# Prüfung Physik 2, WS 2012/13 Musterlösung

## Aufgabe 1: Quickies

a) Die Wellenlänge entspricht dem doppelten Knotenabstand, also $\lambda = 3{,}6$ m. Mit der Frequenz 3 Hz folgt die Phasengeschwindigkeit $c = \lambda \cdot f = 10{,}8$ m/s.

b) Dopplereffekt mit bewegter Quelle. Geschwindigkeit der Stimmgabel: $v_Q = \omega r = 7{,}54$ m/s. Frequenz bei Annäherung: $f_1 = \dfrac{f_Q}{1 - v_Q / c} = 450\,\text{Hz}$,

Frequenz bei Entfernung: $f_1 = \dfrac{f_Q}{1 + v_Q / c} = 430{,}5\,\text{Hz}$.

c) Intensität von 10 Motorrädern $I_{10} = I_0 \cdot 10^{L_{10}/10\text{dB}} = 3{,}16 \cdot 10^{-3}\ \text{W/m}^2$,
Intensität von 1 Motorrad $I_1 = (1/10)\, I_{10} = 3{,}16 \cdot 10^{-4}$ W/m$^2$,
Pegel eines Motorrads $L_1 = 10 \cdot \lg\left(\dfrac{I_1}{I_0}\right) \text{dB} = 85\,\text{dB}$.

d) Die Schallgeschwindigkeit ist proportional zur Wurzel aus der thermodynamischen Temperatur.
Aus $\dfrac{c}{c_0} = \sqrt{\dfrac{T}{T_0}}$ folgt $T = T_0 \left(\dfrac{c}{c_0}\right)^2 = 293{,}17\,\text{K}$ oder $\vartheta = 20{,}02$ °C.

e) Nach de Broglie ist der Impuls eines Elektrons $p = \dfrac{h}{\lambda} = m \cdot v$. Die Geschwindigkeit ergibt sich aus dem Energieerhaltungssatz: $\dfrac{1}{2} m v^2 = eU$ zu $v = \sqrt{\dfrac{2eU}{m}}$. Kombiniert man die Gleichungen, so folgt für die gesuchte Beschleunigungsspannung $U = \dfrac{(h/\lambda)^2}{2em} = 150\,\text{V}$.

f) Nach Einstein gilt für die kinetische Energie ausgelöster Fotoelektronen
$E_{\text{kin}} = \dfrac{1}{2} m v^2 = E_{\text{ph}} - W_A = 0{,}745\,\text{eV}$. Die Geschwindigkeit der Fotoelektronen beträgt
$v = \sqrt{\dfrac{2(hf - W_A)}{m}} = 5{,}12 \cdot 10^5\ \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$.

## Aufgabe 2: Seilwellen

a) Die Geschwindigkeit beträgt $c = \dfrac{\Delta l}{\Delta t} = \dfrac{20 \cdot 46\,\text{m}}{14\,\text{s}} = 65{,}7\ \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$.

b) Aus $c = \sqrt{\dfrac{F}{A \cdot \rho}} = \sqrt{\dfrac{F}{m'}}$ folgt $F = c^2 m' = 1727\,\text{N}$.

c) Am festen Ende muss ein Schwingungsknoten auftreten. Dieser entsteht nur dann, wenn die reflektierte Welle gegenüber der hinlaufenden Welle einen Phasensprung von $\pi$ aufweist (Gangunterschied $\lambda/2$).

d) Bei der Grundschwingung ist $l = \lambda_0/2$ und $f_0 = c/(2l) = 1{,}43$ Hz.

Die Frequenzen der Oberschwingungen sind ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz: $f_1 = 2{,}86$ Hz, $f_2 = 4{,}29$ Hz.

e) Für $f_0 = 1{,}43$ Hz und $\lambda_0 = 46$ m folgt für die Kreisfrequenz $\omega_0 = 2\pi f_0 = 8{,}976\ \mathrm{s}^{-1}$ und für die Wellenzahl $k_0 = 2\pi/\lambda_0 = 0{,}1366\ \mathrm{m}^{-1}$.

f) Die stehende Welle kann beschrieben werden durch $y(x,t) = \hat{y}\sin(k_0 x)\cdot\sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, mit $\hat{y} = 20\,\mathrm{mm}$, $k_0 = 0{,}1366\ \mathrm{m}^{-1}$, $\omega_0 = 8{,}976\ \mathrm{s}^{-1}$.

g) Die Schnelle ergibt sich aus $v(x,t) = \dfrac{\partial y}{\partial t} = \hat{y}\omega_0 \sin(k_0 x)\cdot\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$. Der Maximalwert, also die Schnellenamplitude beträgt $\hat{v} = \hat{y}\omega_0 \sin(k_0 x)$. Sie wird maximal für $x = 11{,}5$ m, also in der Mitte des Schwingungsbachs und beträgt $\hat{v}_{\max} = \hat{y}\omega_0 = 0{,}18\ \mathrm{m/s}$.

**Aufgabe 3: Diode**

a) Diffusionsspannung $U_\mathrm{d} = \dfrac{kT}{e}\ln\dfrac{n_\mathrm{D} n_\mathrm{A}}{\mathrm{n}_\mathrm{i}^2} = U_\mathrm{T}\ln\dfrac{n_\mathrm{D} n_\mathrm{A}}{\mathrm{n}_\mathrm{i}^2} = 0{,}338\ \mathrm{V}$.

b) Sperrsättigungsstrom $I_\mathrm{S} = A\,e\left(n_\mathrm{p0}\dfrac{D_\mathrm{n}}{L_\mathrm{n}} + p_\mathrm{n0}\dfrac{D_\mathrm{p}}{L_\mathrm{p}}\right)$.

Die Minoritätendichten betragen

$n_\mathrm{p0} = \dfrac{n_\mathrm{i}^2}{n_\mathrm{A}} = 1{,}086\cdot 10^{12}\ \mathrm{cm}^{-3}$ und $p_\mathrm{n0} = \dfrac{n_\mathrm{i}^2}{n_\mathrm{D}} = 1{,}086\cdot 10^{9}\ \mathrm{cm}^{-3}$.

Damit folgt $I_\mathrm{S} = 696$ nA.

c) Shockley-Gleichung: $I = I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{eU/kT} - 1\right) = I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{U/U_\mathrm{T}} - 1\right) = 74{,}7\ \mathrm{mA}$.

Rechnet man mit $I_\mathrm{S} = 1\ \mu\mathrm{A}$, so ergibt sich $I = 107$ mA.

**Aufgabe 4: Statistik**

a) Arithmetisches Mittel $\overline{n} = 4{,}404\cdot 10^{17}\ \mathrm{cm}^{-3}$.

b) Standardabweichung des Messverfahrens $s_n = 0{,}5395\cdot 10^{17}\ \mathrm{cm}^{-3}$.

c) Standardabweichung des Mittelwerts $\Delta\overline{n} = s_n/\sqrt{5} = 0{,}2413\cdot 10^{17}\ \mathrm{cm}^{-3}$.

Damit lautet das Ergebnis $n = (4{,}40 \pm 0{,}24)\cdot 10^{17}\ \mathrm{cm}^{-3}$ und $\dfrac{\Delta\overline{n}}{\overline{n}} = 0{,}0548 \approx 5{,}5\,\%$.

d) Die mittlere Löcherkonzentration beträgt $\overline{p} = \dfrac{n_\mathrm{i}^2}{\overline{n}} = 1{,}233\cdot 10^{9}\ \mathrm{cm}^{-3}$.

Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz gilt $\dfrac{\Delta\overline{p}}{\overline{p}} = 2\dfrac{\Delta\overline{n}_\mathrm{i}}{\overline{n}} + \dfrac{\Delta\overline{n}}{\overline{n}} = 0{,}0806$. Damit wird die Löcherkonzentration $p = (1{,}233 \pm 0{,}099)\cdot 10^{9}\ \mathrm{cm}^{-3} \approx (1{,}23 \pm 0{,}10)\cdot 10^{9}\ \mathrm{cm}^{-3}$.