# B1 Glühlampe

a)

| $U$ [V] | $I$ [mA] | $R$ [Ω] | $P$ [W] |
|---|---|---|---|
| 20 | 290 | 69 | 6 |
| 30 | 355 | 85 | 11 |
| 40 | 410 | 98 | 16 |
| 50 | 470 | 106 | 24 |
| 60 | 510 | 115 | 31 |
| 70 | 565 | 124 | 40 |
| 80 | 600 | 133 | 48 |
| 90 | 640 | 141 | 55 |
| 100 | 675 | 148 | 68 |
| 110 | 715 | 154 | 79 |
| 120 | 750 (1) | 160 (1) | 90 (1) |

Widerstand steigt mit zunehmender Spannung
Wenn die Stromstärke steigt, wird mehr Joule'sche Wärme im Glühdraht freigesetzt (1) -> Temperatur steigt -> Widerstand nimmt zu. (1) 10'

b) $R(I) = R_0 + \beta \cdot I$

lineare Regression: $R_0 = 15{,}0\ \Omega$ (1), $\beta = 195{,}6\ \Omega/\text{A}$ (1)

Korrelationskoeffizient $R^2 = 0{,}9965$ (1)

-> relativ gute Übereinstimmung 5'

c) $U(I) = R(I) \cdot I = R_0 \cdot I + \beta \cdot I^2$ (1)

$P(I) = R(I) \cdot I^2 = R_0 \cdot I^2 + \beta \cdot I^3$ (1)

$U(600\,\text{mA}) = 15\,\Omega \cdot 0{,}6\,\text{A} + 195{,}6\ \Omega/\text{A} \cdot (0{,}6\,\text{A})^2 = \underline{79\,\text{V}}$ (1)

(Tabelle: 80 V) ✓

$P(1\,\text{A}) = 15\,\Omega \cdot (1\,\text{A})^2 + 195{,}6 \cdot (1\,\text{A})^3 = \underline{211\,\text{W}}$ (1) 2'

d) $U_{Tot} = U_G + U_{RV} = R_0 \cdot I + \beta \cdot I^2 + R_V \cdot I$ (1)

$\beta I^2 + (R_0 + R_V)\, I - U_{Tot} = 0$

$\rightarrow I = \dfrac{-(R_0+R_V) \pm \sqrt{(R_0+R_V)^2 + 4 \cdot \beta\, U_{Tot}}}{2\beta}$ (1) $= \dfrac{-115\,\Omega \pm \sqrt{(115\,\Omega)^2 + 195{,}6\,\Omega/\text{A} \cdot 480\,\text{V}}}{-195{,}6\,\Omega/\text{A}}$

$= \underline{0{,}54\,\text{A}}$ (1) (negative Lösung unsinnig)

graphisch: $U_{Tot} = U_G + U_{RV}$

=> Messreihe für Vorwiderstand $I_V = \dfrac{U_{RV}}{R_V} = \dfrac{U_{Tot} - U_G}{R_V}$ 3'

=> fallende Gerade im Diagramm

stationär: Strom durch Glühlampe und Vorwiderstand

muss gleich groß sein => Schnittpunkt der Kennlinien

* b) $R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{R(T)/R_0 - 1}{\alpha} = \frac{154\,\Omega / 15\,\Omega - 1}{4{,}8 \cdot 10^{-3}\,K^{-1}} = 1'931\,K$$

$$\Rightarrow \vartheta = \underline{1950\,°C}$$

2'

B2 Swiss Light Source

a) E-Feld: Kraft parallel zu Feldlinien → Beschleunigung (1)
Richtung: parallel zur Elektronenbahn (1)

B-Feld: Kraft senkrecht zur Bewegungsrichtung
→ keine Zunahme der kinetischen Energie, (1)
sondern nur Ablenkung
Richtung: senkrecht auf Bahnebene (1)

b)
$$E = E_0 + E_{kin} = \gamma \cdot E_0 \quad (1)$$
$$\Rightarrow \gamma = 1 + \frac{E_{kin}}{E_0} \ (1) = 1 + \frac{100\ \text{MeV}}{0{,}511\ \text{MeV}} \ (1) = \underline{197}$$
$$\gamma' = 1 + \frac{2400\ \text{MeV}}{0{,}511\ \text{MeV}} = \underline{4'700} \quad (1)$$
$$c - v = c\cdot(1-\beta) = c\cdot\left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}\right) \quad (1)$$
$$\left(\cong \frac{c}{2\cdot\gamma^2}\right) = \underline{3'880\ \text{m/s}} \quad (\text{für } 100\ \text{MeV})$$
$$c - v' = \underline{6{,}8\ \text{m/s}} \quad (\text{für } 2{,}4\ \text{GeV}) \quad (1)$$

c)
$$E^2 = (p\cdot c)^2 + (m\cdot c^2)^2 \longrightarrow p = \frac{1}{c}\cdot\sqrt{E^2 - (m\cdot c^2)^2} \quad (1)$$
$$= \frac{1}{c}\cdot\sqrt{2'400^2 - 0{,}511^2}\ \text{MeV} \quad (1)$$
$$= \underline{2{,}4\ \text{GeV/c}} \quad (1)$$

$$q\cdot v\, B = \gamma\cdot m\cdot\frac{v^2}{r} \quad (1)$$
$$\longrightarrow B = \frac{\gamma\cdot m\cdot v}{q\cdot r} = \frac{p}{q\cdot r} \ (1) = \frac{2{,}4\ \text{GeV}}{e\cdot 20\text{m}\cdot c} = \underline{0{,}4\ \text{T}} \quad (1)$$

d) $E_\gamma = h \cdot f_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$ (1) $\Rightarrow \quad \lambda_0 = \frac{h \cdot c}{E_\gamma}$ (1) $= \frac{h \cdot c}{12\,\mathrm{keV}\; e}$

$= \underline{1{,}03 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{m}}$ (1)

Wellenlänge liegt in der Grössenordnung von Kristallgitter-abständen (1) → geeignet zur Kristallstrukturanalyse mit (Röntgen-) Beugung. (1)

~~e~~ Gangunterschied $\Delta s = 2 \cdot d \cdot \sin\beta$ (1)

konstruktive Überlagerung für $\Delta s = n \cdot \lambda$ (1)

$$\Rightarrow \sin\beta = \frac{n \cdot \lambda}{2d} \quad (1)$$

$$\beta = \arcsin \frac{n\lambda}{2d} = 5{,}5^\circ,\ 11{,}0^\circ,\ 16{,}7^\circ,\ \ldots \quad (1)$$

7'

## 54 Ladungen und Felder

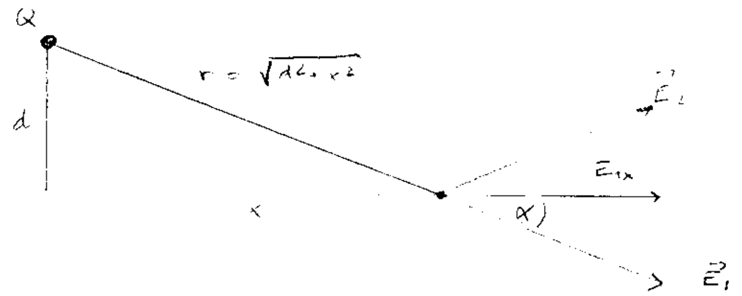
a) $E(0) = 0$ (1) ( Feldstärken der beiden Ladungen heben sich auf )

Vektoren parallel zur x-Achse, vom Ursprung weg (1)
(Symmetrie)

$E(r) \cong \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{2Q}{r^2}$ (1) für $r >> d$ ( Feld einer Punktladung $2Q$ ) (1)

3'

b)




$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\cdot\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2+x^2} \quad (1)$$

$$E_{1x} = E_1 \cdot \cos\alpha = E_1 \frac{x}{r} \,(1) = \frac{1}{4\pi\cdot\varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2+x^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{d^2+x^2}}$$

$$\rightarrow E(x) = 2\, E_{1x} \,(1) = \frac{1}{2\pi\cdot\varepsilon_0} \cdot \frac{Q\, x}{(d^2+x^2)^{3/2}} \qquad \square$$

$E(0) = 0$ ✓ (1/2)

Richtung : $E(x) > 0$ für $x > 0$ , $E(x) < 0$ für $x < 0$ ✓ (1/2)

$$E(r) \cong \frac{1}{2\pi\,\varepsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot \cancel{r}}{(r^2)^{3/2}} = \frac{1}{4\pi\cdot\varepsilon_0} \cdot \frac{2Q}{r^2} \quad ✓ \,(1)$$

5'

c) Maximum / Minimum für $E'(x) = 0$ (1)

$$E'(x) = \frac{Q}{2\pi\cdot\varepsilon_0} \cdot \left( \frac{1}{(x^2+d^2)^{3/2}} - \frac{3}{2} \frac{x \cdot 2x}{(x^2+d^2)^{5/2}} \right)$$

$$= \frac{Q}{2\pi\cdot\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{(x^2+d^2)^{5/2}} \cdot \left( x^2 + d^2 - 3\cdot x^2 \right) \quad (1)$$

$$E'(x) = 0 \iff d^2 = 2\cdot x^2 \rightarrow x = \pm \frac{d}{\sqrt{2}} \,(1) = \underline{3{,}54\,\text{cm}} \,(1)$$

$$E\left(\frac{d}{\sqrt{2}}\right) = \frac{Q}{2\pi\cdot\varepsilon_0} \cdot \frac{d/\sqrt{2}}{(d^2/2 + d^2)^{3/2}} = \frac{Q}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot d^2} \cdot \frac{1}{(3/2)^{3/2} \cdot 2^{1/2}}$$

$$= \frac{2}{\sqrt{27}} \cdot \frac{Q}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot d^2} = \underline{55{,}3\ \text{kV/m}} \quad (1)$$

7'

d) $E'(0) = \frac{Q}{2\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{d^2}{d^5} = \frac{Q}{2\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{d^3}$ (1) (vgl. c))

$$\left(= 2{,}88 \; MV/m^2\right)$$

$E(x) \cong E'(0) \cdot x$ (1) $\Rightarrow F(x) = -e \; E(x) \cong -e \cdot E'(0) \cdot x$ (1)

$\ddot{x} = \frac{F(x)}{m_e} \cong - \frac{e \; E'(0)}{m_e} \cdot x = -\omega^2 \cdot x$ (1)

$\rightarrow$ harmonische Schwingung mit $\omega = \sqrt{\frac{e \cdot E'(0)}{m_e}}$ (1)

$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{e \cdot Q}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot d^3 \cdot m_e}}$ (1) $= \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{e \cdot 20 \cdot 10^{-3} C}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \, (0{,}05m)^3 \, m_e}}$

$= \underline{113 \; MHz}$ (1) 6

e) $\varphi(0) = 2 \cdot \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{d}$ (1) $= 2 \; \frac{20 \cdot 10^{-3} C}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot 0{,}05m} = \underline{7{,}19 \; kV}$ (1)

$\varphi(\infty) = 0$

$\rightarrow U_{0 \rightarrow \infty} = \varphi(0) - \varphi(\infty)$ (1) $= \underline{7{,}19 \; kV}$

$W = e \cdot U = \underline{7{,}19 \; keV} = \underline{1{,}15 \cdot 10^{-15} J}$ (1)

$e \; U = \frac{1}{2} \, m_p \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \; e \; U}{m_p}}$ (1) $= \sqrt{\frac{2 \cdot 7{,}19 \, keV}{939 \; MeV/c^2}}$

$= \underline{1{,}17 \cdot 10^6 \; m/s}$ (1)

27