

Physik IV – Atome und Moleküle SS11

Prof. Thomas Müller, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Dr. Frank Hartmann, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

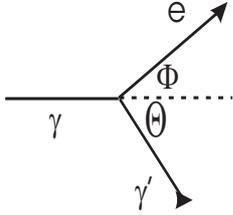
Aufgabenblatt 4; Übung am 16. Mai (Montag)
Übungsleiter: Frank Hartmann, Forschungszentrum Karlsruhe,
Tel.: +41 (76) 487 4362; Email: Frank.Hartmann@cern.ch

LÖSUNGEN Übung 4

1. Beim Franck-Hertz-Versuch entspricht der Abstand der Minima (bzw. Maxima) ΔU_B in der Strom-Spannungs-Kennlinie einer charakteristischen Energie eines Übergangs eines Elektrons in den Atomen bzw. Molekülen des Füllgases.
 - (a) Die Spannung $U_B = 4V$ liegt zwischen dem ersten und zweiten Minimum. Die Wellenlänge dieses charakteristischen Übergangs ist $\lambda = \frac{hc}{e\Delta U_B} = 589nm$. Das Füllgas leuchtet also im gelben Spektralbereich.
Für $U_B = 5V$ leuchtet es ebenfalls gelb.
 - (b) Bsp.: Natriumdampf und $^{86}\text{Krypton}$ leuchtet im gelben Spektralbereich. Es könnte sich also um Natriumdampf oder $^{86}\text{Krypton}$ handeln.
 - (c) Die kinetische Energie der Elektronen E_{kin} muss mindestens so groß sein, wie die Energie des charakteristischen Übergangs, d. h. $E_{kin} \geq e\Delta U_B$. Da $E_{kin} = \frac{m}{2}v^2$, muss $v \geq \sqrt{2e\Delta U_B/m} = 8.6 \times 10^5 m/s$ sein.
2. Photonen
 - (a) Die Glühbirne verliert natürlich nicht wirklich Masse, da die Energie ja nachgeliefert wird. Es handelt sich mehr um eine Masseabstrahlung. Die Wahl der Aufgabenstellung soll eben diese Diskussion anregen.
 $P=100W=100J/s$; $a = 365,25 = 3,16 \times 10^7 s \Rightarrow E = Pa = 3,16 \times 10^9 J \quad \Delta m = E/c^2 = 3,5 \times 10^{-8} kg$
 - (b) Es gilt: $\frac{Nh\nu}{P} = \frac{F}{4\pi R^2}$, wobei F der Pupillenquerschnittfläche ist. Hieraus ergibt sich $R = 14200 km$.
 - (c) Nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz $\lambda_{max} \times T = const = 0,29 cmK \rightarrow T = 5800 K$
3. Photoeffekt
 - a.) Klassische Wellentheorie des Lichts: Freie Elektronen im Metall werden durch das elektrische Feld der Lichtwelle beschleunigt.
 - ihre Energie sollte mit der Lichtintensität wachsen
 - unabh. von der Frequenz sollte bei genügend hoher Intensität es möglich sein Elektronen aus dem Metall herauszulösen
 - Existenz einer Grenzfrequenz ist mit klassischem Wellenmodell des Lichts nicht zu erklären.
 - b.) $\nu_i = c/\lambda_i \rightarrow \nu_i = 13.88; 11.53; 9.46; 8.15; 7.44 \cdot 10^{14} Hz$
Ausgleichsgerade: $W_A = eU + h\nu \rightarrow W_A = 2.93eV, h = 4.15 \cdot 10^{-15} eVs$

4. Comptonstreuung:

(a) $\lambda' - \lambda = \frac{hc}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)$



$E_{kin} = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = hc \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda\lambda'}$ mit $E_\gamma = \frac{hc}{\lambda}$ und $E' = \frac{hc}{\lambda'}$ folgt aus der Comptonformel:

$E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma E'_\gamma}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)$ (1) oder $E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)}$ (2)

(2) in (1) $\Rightarrow E_{kin} = \frac{E_\gamma E'_\gamma}{m_0c^2}(1 - \cos\theta) = \frac{E_\gamma}{\frac{m_0c^2}{E_\gamma(1 - \cos\theta)} + 1}$ (3) maximal für $\cos\theta_{max} \rightarrow -1$

also $\theta_{max} \rightarrow \pi$ Informationen für den dazugehörigen Winkel Φ erhält man aus dem Impulserhaltungssatz: $p_\gamma = p'_\gamma \cos\theta + p_e \cos\Phi$ (4)

$0 = p'_\gamma \sin\theta - p_e \sin\Phi$ (5)

Mit $\theta_{max} \rightarrow \pi$ folgt aus (5):

$p_e \sin\Phi_{max} = 0 \Rightarrow \Phi_{max} \rightarrow 0$

(b) $\lambda = 400 \text{ nm} \rightarrow \gamma = 7,5 \times 10^{14} \text{ Hz} \rightarrow E_\gamma = 3,1 \text{ eV}$

Aus (3) mit $\theta_{max} = \pi$ folgt $E_{kin,max} = 3,8 \times 10^{-5} \text{ eV}$

(c) Übertrüge das Photon seine gesamte Energie auf das Elektron, dann wäre $E'_\gamma = 0 \rightarrow$

$\lambda' = 0 \rightarrow \lambda' - \lambda = -\lambda = \frac{hc}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)$; also $1 - \cos\theta < 0 \rightarrow$ unmöglich!

(d) $E'_\gamma = E_\gamma - E_{kin} = 400 \text{ keV} \rightarrow \lambda' = 3,1 \times 10^{-3} \text{ nm}$ mit $\lambda = \frac{hc}{E_\gamma} = 2,48 \times 10^{-4} \text{ nm}$ folgt

aus Compton: $\theta = \text{Arccos}\left(1 - \frac{(\lambda' - \lambda)m_0c}{h}\right) = 41,8^\circ$