

Formelsammlung (Gauss-Einheiten)

Maxwellgleichungen im Vakuum:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi \rho & \nabla \times \vec{E} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= 0 \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 & \nabla \times \vec{B} - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} &= \frac{4\pi}{c} \vec{j}\end{aligned}$$

Lorentzkraft: $\vec{F} = q \left(\vec{E} + \frac{\vec{v}}{c} \times \vec{B} \right)$.

Lorentzkraftdichte: $\vec{f} = \rho \vec{E} + \frac{1}{c} \vec{j} \times \vec{B}$.

Coulomb-Gesetz: $\vec{F} = q_1 q_2 \frac{\vec{x}_1 - \vec{x}_2}{|\vec{x}_1 - \vec{x}_2|^3}$.

Potentiale: $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$, $\vec{E} = -\nabla \Phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$.

Eichtransformation: $\vec{A} \rightarrow \vec{A} + \nabla \Lambda$, $\Phi \rightarrow \Phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \Lambda}{\partial t}$.

Elektrostatik: $\Phi(\vec{x}) = \int d^3x' \frac{\rho(\vec{x}')}{|\vec{x} - \vec{x}'|}$

Sphärische Multipolmomente:

$$\Phi(r, \theta, \phi) = \sum_{l,m} \frac{4\pi}{2l+1} \frac{q_{lm}}{r^{l+1}} Y_{lm}(\theta, \phi)$$

$$q_{lm} = \int dr d\theta d\phi r^2 \sin \theta \rho(r, \theta, \phi) r^l Y_{lm}^*(\theta, \phi)$$

Magnetostatik: $\vec{B}(\vec{x}) = \frac{1}{c} \int d^3x' \vec{j}(\vec{x}') \times \frac{\vec{x} - \vec{x}'}{|\vec{x} - \vec{x}'|^3}$,

$$\vec{A}(\vec{x}) = \frac{1}{c} \int d^3x' \frac{\vec{j}(\vec{x}')}{|\vec{x} - \vec{x}'|}$$

Ampèresches Gesetz: $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} I$

Faraday: $\oint_{\partial S} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{1}{c} \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$

Maxwellscher Spannungstensor (Vakuum):

$$T_{\alpha\beta} = \frac{1}{4\pi} \left[E_\alpha E_\beta + B_\alpha B_\beta - \frac{1}{2} (\vec{E}^2 + \vec{B}^2) \delta_{\alpha\beta} \right]$$

Maxwellgleichungen in Materie:

$$\nabla \cdot \vec{D} = 4\pi \rho \quad \nabla \times \vec{E} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad \nabla \times \vec{H} - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \frac{4\pi}{c} \vec{j}$$

Isotrope Medien: $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$, $\vec{B} = \mu \vec{H}$.

Energiedichte: $u = \frac{1}{8\pi} (\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{B} \cdot \vec{H})$.

Poyntingvektor: $\vec{S} = \frac{c}{4\pi} \vec{E} \times \vec{H}$.

Gradient in Kugelkoordinaten:

$$\nabla \psi = \frac{\partial \psi}{\partial r} \vec{e}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \vec{e}_\theta + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \psi}{\partial \phi} \vec{e}_\phi$$

Laplaceoperator in Kugelkoordinaten:

$$\Delta \psi = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2}$$

Vektorformeln:

$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = (\vec{a} \cdot \vec{c}) \vec{b} - (\vec{a} \cdot \vec{b}) \vec{c}$$

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{a}) = \nabla(\nabla \cdot \vec{a}) - \Delta \vec{a}$$

Epsilon-Symbol:

$$\sum_{i=1}^3 \epsilon_{ijk} \epsilon_{ilm} = \delta_{jl} \delta_{km} - \delta_{jm} \delta_{kl}$$

Kugelflächenfunktionen:

$$Y_{lm}(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{(2l+1)(l-m)!}{4\pi(l+m)!}} P_l^m(\cos \theta) e^{im\phi}$$

$$P_l^m(x) = (-1)^m (1-x^2)^{m/2} \frac{d^m}{dx^m} P_l(x) \quad (m > 0)$$

$$P_l^{-m}(x) = (-1)^m \frac{(l-m)!}{(l+m)!} P_l^m(x)$$

$$P_l(-x) = (-1)^l P_l(x)$$

$$\int d\phi d\theta \sin \theta Y_{l'm'}^*(\theta, \phi) Y_{lm}(\theta, \phi) = \delta_{ll'} \delta_{mm'}$$

Minkowski-Metrik: $\eta^{\mu\nu} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$.

Boost in x-Richtung:

$$ct' = \gamma(ct - \beta x), \quad x' = \gamma(x - \beta ct), \quad y' = y, \quad z' = z,$$

mit $\beta = v/c$ und $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$.

Feldstärketensor: $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$, $(A^\mu) = (\Phi, \vec{A})$.

$$F_{0k} = E_k, \quad F_{ij} = -\epsilon_{ijk} B_k,$$

wobei $\vec{E} = (E_1, E_2, E_3)$, $\vec{B} = (B_1, B_2, B_3)$.

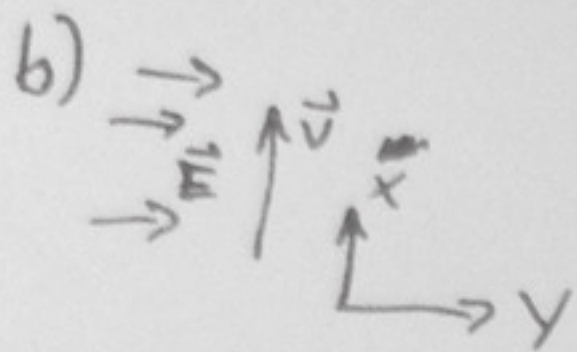
Dualer Feldstärketensor: $\tilde{F}^{\mu\nu} = \frac{1}{2} \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} F_{\rho\sigma}$.
 $\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma}$ ist total antisymmetrisch mit $\epsilon^{0123} = +1$.

Viererstrom: $(J^\mu) = (c\rho, \vec{j})$.

Maxwellgleichungen in kovarianter Form:

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} = \frac{4\pi}{c} J^\nu, \quad \partial_\mu \tilde{F}^{\mu\nu} = 0.$$

Die Koordinatensysteme sind gleichberechtigt $\rightarrow$ Voraussicht $= -v_{\text{Erde}}$
 $L' = 1 - v_{\text{Erde}}$ $T' = 1 - v \frac{T}{\gamma} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{T}{\gamma} = \frac{L}{\gamma}$ $\rightarrow$ Die zurückgelegte Strecke erscheint kürzer
 V (2P)



~~Lorentztransf.~~ $L = \begin{pmatrix} \gamma & -\beta\gamma & 0 & 0 \\ -\beta\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

~~$F = \begin{pmatrix} 0 & -E_1 & E_2 & -E_3 \\ E_1 & 0 & +B_2 & -B_3 \\ E_2 & -B_2 & 0 & +B_3 \\ E_3 & +B_3 & -B_3 & 0 \end{pmatrix}$~~

1, 2, 3

$\vec{E} = E \cdot \vec{e}_y$ o.B.d.A.

$F'_{\mu\nu} = L_{\mu\alpha} L_{\nu\beta} F^{\alpha\beta} = L_{\mu\alpha} L_{\nu\beta} \eta_{\beta\sigma} \eta_{\alpha\delta} F^{\delta\sigma}$ V

$\Rightarrow F'_{\mu\nu} = L_{\mu\alpha} \eta_{\alpha\delta} F^{\delta\sigma} \eta_{\sigma\beta} L_{\beta\nu}$

$\Rightarrow F' = L \cdot \eta \cdot F \cdot \eta \cdot L$

$= L \cdot \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & -1 & \\ & & & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -E_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ E_y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & -1 & \\ & & & -1 \end{pmatrix} \cdot L$

$= \begin{pmatrix} \gamma & -\beta\gamma & 0 & 0 \\ -\beta\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -E_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ E_y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma & -\beta\gamma & 0 & 0 \\ -\beta\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

$= \begin{pmatrix} \gamma & -\beta\gamma & 0 & 0 \\ -\beta\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -E_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \gamma E_y & -\beta\gamma E_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\gamma E_y & 0 \\ 0 & 0 & +\beta\gamma E_y & 0 \\ \gamma E_y & -\beta\gamma E_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

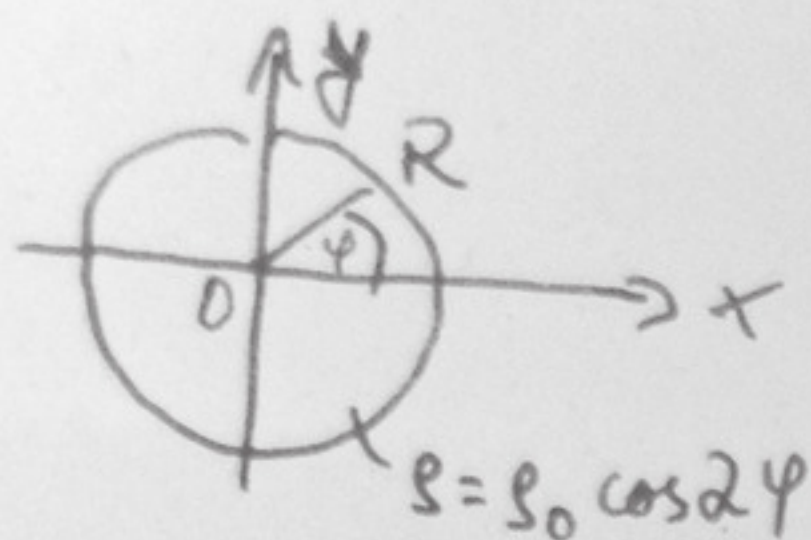
$\Rightarrow$ Koeff-Vgl: $\vec{E}' = \gamma \vec{E}$ $\checkmark$

$\vec{B}' = -\beta\gamma E_y \cdot \vec{e}_z$ $\checkmark$ für $\vec{E} = E \cdot \vec{e}_y$

(4P)

(6P) III.

K3] Hendrik



$$\begin{aligned}
 a) \quad Q &= \int d^3x' \rho(x') = \int_{r=0}^R \int_{\varphi=0}^{2\pi} \rho_0 \cos 2\varphi \cdot r dr d\varphi \\
 &= \frac{R^2}{2} \rho_0 \cdot \int_0^{2\pi} \cos 2\varphi d\varphi = \underline{\underline{0}} \\
 &\quad \text{Integration über volle 2 Perioden}
 \end{aligned}$$

$$b) \quad \vec{p} = \int \vec{x}' \rho(\vec{x}') d^3x' = \int_{r=0}^R \int_{\varphi=0}^{2\pi} \begin{pmatrix} r \cos \varphi \\ r \sin \varphi \\ 0 \end{pmatrix} \rho_0 \cos 2\varphi r dr d\varphi$$

$$= \rho_0 \frac{R^3}{3} \cdot \int_0^{2\pi} \begin{pmatrix} \frac{1}{2} (e^{i\varphi} + e^{-i\varphi}) \\ \frac{1}{2i} (e^{i\varphi} - e^{-i\varphi}) \\ 0 \end{pmatrix} \frac{1}{2} (e^{2i\varphi} + e^{-2i\varphi}) d\varphi$$

$$= \rho_0 \frac{R^3}{3 \cdot 4} \int_0^{2\pi} \begin{pmatrix} e^{3i\varphi} + e^{-i\varphi} + e^{+i\varphi} + e^{-3i\varphi} \\ \frac{1}{i} (e^{3i\varphi} + e^{-i\varphi} - e^{i\varphi} - e^{-3i\varphi}) \\ 0 \end{pmatrix} d\varphi$$

$= 0$ sh. Aufgabenblatt

$$\Rightarrow \vec{p} = \underline{\underline{0}}$$

(z -Komponente ist sowieso 0, da die Scheibe in der $x-y$ -Ebene liegt.)

$$c) Q_{ij} = \int d^3x \rho(\vec{x}) (3x_i x_j - |\vec{x}|^2 \delta_{ij})$$

$$Q_{11} = \int_{r=0}^R \int_{\varphi=0}^{2\pi} \rho_0 \cos 2\varphi \cdot (3r^2 \cos^2 \varphi - r^2) r dr d\varphi$$

$$= \frac{\rho_0 R^4}{4} \int_0^{2\pi} (3 \cos 2\varphi \cdot \cos^2 \varphi - \underbrace{\cos 2\varphi}_{=0}) d\varphi$$

$$= \frac{\rho_0 R^4}{4} 3 \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} (e^{i2\varphi} + e^{-i2\varphi}) \frac{1}{4} \cdot (e^{i\frac{2}{2}\varphi} + 2 + e^{-i\frac{2}{2}\varphi}) d\varphi$$

~~die Potenzen von $e^{i\varphi}$ und $e^{-i\varphi}$ bleiben
wobei $\int_0^{2\pi} e^{i\varphi} d\varphi = 0$~~

$$Q_{22} = \int_{r=0}^R \int_{\varphi=0}^{2\pi} \rho_0 \cos 2\varphi (3r^2 \sin^2 \varphi - r^2) r dr d\varphi$$

$$Q_{11} = \frac{\rho_0 R^4 \cdot 3}{4 \cdot 4 \cdot 2} \int_0^{2\pi} (e^{i4\varphi} + 2e^{i2\varphi} + 1 + 1 + 2e^{-i2\varphi} + e^{-i4\varphi}) d\varphi$$

$$= \frac{\rho_0 R^4 3}{4 \cdot 2} \pi = \frac{3 \rho_0 R}{8} \pi$$

$$Q_{22} = \int_{r=0}^R \int_{\varphi=0}^{2\pi} \rho_0 \cos 2\varphi (3r^2 \sin^2 \varphi - r^2) r dr d\varphi$$

$$= \frac{R^4}{4} \cdot \rho_0 \cdot \int_0^{2\pi} (3 \sin^2 \varphi \cdot \cos 2\varphi - \underbrace{\cos 2\varphi}_{=0}) d\varphi$$

$$= \frac{3}{4} R^4 \rho_0 \left(\int_0^{2\pi} \sin^2 \varphi \cos \varphi d\varphi \right)$$

symmetrisch um $\varphi = \pi$ → antisymmetrisch um $\varphi = \pi$

$$\Rightarrow \underline{\underline{Q_{22} = 0}} - \frac{3 \rho_0 R}{8} \pi$$

weiter mit k_2

$$Q_{12} = \int_0^R \int_0^{2\pi} \rho_0 \cos(2\varphi) \cdot 3r^2 \sin\varphi \cos\varphi r dr d\varphi$$

$$= \frac{3\rho_0 R^4}{4} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} (e^{i\varphi} + e^{-i\varphi}) \frac{1}{2i} (e^{i\varphi} - e^{-i\varphi}) \frac{1}{2} (e^{i\varphi} + e^{-i\varphi}) d\varphi$$

$$= \frac{3\rho_0 R^4}{8 \cdot 4i} \int_0^{2\pi} (e^{2i\varphi} + e^{-2i\varphi}) (e^{2i\varphi} + 1 - 1 - e^{-2i\varphi}) d\varphi$$

$$= \frac{3\rho_0 R^4}{8 \cdot 4i} \int_0^{2\pi} \underbrace{(e^{4i\varphi} - e^{-4i\varphi})}_{=0} d\varphi$$

$$Q_{21} = \int_0^R \int_0^{2\pi} \rho_0 \cos(2\varphi) 3r^2 \cos\varphi \sin\varphi r dr d\varphi$$

$$= 0 \quad \text{vgl. } Q_{12}$$

Die restlichen Komponenten von Q_{ij} sind sowieso 0, da sich die Scheibe ausschließlich in der x - y -Ebene befindet.

$$a) \quad \phi = \left(\underbrace{\frac{Q}{r}}_{\substack{=0 \\ \text{ans a)}}} + \underbrace{\frac{\vec{P} \cdot \vec{x}}{r^3}}_{\substack{=0 \\ \text{ans b)}}} + \underbrace{\frac{1}{2} \sum_{ij} Q_{ij} \frac{x_i x_j}{r^5}}_{\neq 0 \text{ ans c)}} + \dots \right)$$

$$\vec{E} = -\text{grad } \phi$$

$\Rightarrow \vec{E}$ fällt mit d^4 für $d \gg R$ ab.

2...

K 1] ~~kein~~ Hendrik

- a) falsch, Testteilchen können Anfangsimpuls haben
- b) falsch, beide Geschw. sind c im Vakuum ✓
- c) falsch, eine gedachte Kugel um einen Dipol macht da keinen Monopol draus ✓

d) $(\vec{E}_1, \vec{B}_1) \rightarrow (\rho_1, \vec{j}_1)$ lösen Maxwellgl.
 $(\vec{E}_2, \vec{B}_2) \rightarrow (\rho_2, \vec{j}_2)$

Maxwellgleichungen sind linear

$$\Rightarrow (\vec{E}_1 - \vec{E}_2, \vec{B}_1 - \vec{B}_2) \rightarrow (\rho_1 - \rho_2, \vec{j}_1 - \vec{j}_2) \text{ löst auch die Maxwellgl.}$$

$\Rightarrow$ die Aussage ist wahr.

K2]

Hendrik

a) sei $\epsilon = \mu = 1$

$$\Rightarrow \operatorname{div} \vec{E} = 4\pi s$$

$$\Rightarrow \int_V \operatorname{div} \vec{E} dV \stackrel{\text{Gauss}}{=} \int_V 4\pi s dV \Rightarrow \int_{\partial V} \vec{E} d\vec{A} = 4\pi \int_V s dV \quad \checkmark$$

• Außerhalb:

$$\int_{\partial V} \vec{E} d\vec{A} = 4\pi \cdot Q, \quad \vec{E} \text{ ist radial symmetrisch}$$

$$\Rightarrow \vec{E} = \frac{4\pi}{4\pi r^2} \cdot Q \cdot \vec{e}_r = \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$$

wobei r der Abstand des Punktes zum Ursprung ist

• Innerhalb:

$$\int_{\partial V} \vec{E} d\vec{A} = 4\pi \cdot Q \cdot \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$\vec{E}$ ist radial symm.

Wie viel Prozent der Ladung von V eingeschlossen ist.

$$\Rightarrow \vec{E} = \frac{4\pi}{4\pi r^2} \cdot Q \cdot \frac{r^3}{R^3} \vec{e}_r = \frac{r}{R^3} Q \vec{e}_r \quad \checkmark$$

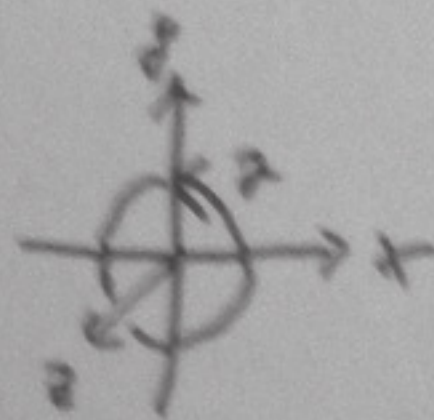
2P

b) Das Problem ist zylindersymmetrisch um die z -Achse.

→ Aus $\vec{B} = \frac{1}{c} \int d^3x' \vec{j}(\vec{x}') \times \frac{\vec{x} - \vec{x}'}{|\vec{x} - \vec{x}'|^3}$ folgt, dass $\vec{B}$ in Richtung von $\vec{e}_\varphi$ zeigt.

Ampère: $\oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{e} = \frac{4\pi}{c} I$

wobei γ :

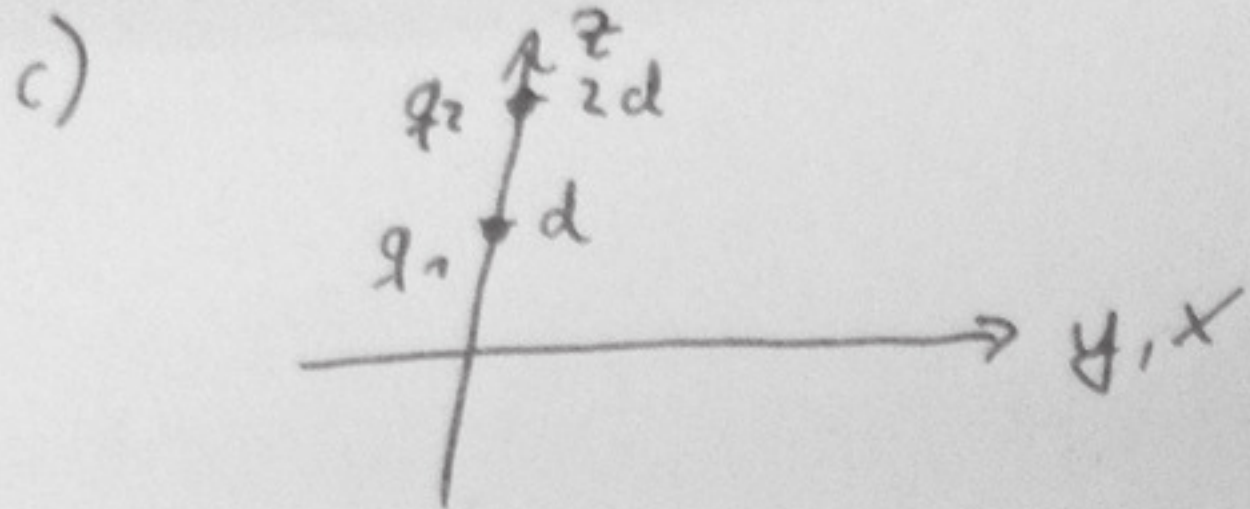


$$\oint_{\gamma} \vec{B} \cdot \vec{e}_\varphi \cdot \vec{e}_\varphi \cdot d\ell = \frac{4\pi}{c} I$$

$$\Rightarrow B = \frac{4\pi}{c} I \cdot \frac{1}{2\pi r}$$

2P

$$\Rightarrow \vec{B} = \frac{2}{c r} I \vec{e}_\varphi \quad \checkmark$$



$$\phi(x, y, 0) = 0 \quad \forall x, y$$

$\Rightarrow$ placiere 2 Spiegel Ladungen bei

$(0, 0, -d)$ mit $Q_3 = -q_1$

und $(0, 0, -2d)$ mit $Q_4 = -q_2$

$$\Rightarrow \phi = \frac{q_1}{|\vec{x} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ d \end{pmatrix}|} + \frac{q_2}{|\vec{x} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2d \end{pmatrix}|} + \frac{-q_1}{|\vec{x} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -d \end{pmatrix}|} + \frac{-q_2}{|\vec{x} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -2d \end{pmatrix}|} \quad \checkmark$$

$$= 0 \quad \forall x, y \text{ für } z=0$$

nenne $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ d \end{pmatrix} =: \vec{d}_1$ $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2d \end{pmatrix} =: \vec{d}_2$ $\checkmark$

$$\vec{E} = -\text{grad } \phi$$

$$\Rightarrow \vec{E} = q_1 \left(\frac{(\vec{x} - \vec{d}_1)}{|\vec{x} - \vec{d}_1|^3} - \frac{(\vec{x} + \vec{d}_1)}{|\vec{x} + \vec{d}_1|^3} \right) + q_2 \left(\frac{(\vec{x} - \vec{d}_2)}{|\vec{x} - \vec{d}_2|^3} - \frac{(\vec{x} + \vec{d}_2)}{|\vec{x} + \vec{d}_2|^3} \right)$$

~~Ex~~

k4 / Hendrik

a) $\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \cos(\omega t - \underbrace{kz}_{\text{für Ausbreitung in z-Richtung}}) \cdot \vec{e}_x$ ✓

$\text{div } \vec{E} = \cancel{\text{Berechnung}} = 0$ ✓

$$\text{rot } \vec{E} = \begin{pmatrix} \partial_x \\ \partial_y \\ \partial_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} E_0 \cos(\omega t - kz) = \begin{pmatrix} 0 \\ +\partial_z \\ -\partial_y \end{pmatrix} E_0 \cos(\omega t - kz)$$

$$= E_0 \cdot k \sin(\omega t - kz) \vec{e}_y \stackrel{!}{=} -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \underline{\vec{B} = +E_0 \frac{k \cdot c}{\omega} \cos(\omega t - kz) \vec{e}_y}$$

$$\text{rot } \vec{B} = \begin{pmatrix} \partial_x \\ \partial_y \\ \partial_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} (+E_0) \frac{k c}{\omega} \cos(\omega t - kz)$$

$$= \begin{pmatrix} -\partial_z \\ 0 \\ \partial_x \end{pmatrix} E_0 \frac{k c}{\omega} \cos(\omega t - kz) = -E_0 \frac{k c}{\omega} \cdot k \sin(\omega t - kz) \vec{e}_x \stackrel{!}{=} \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$= \omega E_0 \sin(\omega t - kz)$$

$\Rightarrow$ Koeff.-Vergleich

$$\frac{k^2 c}{\omega} = \frac{1}{c} \omega \Rightarrow \underline{k^2 c = \frac{\omega^2}{c^2}} \Rightarrow \frac{k^2 c^2}{\omega^2} = 1$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\vec{B} = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{e}_y}} \quad \checkmark$$

(2)

$$b) T_{\alpha\beta} = \frac{1}{4\pi} [E_\alpha E_\beta + B_\alpha B_\beta - \frac{1}{2} (\vec{E}^2 + \vec{B}^2) \delta_{\alpha\beta}]$$

$$T_{11} = \frac{1}{4\pi} (E_0^2 \cos^2(\omega t - kz) + 0 - \frac{1}{2} (E_0^2 \cos^2(\dots) + E_0^2 \cos^2(\dots)))$$

$$= 0 \quad \checkmark$$

$$T_{22} = \frac{1}{4\pi} (0 + E_0^2 \cos^2(\dots) - \frac{1}{2} (E_0^2 \cos^2(\dots) + E_0^2 \cos^2(\dots)))$$

$$= 0 \quad \checkmark$$

$$T_{33} = \frac{1}{4\pi} (0 + 0 - \frac{1}{2} (E_0^2 \cos^2(\dots) + E_0^2 \cos^2(\dots)))$$

$$= -\frac{1}{4\pi} E_0^2 \cos^2(\omega t - kz) \quad \checkmark$$

$$T_{12} = \frac{1}{4\pi} (0 + 0 + 0) = 0$$

restlich $T_{\alpha\beta}$ auch 0, da $E_\alpha E_\beta = 0$ für $\alpha \neq \beta$, genauso $B_\alpha B_\beta$. $\checkmark$

(2)

$$c) \left(\vec{F} \right)_\ell = \frac{d}{dt} (\vec{P}_{\text{mech}} + \vec{P}_{\text{feld}})_\ell = \int_{\partial V} d\vec{a} \cdot \vec{T}_{em} \quad \checkmark$$

$$= 0 \text{ für } \ell \neq 3$$

$$(\vec{F})_3 = \int_{\partial V} d\vec{a} \cdot \vec{T}_{em}$$

$$\stackrel{\downarrow}{=} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ da \end{pmatrix} \text{ unter und } \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ da \end{pmatrix} \text{ über der Platte}$$

$$\rightarrow (\vec{F})_3 = - \int_{\partial V} da \left(-\frac{1}{4\pi} E_0^2 \cos^2(\omega t - kz) \right)$$

$\hookrightarrow z=0$ auf der Platte

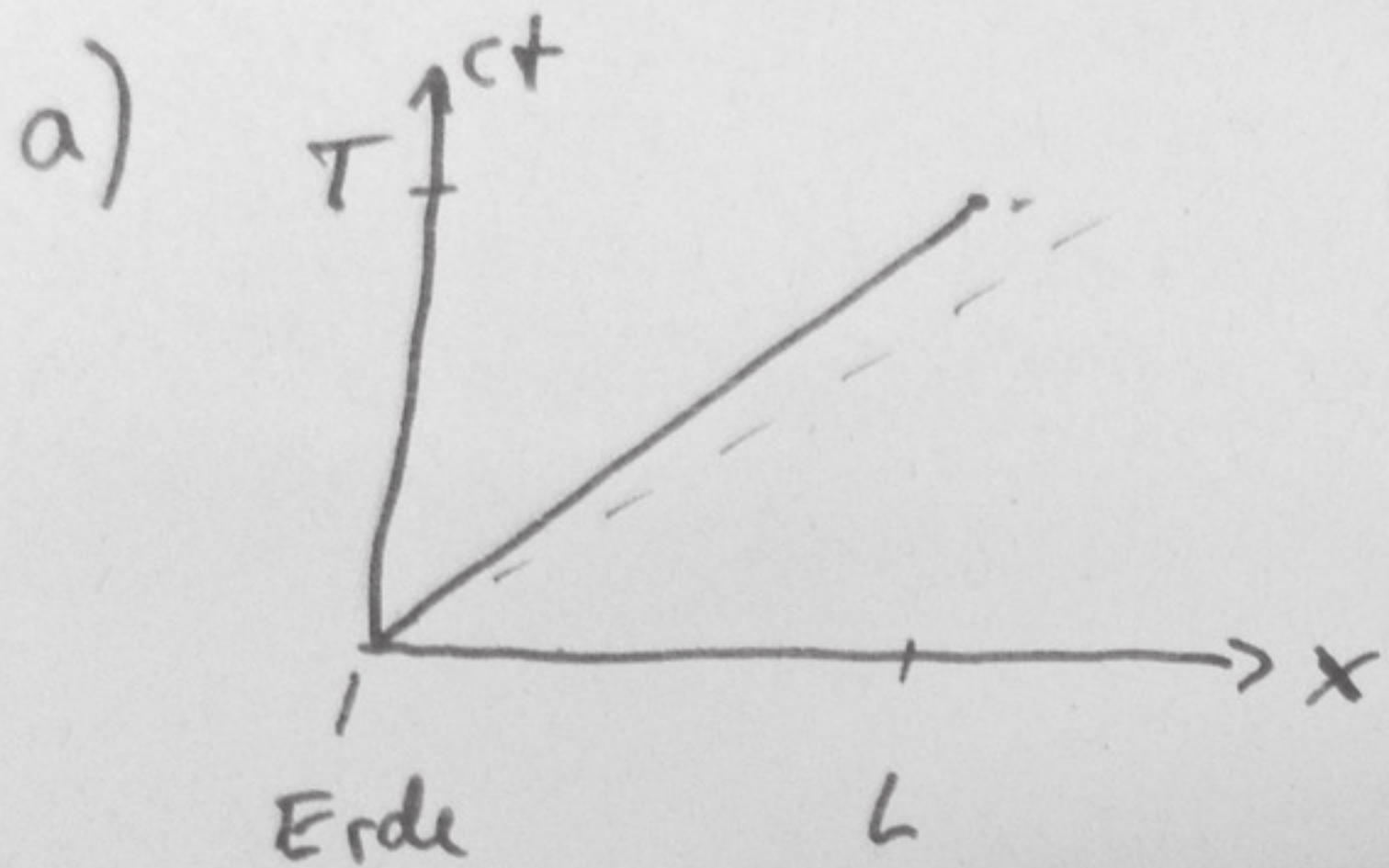
$$\Rightarrow |\vec{F}| = |(\vec{F})_3| = \int_{\partial V} da \left(+\frac{1}{4\pi} E_0^2 \cos^2(\omega t) \right) = f \cdot A$$

offersichtlich Kraft pro Fläche

$$\Rightarrow f = \frac{1}{4\pi} E_0^2 \cos^2(\omega t) \quad \checkmark$$

(2)

k5) Hendrik



$$s^2 = c^2 t^2 - x^2 = \text{const}$$

$$= c^2 T^2 - L^2$$

Erde: $\Delta t = T$
 $\Delta x = L$

Raum-schiff: Boost: $ct' = \gamma (ct - \beta x)$
 $x' = \gamma (x - \beta ct)$

Raumschiff startet bei $t=t'=0$, $x=x'=0$

$$\Rightarrow c t' = \gamma (c T - \beta \cdot L) \text{ bei Ankunft}$$

$$\Rightarrow t' = \gamma \left(T - \frac{B \cdot L}{c} \right) = \gamma T \left(1 - \frac{B}{c} \frac{L}{T} \right) = \gamma T (1 - \beta^2)$$

$= \frac{\Delta}{\sigma} \Rightarrow$ Zeit im Schiff erscheint kürzer

Für L bitte umblättern!