Institut für Experimentelle Kernphysik

Übungen zur Physik II (Elektrodynamik) SS 2003

Prof. Dr. T. Müller
Dr. F. Hartmann **Blatt 6** Bearbeitung: 11.6.2003

---

1. Elektrisches Tischtennis Lösung

(a) B1 bewegt sich auf die negative Platte I zu und berührt diese schließlich ⇒ negative Aufladung von B2; Elektrode 1 leuchtet auf. B2 bewegt sich auf die positive Platte II zu und berührt diese schließlich. Der Elektronenmangel von II überträgt sich auf B2 ⇒ positive Aufladung von B2; Elektrode 3 leuchtet auf. In einer anderen Betrachtungsweise - die zu äquivalenten Ergebnissen führt - könnte man sagen: Die positiven Ladungen der Platte II fließen auf den Ball 2.

(b) B1 (negativ) wird von Platte I (negativ) ebenso abgestossen wie B2 (positiv) von Platte II (positiv) ⇒ B1 geht zu Platte II, wird dabei positiv und B2 geht zur Platte I und wird dabei negativ. Die Folge ist ein ständiges Hin- und Herpendeln der Bälle.

2. Disskussionsaufgabe: Mamma warum geht das Licht so schnell an?

Wenn ein Lichschalter betätigt wird geht das Licht *"instantan"* an!!! Zur Auswahl:

1. die Elektronen bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit!
   Quatsch:
   Driftgeschwindigkeit: $\vec{v}_D = \frac{\vec{j}}{\varrho_{el}}$ der Elektronen ist wesentlich kleiner als c
2. Die Elektronen bewegen sich zwar wesentlich langsamer, als c, aber erreichen die Lampe innerhalb unseres Reaktionsvermögen
   Das stimmt zwar prinzipiell auch, aber, um die Lampe zum Leuchten zu bringen muss ja nicht das erste Elektron in der Leitung (beim Schalter) die Lampe erreichen.
3. das elektrische Feld breitet sich längs des Leiters mit Lichtgeschwindigkeit aus:
   JA: Die Elektronen in einem Leiter sind offensichtlich viel langsamer als die Informations-Transportgeschwindigkeit. Tatsächlich breitet sich das elektrische Feld mit Lichtgeschwindigkeit aus und erreicht somit sofort (im Rahmen des Betrachters) die Glühbirne. Dort, wie überall sonst, bewegen sich dann die bereits vorhandenen Elektronen langsam durch den Glühdraht.

4. <u>σ – Tensor 2. Stufe</u>

Beispiele für Tensoren:

Arbeit	W:	Skalar:	Tensor 0.Stufe
Elekrisches Feld	$\vec{E}$:	Vektor:	Tensor 1. Stufe
Elektrische Leitfähigkeit:	σ_{el}	Matrix:	Tensor 2. Stufe
Total antisymmetrischer Tensor:	ϵ_{jkl}:	0 $j = k \bigwedge j = l \bigwedge k = l$ 1 *gerade Permutation* 2 *ungerade Permutation*	Tensor 3. Stufe

Ohmsches Gesetz differentiell: $\vec{j} = \sigma_{el}\vec{E}$
Ohmsches Gesetz integral: $U = R \cdot I$
(erinnert mich immer an den schweizer Kanton)

Zur eigentlichen Aufgabe:

5. Feldstärke $\vec{E}$ zeigt nur in x-Richtung (Näherung; $E_y = E_z = 0$), also ($E_x = \frac{U}{L}$)

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} 37.5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{V}{m}$$

Die Stromdichte ist dann:

$$\vec{j} = \begin{pmatrix} 2.5385 & 0.5500 & 0.2066 \\ 0.5500 & 2.3445 & -0.2462 \\ 0.2066 & -0.2462 & 1.1170 \end{pmatrix} \cdot 10^2 \frac{1}{\Omega m} \begin{pmatrix} 37.5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{V}{m} = \begin{pmatrix} 9519 \\ 2063 \\ 775 \end{pmatrix} \frac{A}{m^2} = \text{konst.}$$

Der Strom I durch die Querschnittsfläche A kommt nur vom j_x-Anteil, also:
$I = j_x \cdot A = 7.615A$.

(Anhang: Korrekte Rechnung: Als Ergebnis erhält man, dass ein Strom in x-, y- und z-Richtungen fließt. Das heißt, dass es zu Oberflächenladungen an den Stirnflächen der y- und z-Richtung kommen wird (kein Stromabfluss möglich). Dies führt zu einem Feld und somit ist die Annahme $E_y = E_z = 0$ prinzipiell falsch. Man muss vielmehr davon ausgehen, dass im stationären Fall (d.h. nach einem Einschaltvorgang, der die Stirnflächen der y- und z-Richtung auflädt) nur ein Strom in x-Richtung fließen wird. Der richtige Ansatz ist also: $j = (j_x; 0; 0)$. Mit der Gleichung: $J = \sigma \cdot E$ und $E = (U/L; E_y; E_z)$ erhält man ein LGS mit drei Gl. und 3 Unbekannten $(j_x, E_y, E_z$. Man erhält daraus: $E_y = -9.75 \cdot 10^2 V/m; E_z = 9.09 \cdot 10^2 V/m$ und damit $j_x = 7.036A$. D.h. j_x ist um ca. 7.6% kleiner als in obiger Lösung.)

6. <u>Silizium</u>

(a) τ
Es gilt $\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$ τ=Streuzeit;m=Ladungsträgermasse (hier $m_0 = 9.11 \cdot 10^{-31} kg$)

$$\Rightarrow \tau = \frac{m\sigma}{ne^2} = \frac{9.11 \cdot 10^{-31} kg \cdot 2.4 \cdot 10^4 \Omega^{-1} m^{-1}}{10^{24} m^{-3} \cdot (1.602 \cdot 10^{-19} As)^2} = 8.52 \cdot 10^{-13} s = 852 fs$$

(b) Wie weit fliegt das Elektron?

$$E_{KIN} = E_{therm} = \frac{1}{2} m v_{th}^2 = \frac{3}{2} k_B T$$

$$\Rightarrow v_{th} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-23} J/K \cdot 300K}{9.11} \cdot 10^{-31} kg} = 116762 \frac{m}{s}$$

$\Rightarrow$ Flugstrecke: $x_{FLUG} = v_{th} \cdot \tau = 9.95 \cdot 10^{-8} m = 99.5 nm$
Das entspricht dem 423fachen des Atomabstandes von 0.235nm in Si.

(c)

$$v_D = \frac{\sigma}{\varrho_{LT}} E = \frac{\sigma}{ne} E = \frac{2.4 \cdot 10^4 \Omega^{-1} m^{-1} \cdot 100 V/m}{10^{24} m^{-3} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}} = 14.98 \frac{m}{s} \approx 15 \frac{m}{s}$$

(d) Kupfer, Platin

$$v_D(Cu) = \frac{\sigma}{\varrho_{LT}} E = \frac{\sigma}{ne} E = \frac{5.8 \cdot 10^4 \Omega^{-1} m^{-1} \cdot 100 V/m}{1.1 \cdot 10^{29} m^{-3} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}} = 0.33 \frac{m}{s}$$

$$v_D(Pt) = \frac{\sigma}{\varrho_{LT}} E = \frac{\sigma}{ne} E = \frac{9.3 \cdot 10^4 \Omega^{-1} m^{-1} \cdot 100 V/m}{2.9 \cdot 10^{29} m^{-3} \cdot 1.602 \cdot 10^{-19}}$$

Übungsleiter: Frank Hartmann, IEKP, Forschungszentrum Karlsruhe,
Tel.: 07247 82 6330; Labor
Tel.: 07247 82 4173; Büro
Email: Frank.Hartmann@cern.ch
www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/∼hartmann/edyn.html