Grundlagen der Physik IIa - Übungen

Ass.Prof. Dr. R.A. Wilhelm
wilhelm@iap.tuwien.ac.at
TU Wien - Grundlagen der Physik IIa (130.003) 2023S

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE PHYSIK
Institute of Applied Physics

16.03.2023

Aufgabe 2.1 - 2 Pkt.

Gegeben sei eine unendlich ausgedehnte, hohlzylinderförmige Ladungsverteilung (Inneradius a, Außenradius b) der positiven Raumladungsdichte $+\rho$ (siehe Abbildung). Der Innen- und Außenraum seien ladungsfrei. Alle Ladungen seien unbeweglich. Berechnen Sie im gesamten Raum mittels des Gauß'schen Satzes die Feldstärke $E(r)$ und leiten Sie daraus das elektrische Potential $\Phi(r)$ ab. Nehmen Sie dabei an, dass $\Phi(r=0)=0$.

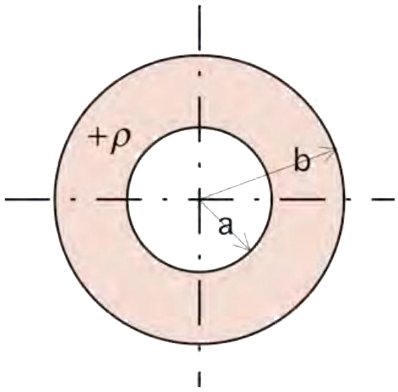

Figure 1: Skizze des Problems.

Lösung: Als Teillösung hier im Bereich $a < r < b$: $E(r) = \frac{\rho}{2\varepsilon_0 r}\left(r^2 - a^2\right)$, $\Phi(r) = \frac{\rho}{2\varepsilon_0}\left(\frac{a^2-r^2}{2} + a^2 \ln\frac{r}{a}\right)$

Aufgabe 2.2 - 3 Pkt.

Gegeben sind 2 in y und z-Richtung unendlich ausgedehnte homogene Raumladungen (siehe Skizze). Von $x = -d$ bis 0 erstreckt sich eine negative Raumladung von $-\rho$ und von $x = 0$ bis d erstreckt sich ein positive Raumladung $+\rho$. Alle Ladungen seien unbeweglich.

(a) Berechnen Sie mit Hilfe des Gauß'schen Satzes überall im Raum die elektrische Feldstärke E.

(b) Leiten Sie daraus das elektrische Potential Φ unter der Voraussetzung ab, dass Φ in der Ebene bei $x=0$ auf Null gesetzt wird.

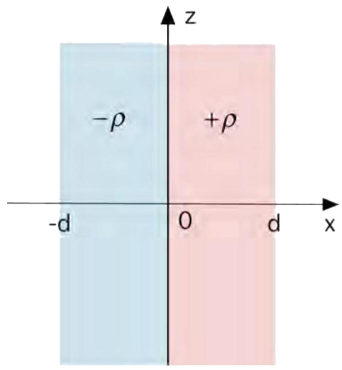

Figure 2: Skizze des Problems.

Lösung: (a) Hier nur eine Teillösung als Bsp: $0 < x < d$: $E_{ges,x} = -\frac{(d-x)\cdot\rho}{\varepsilon_0}$, (b) $0 < x < d$: $\Phi(x) = \frac{\rho}{\varepsilon_0}\left(d \cdot x - \frac{x^2}{2}\right)$

Aufgabe 2.3 - 3 Pkt.

(a) Gegeben ist die vektorielle Funktion: $E_x = 6xy, E_y = 3x^2 - 3y^2, E_z = 0$. Berechnen Sie das Linienintegral für E vom Punkt $(0,0,0)$ zum Punkt $(x_1, y_1, 0)$ entlang der folgenden Wege: Zuerst längs der Strecke von $(0,0,0)$ nach $(x_1, 0, 0)$, und dann von dort nach $(x_1, y_1, 0)$. Bei einer ähnlichen Berechnung längs der beiden anderen Rechteckseiten über den Punkt $(0, y_1, 0)$ muss dasselbe Ergebnis herauskommen, falls das gegebene Vektorfeld einem elektrostatischen Feld entspricht.

(b) Wie lautet das zugehörige Potential. Versuchen Sie daraus durch Gradientenbildung das Vektorfeld wieder zu erhalten.

(c) Berechnen Sie $\operatorname{rot} E$ und $\operatorname{div} E$. Was folgern Sie daraus?

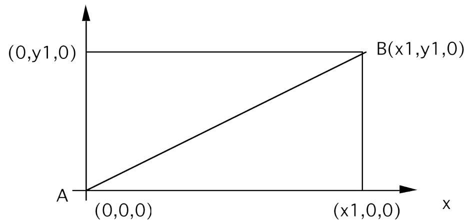

Figure 3: Skizze des Problems.

Lösung: (a) Weg 1: $3x_1^2 y_1 - y_1^3$, Weg 2: $-y_1^3 + 3x_1^2 y_1$

Aufgabe 2.4 - 3 Pkt.

Zwei Dipole befinden sich in der nebenstehenden Anordnung. Berechnen Sie die Kraft mit der sie sich anziehen unter der Voraussetzung: $s \ll r$.

Hinweis: Es ist sinnvoll das Resultat als Funktion von s/r darzustellen und eine entsprechende Taylor-Reihenentwicklung durchzuführen!

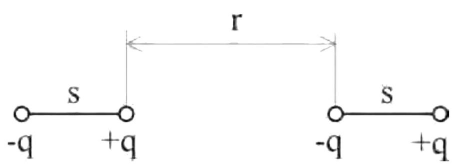

Figure 4: Skizze des Problems.

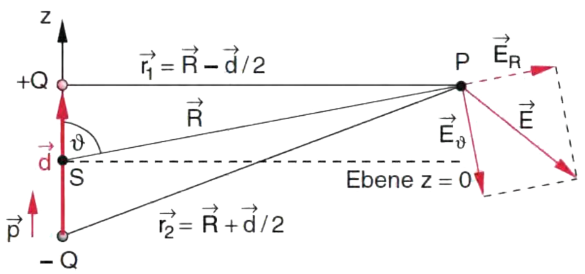

Figure 5: Skizze aus Demtröder.

Lösung: Approximativ: $-\frac{6q^2s^2}{4\pi\varepsilon_0 r^4}$

Aufgabe 2.5 - 2 Pkt.

In einem HCl-Molekül beträgt der Abstand zwischen dem Chlorkern (Ladung $17e$) und dem Proton (Ladung $1e$) 0.128 nm. Das Elektron des Wasserstoffatoms soll komplett auf das Chloratom übergehen und zusammen mit dessen Elektronen eine kugelsymmetrische negative Ladung um den Chlorkern bilden.

(a) Wie groß ist das elektrische Dipolmoment gemäß diesem Modell im Vergleich zum tatsächlichen Dipolmoment des HCl-Moleküls von $3.70 \cdot 10^{-30}\,\mathrm{C \cdot m}$ (elektrisches Dipolmoment in Wikipedia)?

(b) Wo muss deshalb der Schwerpunkt der negativen Ladungswolke im realen Molekül (in Bezug auf den Chlorkern) liegen?

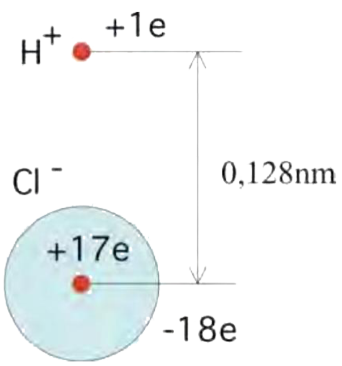

Figure 6: Skizze des Problems.

Lösung: (b) $s \approx 5.9 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{m}$

Aufgabe 2.6 - 3 Pkt.

Ein Elektronenstrahl dringt durch eine Öffnung in der positiven Platte bei $x = 0, y = 0$ in das homogene Feld eines Kondensators ein (siehe Skizze). Die Elektronengeschwindigkeit ist v_0, die Kondensatorspannung U und der Plattenabstand d.
(a) Welche Bahn beschreibt der Elektronenstrahl? Stellen Sie die Gleichung für die Bahnkurve auf.

(b) Die größte Entfernung des Strahles von der positiven Platte betrage $y = d/3$. Welcher Wert ergibt sich für die spezifische Ladung e/m?

(c) Wie groß muss die Beschleunigungsspannung U_B sein, wenn der Strahl die negative Platte erreichen soll?

Es gelte: $\alpha_0 = 45°; v_0 = 8.4{\cdot}10^6\,\mathrm{m/s}; U = 300\,\mathrm{V}; d = 3.0\,\mathrm{cm}$.

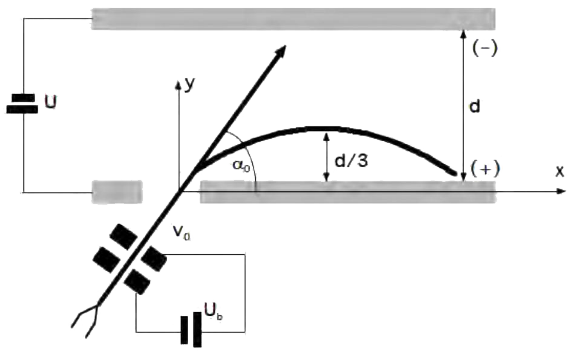

Figure 7: Skizze des Problems.

Lösung: (a) $y(x) = -\frac{eU}{2mdv_0^2\cos^2\alpha_0}x^2 + x\tan\alpha_0$, (b) $1.7610^{11}\,\mathrm{As/kg}$, (c) $600\,\mathrm{V}$

Aufgabe 2.7 - 1 Pkt.

Wie groß ist die Arbeit, die notwendig ist, um ein Dielektrikum mit $\varepsilon_r = 3$ aus einem Plattenkondensator (mit Dielektrikum: $U = 100\,\mathrm{V}$ und $C = 50\,\mathrm{pF}$) zu entfernen?

Lösung: $\Delta W \approx 5 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{J}$