

Name:

Datum:

### Der Photoeffekt - Rechenaufgaben zum Grundwissen

1. Berechnen Sie die Energie der Lichtquanten in den Energieeinheiten Joule und Elektronvolt für folgende durch die Wellenlänge bestimmte Strahlungen. **a)** Rundfunkwelle:  $\lambda = 1300\text{m}$  [ $1,53 \cdot 10^{-28}\text{ J} = 9,55 \cdot 10^{-10}\text{ eV}$ ] **b)** Fernsehwelle (UHF):  $\lambda = 0,46\text{m}$  [ $4,32 \cdot 10^{-25}\text{ J} = 2,70 \cdot 10^{-6}\text{ eV}$ ] **c)** weiche Röntgenstrahlen:  $\lambda = 10^{-8}\text{ m}$  [ $1,99 \cdot 10^{-17}\text{ J} = 1,24 \cdot 10^2\text{ eV}$ ] **d)** energiereiche kosmische Strahlung:  $\lambda = 10^{-16}\text{ m}$  [ $1,99 \cdot 10^{-10}\text{ J} = 1,24 \cdot 10^9\text{ eV}$ ].
2. Berechnen Sie die Wellenlänge und Frequenz **a)** einer Lichtstrahlung, deren Energiequanten die Energie  $1\text{eV}$  besitzt [ $1,24 \cdot 10^{-6}\text{ m}$ ;  $2,42 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$ ] **b)** einer Gammastrahlung, deren Quantenenergie  $1,8\text{MeV}$  ist. [ $6,90 \cdot 10^{-13}\text{ m}$ ;  $4,35 \cdot 10^{20}\text{ Hz}$ ]
3. Berechnen Sie die Energie der Photonen **a)** des roten Lichtes mit der Frequenz  $4,5 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$  [ $2,98 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ ], **b)** des gelben Lichtes mit der Frequenz  $5,2 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$  [ $3,45 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ ] und **c)** des violetten Lichtes mit der Frequenz  $7,5 \cdot 10^{14}\text{ Hz}$ . [ $4,97 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ ]
4. Eine empfindliche Fozelle liefert noch einen Fotostrom, wenn sie eine Lichtstrahlung mit der Leistung  $10^{-18}\text{ W}$  aufnimmt. Berechnen Sie, wie viele Lichtquanten des roten Cadmiumlichtes mit der Wellenlänge  $644\text{nm}$  dabei in einer Sekunde auf die lichtempfindliche Fotokathode fallen. [ $\approx 3$ ]
5. Eine 60-Watt-Lampe setzt etwa 5% der elektrischen Leistung in Strahlungsleistung des sichtbaren Lichtes um. Berechnen Sie die Anzahl der Lichtquanten des sichtbaren Lichts, die in einer Sekunde ausgestrahlt werden, wenn man von einer mittleren Wellenlänge von  $560\text{nm}$  ausgeht. [ $8,45 \cdot 10^{18}$ ]
6. Eine Natriumfotозelle - die Austrittsarbeit bei Natrium beträgt  $2,27\text{eV}$  - wird mit Licht der Wellenlänge  $545\text{nm}$  bestrahlt. Durch eine positive Spannung zwischen Kathode und Anode gelangen alle Fotoelektronen auf die Anode. Die Fotoschicht erfährt die Strahlungsleistung  $10^{-2}\text{ W}$ , die eingestrahlte Energie wird vollständig zur Erzeugung von Fotoelektronen genutzt. Berechnen Sie die Stärke des Stromes, der unter diesen Voraussetzungen durch den Photoeffekt in der Zelle bewirkt wird. [ $4,4\text{mA}$ ]
7. Um aus einer Magnesiumschicht Fotoelektronen auszulösen, dürfen die einfallenden Wellen höchstens die Wellenlänge  $370\text{nm}$  haben. Auf die Fozelle fällt eine Strahlung mit der Wellenlänge  $250\text{nm}$ . Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit der ausgelösten Elektronen. [ $7,53 \cdot 10^5\text{ m/s}$ ]
8. Die Austrittsarbeit bei Kalium beträgt  $2\text{eV}$ . Auf die Kaliumschicht fällt Licht mit der Wellenlänge  $400\text{nm}$ . **a)** Berechnen Sie die kinetische Energie der energiereichsten Fotoelektronen in den Energieeinheiten Joule und Elektronvolt. [ $1,77 \cdot 10^{-19}\text{ J} = 1,11\text{eV}$ ] **b)** Berechnen Sie bei klassischer Rechnung die Geschwindigkeit der schnellsten Elektronen. [ $6,23 \cdot 10^5\text{ m/s}$ ]
9. Um Elektronen aus einer Natriumfotозelle auszulösen, darf das Licht höchstens die Wellenlänge  $650\text{nm}$  haben. Berechnen Sie die Gegenspannung, die erforderlich ist, um bei einfallendem Licht mit der Wellenlänge  $300\text{nm}$  den Strom der Fotoelektronen zu unterbinden. [ $2,23\text{V}$ ]
10. In einer Fozelle wird eine Nickelschicht mit ultraviolettem Licht der Wellenlänge  $200\text{nm}$  bestrahlt. Zur vollständigen Abbremsung aller Fotoelektronen ist die Gegenspannung  $1,2\text{V}$  erforderlich. Berechnen Sie die Austrittsarbeit für Nickel. [ $8,03 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ ]
11. Zur Bestimmung des PLANCKschen Wirkungsquantums wird eine Cäsium-Fotозelle nacheinander mit gelbem Licht der Wellenlänge  $589\text{nm}$  und mit ultraviolettem Licht der Wellenlänge  $254\text{nm}$  bestrahlt. Zur vollständigen Abbremsung der Fotoelektronen sind die Gegenspannungen  $0,21\text{V}$  und  $3,00\text{V}$  erforderlich. Berechnen Sie den Wert des PLANCKschen Wirkungsquantums. [ $6,65 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$ ]

**Der Photoeffekt - Rechenaufgaben zum Grundwissen**

12. Fällt Licht auf eine Photozelle, so kann zwischen der lichtempfindlichen Schicht und der Gegenelektrode eine Spannung  $U$  entstehen.

- a) Erkläre, wie diese Spannung zustande kommt.  
 b) Verwendet man Licht verschiedener Wellenlängen einer Quecksilberdampflampe, so erhält man bei einer kaliumbeschichteten Photozelle folgende Messwerte.

| Farbe                | grün | blau | violett | UV-Licht |
|----------------------|------|------|---------|----------|
| $\lambda$ in nm      | 546  | 436  | 405     | 366      |
| $f$ in $10^{-14}$ Hz |      |      |         |          |
| $U$ in V             | 0,02 | 0,60 | 0,82    | 1,14     |

Stelle in einem Schaubild die Abhängigkeit der Spannung  $U$  von der Frequenz des Lichtes dar. (Maßstab  $0,5V \hat{=} 1\text{cm}$  ;  $10^{14}\text{ Hz} \hat{=} 1\text{cm}$ ) Welche Frequenz muss das Licht mindestens haben, damit bei dieser Photozelle eine Spannung auftritt?

Welche Spannung erhält man, wenn bei diesem Versuch die Lichtintensität verdoppelt wird?

Warum lassen sich die Ergebnisse solcher Versuche nicht im Wellenmodell des Lichts erklären?

Wie kann man sie deuten?

- c) Bestimme mit Hilfe der Messwerte aus Teilaufgabe **b)** die PLANCKsche Konstante  $h$  und entnimm aus dem gezeichneten Schaubild die Austrittsarbeit  $W_A$  für Elektronen bei dieser Photozelle.  
 d) Für Cäsium (Cs) beträgt die Austrittsarbeit  $1,94\text{eV}$ . Spricht eine Photozelle mit Cs-Schicht auf Licht der Wellenlänge  $\lambda = 700\text{nm}$  an? Wie ändert sich das in Teilaufgabe **b)** gezeichnete Diagramm, wenn man statt der Kaliumzelle eine Cäsiumzelle verwendet?

13. Eine Fotodiode wird mit Licht der Wellenlänge  $\lambda = 540\text{nm}$  bestrahlt. Legt man zwischen Kathode und Anode eine Gegenspannung von  $0,34\text{V}$ , so werden auch die schnellsten aller Elektronen, die durch Wechselwirkung des Lichts mit der Kathode aus dieser ausgetreten sind, gerade auf die Geschwindigkeit Null abgebremst.

- a) Wie groß ist die Energie  $E$  der Photonen, die maximale kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$  der Elektronen, die Auslösearbeit  $W_A$ , sowie die Grenzfrequenz  $f_G$  des Kathodenmaterials?  
 b) Mit welcher maximalen Geschwindigkeit verlassen die Elektronen die Kathode?  
 c) Beschreibe, wie sich eine Verdoppelung der Lichtintensität auf die maximale Geschwindigkeit der Elektronen auswirkt und erkläre dieses Verhalten.  
 d) Verbindet man Kathode und Anode durch einen Leiter, so fließt ein Photostrom. Beschreibe, wie sich eine Verdoppelung der Lichtintensität auf die Stromstärke auswirkt und erkläre dieses Verhalten.

14. Nach der Vorstellung der klassischen Wellentheorie ist die Energie einer Welle gleichmäßig über die Welle verteilt. Die zum Austritt eines Elektrons aus der Fotoschicht erforderliche Energie beträgt einige eV. Bei Natrium z.B. beträgt die Austrittsarbeit ca.  $3\text{eV}$ . Ein nachweisbarer Fotostrom fließt bereits bei einer Bestrahlungsintensität von ca.  $10^{-6}\text{ W/m}^2$  (sofern die gesamte Strahlung absorbiert wird). Die Anzahl der Atome einer einatomigen Lage Natrium mit einer Fläche von  $1\text{m}^2$  beträgt etwa  $10^{19}$ .

- a) Wie groß ist die auf jedes Atom entfallende Leistung unter der Annahme, dass das Licht in den obersten 10 Atomlagen absorbiert wird?  
 b) Wie lange dauert es demzufolge, bis ein Elektron eines einzelnen Atoms, genügend Energie aufgenommen hat, um aus der Oberfläche austreten zu können?  
 c) Vergleiche diesen Wert mit der experimentell ermittelten Verzögerung zwischen Lichteinfall und Elektronenaustritt von weniger als  $3 \cdot 10^{-9}\text{ s}$  und interpretiere das Ergebnis.

Name:

Datum:

### Der Photoeffekt - Rechenaufgaben zum Grundwissen

15. a) Wie groß ist jeweils die Energie der Photonen des Lichts der roten ( $\lambda = 680\text{nm}$ ), gelben ( $\lambda = 577,6\text{nm}$ ), grünen ( $\lambda = 546\text{nm}$ ) und blauen ( $\lambda = 435,7\text{nm}$ ) Linie einer Quecksilberdampf Lampe?
- b) Die Austrittsarbeit bei einer Cäsium (Cs)-Kathode beträgt etwa  $2\text{eV}$ . Welche der oben genannten Linien tragen zum Photostrom einer Cs-beschichteten Photozelle bei, welche nicht?
- c) Wie groß ist jeweils die maximale kinetische Energie, mit der die Elektronen die Metallschicht verlassen?