

### 3. Übungsblatt zur Experimentalphysik 2 (SoSe 2017)

## Elektrischer Dipol und geladene Leiter

Abgabe am 11./12.5.2017 in den Übungen

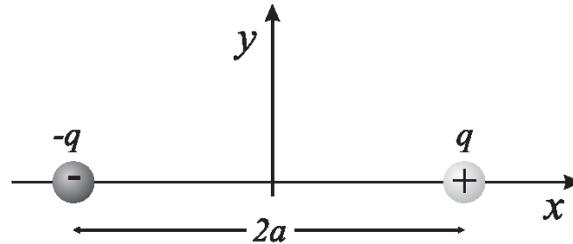
Name(n):

Gruppe:

Punkte: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

---

### 3.1 Elektrischer Dipol (10 Punkte)



- Geben Sie einen Ausdruck für das elektrische Feld  $\vec{E}(\vec{r})$ , das durch den skizzierten Dipol erzeugt wird, für jeden beliebigen Raumpunkt  $\vec{r}$  an. Der Ortsvektor der positiven (negativen) Ladung sei  $\vec{r}_1$  ( $\vec{r}_2$ ).
- Skizzieren Sie die Feldlinien des elektrischen Feldes sowie die Äquipotentiallinien der in der Skizze gezeigten Ladungsverteilung (elektrischer Dipol mit Dipolmoment  $p = 2aq$ ).

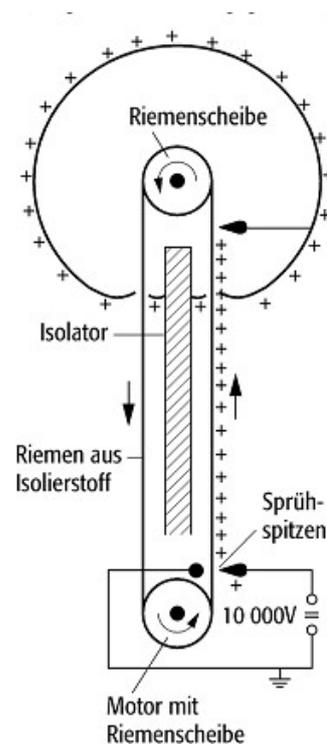
Sie dürfen hierzu gerne ein Computerprogramm verwenden: z.B. Mathematica, Wolfram-Alpha oder das auf Moodle bereitgestellte Python-Skript (Sie müssen im Skript einige Parameter setzen).

- Berechnen Sie das Feld auf der  $x$ -Achse als Funktion von  $p$  für  $a \ll x$ . Sie müssen hier eine Näherung durchführen. Beachten Sie, dass Sie sinnvoll nähern, um zu vermeiden, eine Feldstärke von 0 zu erhalten.
- Berechnen Sie das Feld auf der  $y$ -Achse als Funktion von  $p$  für  $a \ll y$ . Auch hier müssen Sie sinnvoll nähern.

### 3.2 Bandgenerator (Van-de-Graaff-Generator) (10 Punkte)

Ein Bandgenerator besitzt zur Speicherung der Ladung an seinem oberen Ende eine metallische Hohlkugel mit Radius  $R = 0.1 \text{ m}$ . Die Kugel wird solange geladen, bis sogenannte *Vorentladungen* auftreten oder gar ein Funkendurchbruch stattfindet. *Vorentladungen* sind Korona-Entladungen, die aufgrund der Ionisation der Luft ab Feldstärken von  $25 \text{ kV/cm}$  auftreten. Zur Info: Funkendurchbruch findet in der Regel erst bei noch höheren Feldstärken ( $> 35 \text{ kV/cm}$ ) statt.

- Auf welche max. Spannung (gemessen gegenüber dem Erdpotential) läßt sich die Hohlkugel aufladen bis Entladungen ein weiteres Aufladen verhindern? Hinweis: Berechnen Sie das maximale Potential der Kugel und nehmen Sie an, dass das Potential  $\phi$  im Unendlichen Null ist. Das Potential der Erde sei ebenfalls  $\phi = 0$ .
- Sie befestigen nun eine metallische Spitze auf der Kugel, deren kleinster Krümmungsradius  $r = 0.5 \text{ mm}$  beträgt. Schätzen Sie die maximale Spannung ab, bis zu der sich der Generator nun betreiben läßt. Wie groß ist dann das E-Feld auf der Oberfläche der Hohlkugel des Generators? Hinweis: Betrachten Sie die Spitze als eine kleine Kugel, die leitend mit der Hohlkugel verbunden ist, wobei der kleinste Krümmungsradius dieser Anordnung der Radius der kleinen Kugel ist.



### 3.3 Kugelkondensator (10 Punkte)

Betrachten Sie eine Anordnung aus einer leitenden Kugel mit Radius  $r_k$  und einer ebenfalls leitenden Kugelschale mit Innenradius  $r_i > r_k$  und Außenradius  $r_a > r_i$ . Die innere Kugel trage die positive Ladung  $q$  und befinde sich im Zentrum der äußeren Kugelschale. Die Kugelschale sei zunächst elektrisch neutral, d.h. ihre Gesamtladung ist Null.

- Berechnen Sie mit Hilfe des Gaußschen Gesetzes das elektrische Feld  $E(r)$  für  $r < r_k$ ,  $r_k < r < r_i$ ,  $r_i < r < r_a$  sowie  $r > r_a$  und stellen Sie dessen Verlauf von  $r = 0$  bis  $r > r_a$  grafisch dar.
- Sie "erden" nun das Äußere der Kugelschale, d.h. Sie erzwingen eine Potentialdifferenz von  $0 \text{ V}$  zur Umgebung. Welche Ladung trägt die Kugelschale nun? Wie groß ist die Feldstärke an der Außenfläche der Kugelschale?
- Wie groß ist die Kapazität dieser Anordnung?

### 3.4 Plattenkondensator (10 Punkte)

Wir betrachten im Folgenden einen Plattenkondensator, wie er bei den Experimenten in der Vorlesung verwendet wurde. Beide Platten des Kondensators besitzen eine Fläche von  $A = 500 \text{ cm}^2$  und zunächst einen Abstand  $d_0 = 2 \text{ mm}$  voneinander. Die Platten des Kondensators seien mit den Polen einer Spannungsquelle verbunden, die auf eine Ausgangsspannung von  $U_0 = 1 \text{ kV}$  eingestellt ist.

- a) Berechnen Sie die Kapazität  $C$  des Kondensators.
- b) Berechnen Sie den Betrag  $E$  des elektrischen Feldes im Kondensator.
- c) Berechnen Sie den Betrag  $F$  der elektrostatischen Kraft, die auf beide Platten wirkt. Stoßen die Platten sich ab, oder ziehen sie sich an?

Die beiden Platten werden nun von der Spannungsquelle getrennt. Anschließend wird der Plattenabstand von  $d_0$  auf  $d_1 = 4 \text{ mm}$  vergrößert.

- d) Berechnen Sie die Spannung  $U_1$  zwischen den Platten.
- e) Berechnen Sie die Arbeit  $W_Q$ , die beim Verschieben der Platten aufgebracht werden musste.

Der Plattenkondensator werde nun erneut mit dem Plattenabstand  $d_0$  und der Spannung  $U_0$  präpariert. Die Spannungsquelle bleibt im Folgenden jedoch mit dem Kondensator verbunden. Wieder vergrößern wir den Abstand zwischen den Platten von  $d_0$  auf  $d_1 = 4 \text{ mm}$ .

- f) Berechnen Sie die hierbei geleistete Arbeit  $W_U$ .
- g) Begründen Sie, warum Ihr Ergebnis für  $W_Q$  und  $W_U$  verschieden ist.