

## Übungsblatt Elektrodynamik 2 - Musterlösung

Besprechung in der Woche vom 11.06.18 bis 15.06.18

### Teil A: Verständnisaufgaben

#### Aufgabe 1 – Kapazität einer Kugel

Was ist die Kapazität einer (isolierten) Kugel aus einem leitenden Material mit einem Radius  $R$ ?  
Hinweis: Erinnern Sie sich an die Definition der Kapazität.

#### Aufgabe 2 – Raumladungsdichte der Atmosphäre

In einem bestimmten Gebiet der Erdatmosphäre wurde das elektrische Feld oberhalb der Erdoberfläche mit folgenden Ergebnissen gemessen:  $150 \text{ N/C}$  in einer Höhe von  $250 \text{ m}$  und  $170 \text{ N/C}$  in  $400 \text{ m}$  Höhe. In beiden Fällen ist das elektrische Feld nach unten zur Erde gerichtet. Berechnen Sie die Raumladungsdichte der Atmosphäre zwischen  $250$  und  $400 \text{ m}$  unter der Annahme, dass sie in diesem Bereich homogen ist. (Die Erdkrümmung kann vernachlässigt werden. Warum?)

#### Aufgabe 3 – Gravitationsabschirmung

Wie kommt es, dass man elektrische Felder abschirmen, also aus einem bestimmten Volumen fernhalten kann, Gravitationsfelder aber nicht? Wie müssen Schirme gegen elektrische Felder und wie müssten Gravitationsschirme beschaffen sein? Stellen Sie sich die Möglichkeiten vor, die ein Gravitationsschirm bieten würde!

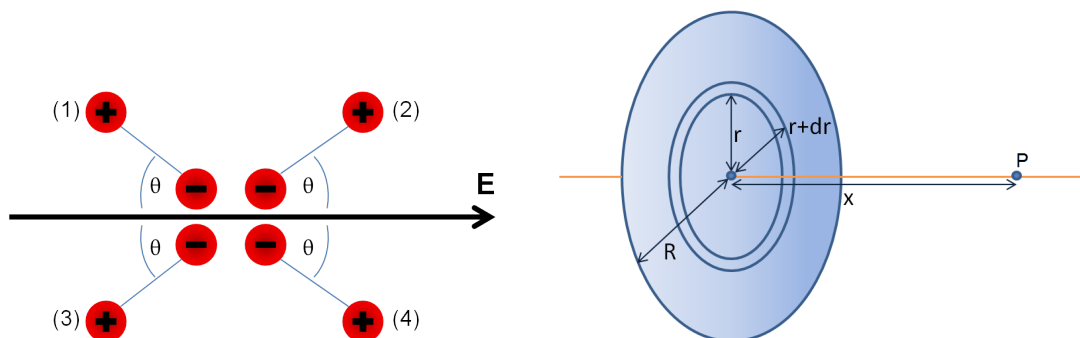
#### Aufgabe 4 – Dipol im E-Feld

Die linke Abbildung am Ende der Seite zeigt vier verschiedene Orientierungen eines Dipols in einem äußeren elektrischen Feld. Ordnen Sie die vier Fälle nach

- dem Betrag des auf den Dipol wirkenden Drehmoments.
- dem Betrag der potenziellen Energie des Dipols.

#### Aufgabe 5 – Elektrostatik II

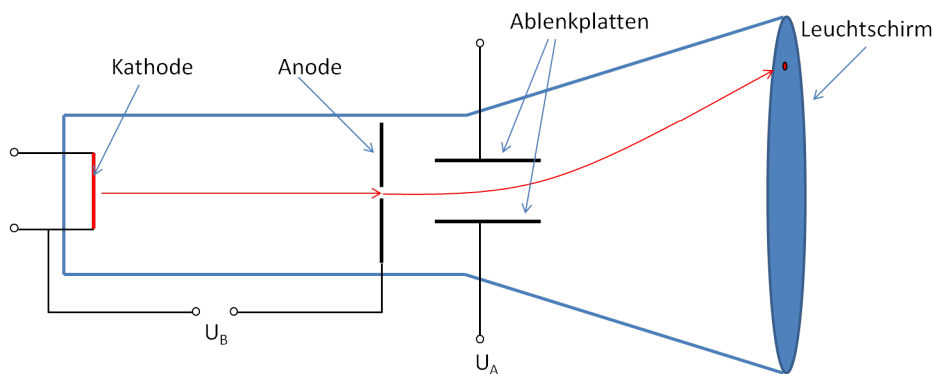
Eine flache Scheibe vom Radius  $R$  trägt eine homogen verteilte Ladung  $Q$ . Bestimmen Sie das elektrische Potential in einem Punkt  $P$  der im Abstand  $x$  vom Mittelpunkt auf der Symmetrieachse der Scheibe liegt, siehe rechte Abbildung. Gehen Sie hierbei analog zur Aufgabe 5 im Übungsblatt Elektrodynamik 1 vor.



## Teil B: Rechenaufgaben

### Aufgabe 6 – Unser alter Röhrenfernseher

Früher als es noch keine Plasma- und LC-Bildschirme gab, wurde unter dem Begriff „Fernsehgerät“ grundsätzlich ein sogenanntes Röhrengerät verstanden. Diese ist ihrer Konstruktion nach eine Kathodenstrahlröhre. Sie besteht aus einem unter Vakuum stehenden, trichterförmigen Glasbehälter, in dem je nach der gewünschten Helligkeit eines Bildpunktes mehr oder weniger Elektronen von der Kathode im hinten liegenden Bildröhrenhals nach vorn zur Anode (dem eigentlichen Bildschirm) hin durch eine Potentialdifferenz  $U_B$  beschleunigt werden. Anschließend werden sie durch Kondensatorplatten abgelenkt um die fluoreszierende Leuchtschicht an einen bestimmten Punkt im Leuchtschirm anzuregen um so nicht permanente Bilder zu produzieren, siehe Abbildung.

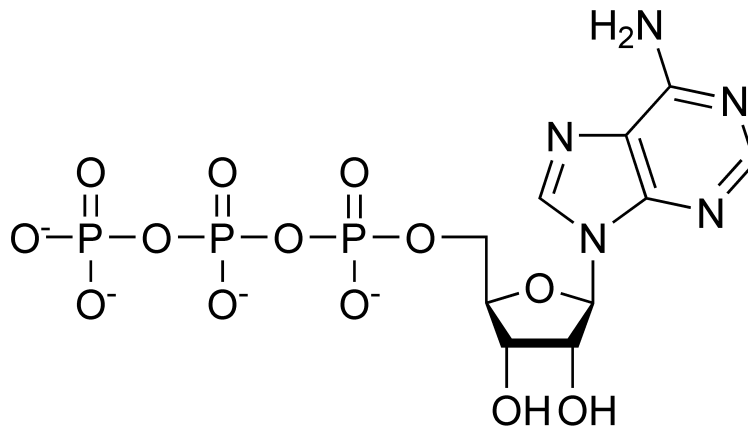


- Welche Geschwindigkeit hat ein ursprünglich an der Kathode ruhendes Elektron wenn es die Anode erreicht für  $U_B = 1250 \text{ V}$ ?
- Im Bereich zwischen den Ablenkplatten herrscht ein elektrisches Feld von  $E = 2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$ , wobei die obere Platte positiv und die untere Platte negativ geladen sind. Wie lange braucht das Elektron zum Durchlaufen des Kondensators? Nehmen Sie an, dass dieser quadratisch ist mit Kantenlänge 4 cm.
- Wie weit ist das Elektron von der Achse entfernt, wenn es den Bereich zwischen den Platten durchflogen hat? In welcher Entfernung von der Achse trifft das Elektron auf den Schirm, wenn dieser 12 cm von den Kondensatorplatten entfernt ist?

### Aufgabe 7 – ATP Hydrolyse

Adenosintriphosphat (ATP) ist die „Energiewährung“ der Zelle. Die Energie ist gespeichert in der räumlichen Anordnung von drei negativ geladenen Phosphatgruppen, siehe Abbildung. Die Energie wird freigesetzt wenn die letzte Phosphatgruppe (auch  $\gamma$ -Phosphat genannt) abgebrochen wird, d.h. wenn ATP zu Adenosindiphosphat *hydrolysiert*.

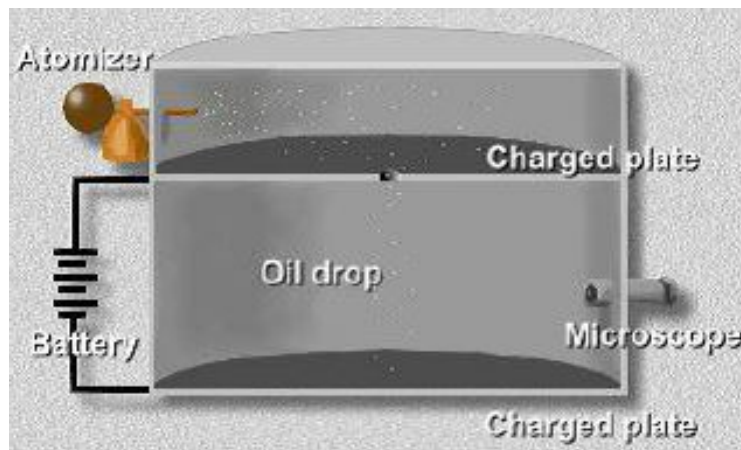
Sie können eine simple Abschätzung über die in diesem Prozess freigesetzte Energie machen indem Sie die elektrostatische Energie der Phosphatgruppen betrachten. Dazu können Sie die Phosphatgruppen als Punktladungen auf einer Linie mit einem relativen Abstand von 0,3 nm zwischen zwei Phosphaten behandeln, wobei das  $\gamma$ -Phosphat eine Ladung von  $-2e$  und die anderen beiden Phosphate jeweils eine Ladung von  $-1e$  haben, und das Coulombsche Gesetz benutzen um die potentielle Energie auszurechnen.



- a) Wie groß ist die Energiedifferenz zwischen ATP und ADP wenn Sie annehmen, dass das freigesetzte Phosphat sich unendlich weit weg bewegt und dass diese Reaktion im Vakuum stattfindet?
- b) Wie ändert sich das Ergebnis, wenn die Reaktion in Wasser stattfindet?

### Aufgabe 8 – Milikan-Versuch

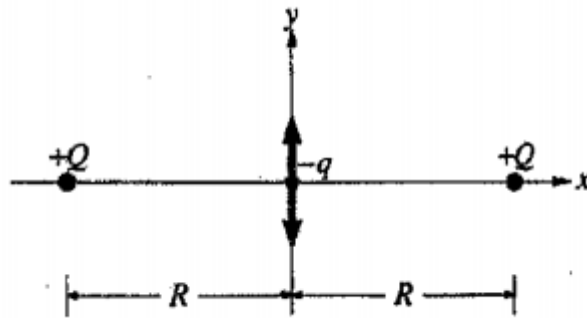
Der Millikan-Versuch ermöglichte es bereits 1910, die Größe der Elementarladung  $e$  relativ genau zu ermitteln. Durch Zerstäuben von Öl werden kleinste Öltröpfchen erzeugt. Diese diffundieren durch ein Loch in der oberen Platte in einen Plattenkondensator hinein, dessen zwei horizontale Platten einen Abstand von  $d = 8 \text{ mm}$  haben. Beim Zerstäuben werden die Tröpfchen aufgrund von Reibung aufgeladen. Mithilfe einer von außen angelegten Spannung  $U$  wird ein konstantes Feld  $E = \frac{U}{d}$  im Kondensator eingestellt.



- a) Im feldfreien Zustand ( $U = 0 \text{ V}$ ) sinkt ein kugelförmiges Tröpfchen mit dem Radius  $R$  mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  nach unten, sobald nach einer vernachlässigbaren Beschleunigungsphase die Gewichtskraft durch die Auftriebskraft (aufgrund der Verdrängung von Luft) und durch die Reibungskraft (Stokesches Gesetz) kompensiert wird. Die Sinkgeschwindigkeit des Tröpfchens sei  $v = 10^{-4} \text{ m/s}$ . Berechnen Sie mithilfe der Viskosität  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m s)}$ , der Dichte der Luft  $\rho_{\text{Luft}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ , sowie der Dichte des Öls  $\rho_{\text{Öl}} = 0,91 \text{ g/cm}^3$  den Radius  $R$  und die Masse  $m$  des Tröpfchens.
- b) Nehmen Sie an, das Tröpfchen trage eine Elementarladung. Welches Feld muss im Kondensator herrschen, damit das Tröpfchen in Ruhe bleibt? Welche Spannung  $U$  muss dazu angelegt werden?

### Aufgabe 9 – Oszillierende Ladung

Betrachte zwei fixierte Punktladungen mit jeweiliger Ladung  $Q$  im Abstand von  $2R$  auf der  $x$ -Achse. Ein kleines Teilchen der Masse  $m$  und Ladung  $-q$  wird exakt zwischen die beiden festen Teilchen gelegt. Eine kleine Auslenkung in  $y$ -Richtung führt zu einer Oszillation dieses Teilchens entlang der  $y$ -Achse. Berechnen Sie die Kreisfrequenz  $\omega$  dieser Schwingung.



### Aufgabe 10 – Helium Ballons

In der Vorlesung hatten wir zwei metallbeschichtete Helium-Ballons aufgeladen und so Abstoßung und Anziehung im Coulomb-Gesetz demonstriert, siehe Bild.



- Schätzen Sie die Ladung  $Q$  auf der Oberfläche der Ballons ab. Sie können die Ballons als Kugeln nähern und die Masse der Fäden und Ballonhüllen vernachlässigen. Treffen Sie realistische Annahmen zur Geometrie. Die Dichten von Luft und Helium betragen  $1,2 \text{ kg/m}^3$  und  $0,18 \text{ kg/m}^3$ , respektive.
- Was ist die Kapazität eines solchen Heliumballons? Welche Spannung muss man daher anlegen, um die im ersten Teil ausgerechnete Ladung  $Q$  auf den Ballon zu bringen? *Hinweis: Das Ergebnis aus Aufgabe 1 könnte hilfreich sein.*