



**Allgemeine Hinweise:**

- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.)!
- Überprüfen Sie die physikalischen Einheiten in Ihren Rechenschritten und Lösungen! (Vor allem bei längeren Rechenwegen!)
- Lesen Sie die Aufgaben zunächst alle einmal und beginnen Sie dann mit der für Sie einfachsten Aufgabe!

**Erlaubte Hilfsmittel:** Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

**Aufgabe 1: Der Foto-Effekt**

Der Physiker Hallwachs führte 1888 als erster einen Versuch zum Fotoeffekt aus, bei dem er beobachtete, dass eine negativ geladene Zinkplatte lediglich von UV-Licht entladen wird. Spätere Versuche mit sogenannten Fotozellen zeigten quantitativ den Zusammenhang zwischen der Energie und Frequenz des eingestrahelten Lichtes und der Auslösearbeit und kinetischen Energie der herausgelassenen Elektronen des bestrahlten Materials. Die in Folge erarbeitete Lichtquantenhypothese brachte Einstein 1921 den Nobelpreis ein. Die Entdeckung des Fotoeffektes gilt gemeinhin als Geburtsstunde der Quantenphysik.

1.1. Schildere ausführlich und physikalisch ergiebig den Versuchsaufbau, die messtechnischen Schwierigkeiten und die Ergebnisse des im Unterricht durchgeführten quantitativen Experimentes zum Fotoeffekt mit einer Fotozelle.

1.2.

a) Welche Energie und Geschwindigkeit haben die schnellsten Fotoelektronen aus mit UV-Licht ( $\lambda = 100 \text{ nm}$ ) bestrahltem Natrium?

b) Berechne die Frequenz  $f_0 = W_0/h$  für Natrium. Welche physikalische Bedeutung hat diese Größe?

1.3. Auch im Auge findet eine Art Fotoeffekt statt, nur werden dort keine Elektronen aus einem Material herausgelöst, wie bei dem bisher behandelten „äußeren“ Fotoeffekt, sondern lediglich in einem Zustand höherer Leitfähigkeit versetzt, ähnlich wie beim durch Licht verursachten Anheben von Elektronen aus dem Valenz- in das Leitungsband in Halbleitern („innerer“ Fotoeffekt).

Das Auge nimmt bei  $\lambda = 600 \text{ nm}$  gerade noch die Bestrahlungsstärke (Intensität) von  $S = 10^{-10} \text{ W/m}^2$  wahr. Wieviele Photonen treffen bei dieser Intensität pro Sekunde die Pupillenöffnung ( $d = 6 \text{ mm}$ )?

**Aufgabe 2: Der Compton-Effekt**

Beim Comptoneffekt trifft ein Photon auf ein freies Elektron. Dieses fliegt unter einem Winkel  $\alpha$  weg, während das Photon unter einem Winkel  $\varphi$  gestreut wird. Dabei vergrößert sich die Wellenlänge um

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_C (1 - \cos\varphi) \quad \text{mit } \lambda_C = \frac{h}{m_0 c}$$

2.1. Quanten mit  $\lambda = c/2$  treffen freie Elektronen.

a) Wie groß ist die Wellenlängenänderung in % unter  $\varphi = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  und  $180^\circ$ ? Wie groß ist die

maximale Wellenlängenänderung? Unter welchem Winkel  $\varphi$  tritt sie auf (Begründung)?

b) Wie groß wäre die Comptonverschiebung  $\Delta\lambda$  unter  $90^\circ$  bei sichtbarem Licht mit  $\lambda = 600 \text{ nm}$  in %?

2.2. Welche Masse haben  $\gamma$ -Photonen mit  $\lambda = c/\nu$ ? Welchen Energieverlust erleiden sie bei einer Comptonstreuung unter  $\varphi = 180^\circ$ ? Diskutiere damit die Aussage, beim Comptoneffekt handele es sich um Stöße im atomaren Bereich wie man sie von Billardkugeln kennt.

2.3. Das Francium-Nuklid  $^{224}\text{Fr}$  zerfällt in ein Radium-Nuklid, dieses gibt bei seinem Zerfall überschüssige Energie in Form eines  $\gamma$ -Quants ab.

a) Bestimme mit Hilfe der Nuklidkarte die Energie der  $\gamma$ -Quanten des entsprechenden Radium-Nuklids.

b) Welche Energie geben die  $\gamma$ -Photonen an Elektronen ab, wenn sie um  $180^\circ$  zurückgestreut werden?

c) Welche Geschwindigkeit besitzen die gestoßenen Elektronen?

**Aufgabe 3: De Broglie-Wellen**

Der größte Teilchenbeschleuniger der Welt war bislang LEP (Large Electron-Positron-Collider) am CERN. LEP war in der Lage, Elektronen auf eine Energie von 100 GeV zu beschleunigen.

Berechne Geschwindigkeit, Impuls und De Broglie-Wellenlänge von 100 GeV-Elektronen in SI-Einheiten (kg, m, s).

**Konstanten und Einheiten**

- Lichtgeschwindigkeit:  $c = 300000 \text{ km/s}$
- Auslösearbeit bei Natrium:  $W_0 = 2,28 \text{ eV}$
- Plancksches Wirkungsquantum:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
- Ruhemasse des Elektrons:  $m_{0,e} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Elektronenladung:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$