Etem Kalyon
Matthias Maile
Roman Surma

Physik II - Gruppe 2
Sommersemester 2020

1. Übungsblatt

Aufgabe 1

Aufgabe 2

(a) Das Gaußsche Gesetz besagt:

$$\int \vec{E}\ d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Da $\vec{E}$ unabhängig vom Ort auf der Fläche A ist und parallel zum Normalenvektor liegt, kann der Betrag von $\vec{E}$ aus dem Integral gezogen werden.
$\vec{E}$ und $\hat{n}$ zeigen jedoch in verschiedene Richtungen; $\hat{n}$ von der Erde weg, das elektrische Feld richtung Erde. Daher entsteht ein negatives Vorzeichen.
Die Flächenladungsdichte σ lautet somit:

$$\int \vec{E}\ d\vec{A} = -|\vec{E}| \int d\vec{A} = -|\vec{E}| * A = \frac{Q}{\epsilon_0}$$
$$\Rightarrow \sigma = \frac{Q}{A} = -E * \epsilon_0 \approx -1.33 * 10^{-9} \frac{Q}{m^2}$$

(b) Wenn man die Ladungsdichte σ aus (a) mit der Fläche A multipliziert erhält man die Gesamtladung:

$$Q_{Gesamt} = \sigma * A = -EA\epsilon_0 = -\epsilon_0 * E * 4\pi r_E^2 \approx -6.77 * 10^5 C$$

(c) Die Kraft die auf eine Kugel wirkt ist die Summe aus Gewichtskraft und Coulomkraft. Aus dem zweiten newtonschen Axiom folgt dann die Beschleunigung.

$$F_{Gesamt} = F_G + F_{Co} = mg + E * q_{Kugel} \Rightarrow a = g + \frac{E * q_{Kugel}}{m}$$

Aus der Formel für den freien Fall können wir die benötigten Zeiten für den Fall bestimmen:

$$\Delta h = \frac{1}{2} a * (\Delta t)^2$$
$$\Rightarrow \Delta t = \sqrt{\frac{2 * \Delta h}{a}}$$

$$\Delta t_{ungeladen} = \sqrt{\frac{2 * \Delta h}{g}} = \sqrt{\frac{2 * 2m}{10m/s^2}} \approx 0.6325s$$

$$\Delta t_{geladen} = \sqrt{\frac{2 * \Delta h}{g + \frac{E * q_{Kugel}}{m}}} = \sqrt{\frac{4m}{10m/s^2 + \frac{150N/C * 100\mu C}{0.1Kg}}} = \sqrt{\frac{4m}{10m/s^2 + 0.15m/s^2}} \approx 0.6278s$$

Die geladene Kugel erreicht die Erde ungefähr $0.0047s$ schneller als die Ungeladene.

Aufgabe 3

Die Coulomb- und die Gewichtskraft sind definiert als:

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad F_G = m * g$$

Wir definieren $q_3 = \frac{q_1+q_2}{2}$, die Ladung beider Kugeln nach dem Ladungsausgleich. Aus den trigonometrischen Identitäten folgt das Verhältniss von F_C und F_G:

$$\tan\theta = \frac{F_C}{F_G} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{mg \cdot r^2}$$

Für θ_2 lässt sich die das Verhältniss von q_1 und q_2 herleiten:

$$\begin{aligned}
\tan\theta_2 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_3^2}{mg \cdot r_2^2} \\
\Leftrightarrow q_3^2 &= \tan\theta_2 \cdot mgr_2^2 * 4\pi\epsilon_0 \\
\Leftrightarrow q_3 = \frac{q_1+q_2}{2} &= \sqrt{\tan\theta_2 \cdot mgr_2^2 * 4\pi\epsilon_0} \\
\Leftrightarrow q_1 &= \sqrt{\tan\theta_2 \cdot mgr_2^2 * 16\pi\epsilon_0} - q_2
\end{aligned}$$

Aus θ_1 folgt zuletzt:

$$\begin{aligned}
\tan\theta_1 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{mg \cdot r_1^2} \\
\tan\theta_1 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\left(\sqrt{\tan\theta_2 \cdot mgr_2^2 * 16\pi\epsilon_0} - q_2\right) q_2}{mg \cdot r_1^2} \\
0 &= q_2^2 - q_2\sqrt{\tan\theta_2 \cdot mgr_2^2 * 16\pi\epsilon_0} + \tan\theta_1 * 4\pi\epsilon_0 * mgr_1^2
\end{aligned}$$

Aufgabe 4

a) E-Feld außerhalb einer geladenen Hohlkugel (Flächenladungsdichte σ):

$$\vec{E}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_{Kugel}}{r^2}\hat{r}$$

Das Feld nah an der Kugel ($r = R_{Kugel}$) ist also:

$$E(R) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_{Kugel}}{R^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\sigma * 4\pi R^2}{R^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Damit die Durchschlagsfeldstärke nicht erreicht wird, darf σ nicht höher als $2.656 * 10^{-5}\frac{C}{m^2}$ sein:

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} < 3 * 10^6 \frac{V}{m} \Leftrightarrow \sigma < \epsilon_0 * 3 * 10^6 \frac{V}{m} = 2.656 * 10^{-5}\frac{C}{m^2}$$

b) Das E-Feld einer Linienladung mit Ladungsdichte λ, für $r \ll l$:

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0}\hat{r}$$

Durch umstellen erhalten wir den Radius der ionisierten Luft (der Bereich wo $E \geq 3 * 10^6 \frac{V}{m}$:

$$r_{max} = \frac{\lambda}{E * 2\pi\epsilon_0} = \frac{10^3 \frac{C}{m}}{3 * 10^6 \frac{V}{m} * 2\pi\epsilon_0} \approx 5.99m$$

Aufgabe 5

a) Nabla in Kugelkoordinaten:

$$\nabla = \hat{e}_r \cdot \partial_r + \hat{e}_\theta \cdot \frac{1}{r}\partial_\theta + \hat{e}_\phi \cdot \frac{1}{r\sin\theta}\partial_\phi$$

Die Divergenz eines Radialfeldes $\vec{E}(\vec{r}) = \alpha r^\beta \hat{e}_r$ lautet dadurch:

$$\begin{aligned}
\vec{\nabla} \cdot \vec{E}(\vec{r}) &= \left(\hat{e}_r \partial_r + \hat{e}_\theta \frac{1}{r}\partial_\theta + \hat{e}_\phi \frac{1}{r\sin\theta}\partial_\phi\right) \cdot \alpha r^\beta \hat{e}_r \\
&= \left(\hat{e}_r * \partial_r(\alpha r^\beta \hat{e}_r) + \hat{e}_\theta * \frac{1}{r}\partial_\theta(\alpha r^\beta \hat{e}_r) + \hat{e}_\phi * \frac{1}{r\sin\theta}\partial_\phi(\alpha r^\beta \hat{e}_r)\right) \\
&= \left(\hat{e}_r \cdot \hat{e}_r \cdot \alpha\beta r^{\beta-1} + \frac{1}{r} \cdot \hat{e}_\theta \cdot \hat{e}_\theta \alpha r^\beta + \frac{1}{r\sin\theta} \cdot \hat{e}_\phi \cdot \hat{e}_\phi \cdot \alpha r^\beta\right) \\
&= \left(\alpha\beta r^{\beta-1} + \frac{1}{r}\alpha r^\beta + \frac{1}{r\sin\theta}\alpha r^\beta\right) \\
&= \left(\alpha\beta r^{\beta-1} + \alpha r^{\beta-1} + \alpha r^{\beta-1}\right) \\
&= \alpha(\beta+2) r^{\beta-1}
\end{aligned}$$

Da $\nabla \cdot \vec{E}(\vec{r}) = 1$ für alle r erfüllt sein soll, muss die Gleichung unabhängig von r sein:

$$\begin{aligned}
\alpha(\beta+2)r^{\beta-1} &\overset{!}{=} 1 \quad \Rightarrow \beta = 1 \text{ damit Gleichung unabhängig von r ist} \\
\Leftrightarrow \alpha * 3 &= 1 \\
\Leftrightarrow \alpha &= \frac{1}{3} \\
\Rightarrow \vec{E}(\vec{r}) &= \frac{1}{3} r \hat{e}_r
\end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned}
V_{Kugel} &= \iiint dV = \iiint \vec{\nabla} \cdot \vec{E}(\vec{r}) dV \overset{\text{Satz v. Gauß}}{=} \iint \vec{E}(\vec{r}) dA \\
&= \iint \frac{1}{3} R \hat{e}_r dA \\
&= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{R}{3}\; \hat{e}_r \cdot \hat{n} * R^2 \sin\theta \; d\theta d\varphi \\
&= \frac{R^3}{3} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin\theta \; d\theta d\varphi \\
&= \frac{R^2}{3} * 4\pi \\
&= \frac{4}{3} * \pi * R^3
\end{aligned}$$

Aufgabe 6

$$\vec{F} = \begin{pmatrix} y^3 \\ x^2 \\ z \end{pmatrix}$$