesen Strom nennt man Fotostrom.)



# Physik \* Jahrgangsstufe 10 \* Photonen und Fotoeffekt \* Lösungen

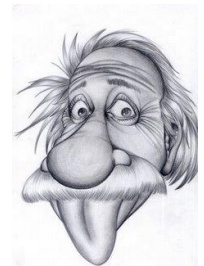
1. a) Glühlampe:  $E_{\max} = E(400\text{ nm}) = \frac{h \cdot c}{400\text{ nm}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}\text{ Js} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{400 \cdot 10^{-9}\text{ m}} = 4,97 \cdot 10^{-19}\text{ J} =$

$$\frac{4,97 \cdot 10^{-19}\text{ VAs} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = \frac{4,97 \cdot 10^{-19}\text{ Ve}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 3,10\text{ eV} < 4,34\text{ eV} = W_A$$

Hg - Lampe:  $E_{\max} = E(248\text{ nm}) = \frac{E(400\text{ nm}) \cdot 400\text{ nm}}{248\text{ nm}} = \frac{3,10\text{ eV} \cdot 400}{248} = 5,00\text{ eV} > 4,34\text{ eV} = W_A$

b)  $E_{\text{kin,max}} = 5,00\text{ eV} - W_A = 5,00\text{ eV} - 4,34\text{ eV} = 0,66\text{ eV} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_{\max}^2 = 0,66\text{ eV} \Rightarrow$

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,66\text{ eV}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,66 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ AsV}}{9,11 \cdot 10^{-31}\text{ kg}}} = 4,8 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



2.  $h \cdot f \geq W_A \Leftrightarrow \frac{h \cdot c}{\lambda} \geq W_A \Leftrightarrow \lambda \leq \frac{h \cdot c}{W_A} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ Js} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{W_A}$

Cs:  $\lambda \leq \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot 3,0 \cdot 10^8\text{ m}}{2,14 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ AsV}} = 581 \cdot 10^{-9}\text{ m} = 581\text{ nm};$

Al:  $\lambda \leq \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot 3,0 \cdot 10^8\text{ m}}{4,20 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ AsV}} = 296\text{ nm};$  Zn:  $\lambda \leq \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot 3,0 \cdot 10^8\text{ m}}{4,34 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ AsV}} = 286\text{ nm}$

Pl:  $\lambda \leq \frac{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot 3,0 \cdot 10^8\text{ m}}{5,66 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ AsV}} = 220\text{ nm}$

3. Pro Sekunde werden N Photonen ausgesandt; dann gilt

$$N \cdot h \cdot f = 5\text{ mW} \cdot 1\text{ s} \Leftrightarrow N = \frac{0,005\text{ J}}{h \cdot f} = \frac{0,005\text{ J} \cdot \lambda}{h \cdot c} = \frac{0,005\text{ J} \cdot \lambda}{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ Js} \cdot 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

grüner Laserpointer:  $N = \frac{0,005\text{ J} \cdot 532 \cdot 10^{-9}\text{ m}}{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot 3,0 \cdot 10^8\text{ m}} = 1,3 \cdot 10^{16}$

rote LED:  $N = \frac{0,005\text{ J} \cdot 635 \cdot 10^{-9}\text{ m}}{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot 3,0 \cdot 10^8\text{ m}} = 1,6 \cdot 10^{16}$

4. Die Photonenenergie ( $\lambda = 500\text{ nm}$ ) reicht nach Aufgabe 2 zum Auslösen von Elektronen. Pro Sekunde werden N Photonen ausgesandt; dann gilt wie bei Aufgabe 3:

$$N = \frac{60\text{ J} \cdot 500 \cdot 10^{-9}\text{ m}}{6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot 3,0 \cdot 10^8\text{ m}} = 1,5 \cdot 10^{20};$$

damit werden pro Sekunde  $\frac{1,5 \cdot 10^{20}}{10^{16}} = 1,5 \cdot 10^4$  Elektronen pro Sekunde ausgelöst.

$$I_{\text{Foto}} = \frac{1,5 \cdot 10^4 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ As}}{\text{s}} = 2,4 \cdot 10^{-15}\text{ A}$$

