



Experimentalphysik II – Elektrizitätslehre  
Sommersemester 2021  
Übungsblatt 4

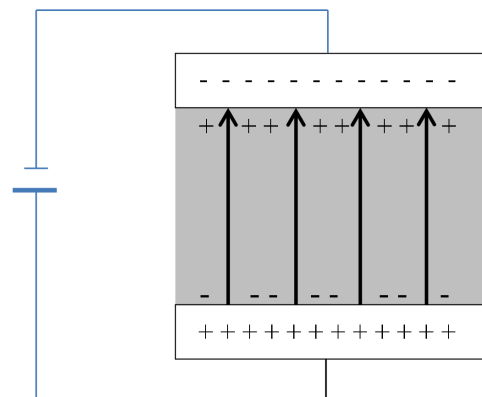
Besprechung in der Woche ab dem 10.05.2021

**Aufgabe 11: Kondensatoren (5P)**

- a) Kapazität lässt sich am ehesten mit Fassungsvermögen übersetzen. Nun gibt es aber einen fundamentalen Unterschied zwischen dem Fassungsvermögen eines Eimers und dem eines Kondensators. Erläutern Sie den Unterschied. Wann ist ein Kondensator voll? (1P)
- b) Die Kapazität eines Plattenkondensators hängt von seiner Geometrie ab.
- Leiten Sie den Ausdruck für die Kapazität eines idealen Plattenkondensators im Vakuum,  $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$ , ausgehend von dem Zusammenhang zwischen der Flächenladungsdichte und der Feldstärke bei unendlich großen parallelen Platten,  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ , her.
  - Erklären Sie die Proportionalität zwischen der Plattenfläche  $A$  und der Kapazität  $C$ 
    - quantitativ mithilfe der Parallelschaltung von Kondensatoren
    - qualitativ (d. h. ohne Rückgriff auf Formeln) mithilfe der Kräfte, welche sich zwischen den Ladungen aufbauen und die daher dem Hinzufügen neuer Ladungen entgegenwirken (*Flächenladungsdichte*). Beginnen Sie Ihre Argumentation mit der Vervielfachung der Plattenfläche.
  - Erklären Sie die umgekehrte Proportionalität zwischen dem Plattenabstand  $d$  und der Kapazität  $C$ 
    - quantitativ mithilfe der Serienschaltung von Kondensatoren
    - qualitativ mithilfe der Kräfte zwischen den Ladungen gegenüber liegender Platten. Beschränken Sie sich auf eine Je-desto Argumentation (ohne eine Vervielfachung von  $d$  zu diskutieren).

(2P)

- c) Bringt man ein isolierendes Material - ein sogenanntes Dielektrikum - zwischen die Platten eines Kondensators, so ändern sich dessen Eigenschaften, da das Material beim Anlegen einer Spannung polarisiert wird. Die induzierte Oberflächenladungsdichte entspricht dem Betrag der Polarisation,  $|\vec{P}| = \frac{Q_{ind}}{A}$ , wobei  $A$  die Plattenfläche des Kondensators ist. Dem Betrag der dielektrischen Verschiebung hingegen entspricht die Flächenladungsdichte der Plattenladungen,  $|\vec{D}| = \frac{Q_P}{A}$ . Zwischen den Feldgrößen besteht der Zusammenhang  $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$ .



- i. Leiten Sie eine Formel für das Ladungsverhältnis  $\frac{Q_{ind}}{Q_P}$  in Abhängigkeit von der relativen Permittivität  $\epsilon_r$  her.
- ii. Geben Sie an, wie sich die Ladung der Kondensatorplatten, die Kapazität, die Feldstärke und die Energie des Kondensators verändern, wenn man bei konstanter Spannung die relative Permittivität  $\epsilon_r$  verdoppelt.
- iii. Die Abbildung zeigt vereinfacht die Verhältnisse bei einem Kondensator mit einem Dielektrikum mit  $\epsilon_r=3$ . Fertigen Sie eine zur Abbildung analoge Skizze an, die den gleichen Kondensator bei gleicher Spannung  $U$  zeigt, jedoch
  - i. nach Entfernen des Dielektrikums ( $\epsilon_r=1$ ).
  - ii. nach dem Austausch des Dielektrikums ( $\epsilon_r=4$ ).
 Stellen Sie in Ihren Skizzen die Ladungsmengen und deren Verhältnis entsprechend Ihren Erkenntnissen aus Aufgabenteil *a* und *b* korrekt dar.

(2P)

### **Aufgabe 12: Dielektrikum im Kondensator (2P)**

- a) Geben Sie begründet an, wie sich die Kapazität eines Plattenkondensators ändert, wenn von seinem Plattenabstand ein Bruchteil  $\beta < 1$  mit einem Dielektrikum mit  $\epsilon_r$  ausgefüllt wird.  
Begründen Sie, welchen Bruchteil Sie mit einem Dielektrikum mit  $\epsilon_r=50$  ausfüllen müssen, um die Kapazität des Kondensators gegenüber dem vakuumgefüllten Fall zu verdoppeln. (1P)
- b) Die Platten eines vakuumgefüllten Plattenkondensators werden mit einer Spannungsquelle der Spannung  $U$  verbunden und anschließend von der Quelle getrennt. Geben Sie begründet an, wie sich die Spannung zwischen den Platten des Kondensators ändert, wenn dieser danach vollständig mit einem Dielektrikum mit einer relativen Dielektrizitätszahl von  $\epsilon_r=50$  ausgefüllt wird. (1P)

### **Aufgabe 13: Kondensatorschaltungen (3P)**

- a) Berechnen die größte und die kleinste Gesamtkapazität, die man aus 4 Kondensatoren mit den jeweiligen Kapazitäten von  $1\ \mu\text{F}$ ,  $2\ \mu\text{F}$ ,  $4\ \mu\text{F}$  und  $8\ \mu\text{F}$  durch geeignete Schaltungen herstellen kann. (1P)
- b) Zeichnen Sie eine Schaltung, mit der aus vier Kondensatoren, die jeweils eine Kapazität von  $2\ \mu\text{F}$  besitzen, eine Gesamtkapazität von  $5\ \mu\text{F}$  hergestellt werden kann. Wie können Sie 4 Kondensatoren mit den Kapazitäten  $2\ \mu\text{F}$ ,  $3\ \mu\text{F}$ ,  $4\ \mu\text{F}$  und  $6\ \mu\text{F}$  zu einer Gesamtkapazität von  $5\ \mu\text{F}$  verschalten? (1P)
- c) Drei auf je 500 V aufgeladene Plattenkondensatoren, mit jeweils einer Kapazität von  $120\ \text{pF}$ , werden in Reihe geschaltet. Berechnen Sie die Gesamtkapazität der Schaltung, die Gesamtspannung zwischen den beiden Endplatten, die Ladung auf jedem Kondensator und die im System gespeicherte Energie. (1P)

### **Aufgabe 14: Bestimmung der Elementarladung nach Millikan (3P)**

Zur Bestimmung der Elementarladung nach Millikan wird die Bewegung von kleinen, geladenen Öltröpfchen unter dem kombinierten Einfluss der Schwerkraft  $F_G$ , der Stokesschen Reibungskraft  $F_S$  und der elektrischen Kraft  $F_{el}$  in einem Plattenkondensator untersucht. Bei einer Temperatur von  $T=295\ \text{K}$ , einem Druck von  $p=1\ \text{bar}$  und einer Dichte von  $\rho_L=1,3\ \text{kg m}^{-3}$  beträgt die Viskosität der die Tröpfchen umgebenden Luft  $\eta=1,7 \times 10^{-5}\ \text{Ns m}^{-3}$ . Das verwendete Öl hat

eine Dichte von  $\rho_{\text{Öl}} = 900 \text{ kg m}^{-3}$ .

Hinweis: Bei dieser Aufgabe ist der Auftrieb der Öltröpfchen in Luft vernachlässigbar.

- a) Ohne elektrisches Feld sinken die Tröpfchen mit einer konstanten Geschwindigkeit. Warum ist dies der Fall? Geben Sie einen Ausdruck für diese konstante Geschwindigkeit  $v_0$  an. Wie groß ist  $v_0$  für ein Tröpfchen mit Radius  $r = 1.5 \times 10^{-6} \text{ m}$ ?

An die Kondensatorplatten (Abstand  $d = 3 \text{ mm}$ ) wird nun eine Spannung  $U$  angelegt, so dass das unter a) beschriebene Tröpfchen in der Schwebe gehalten wird. Wie groß muss  $U$  sein, wenn das Tröpfchen die Ladung  $q = 3e$  trägt? (1P)

- b) Das elektrische Feld  $E$  im Kondensator wird nun erhöht und periodisch umgepolt, so dass das Tröpfchen abwechselnd mit den Geschwindigkeiten  $v_{\uparrow}$  und  $v_{\downarrow}$  steigt bzw. fällt. Geben Sie einen Ausdruck für die beiden Geschwindigkeiten an. Zeigen Sie, dass gilt:

$$q = \frac{3\pi\eta r(v_{\uparrow} + v_{\downarrow})}{E}$$

(1P)

- c) Bei einem weiteren Tröpfchen wird ohne Feld eine konstante Sinkgeschwindigkeit von  $v_0 = 4 \mu\text{m s}^{-1}$  gemessen; das Tröpfchen schwebt in einem Feld von  $E = 500 \text{ V m}^{-1}$ . Wie groß ist das Tröpfchen und welche Ladung trägt es?

Das Tröpfchen wird nun Röntgenstrahlung ausgesetzt, danach steigt es mit einer Geschwindigkeit von  $v_{\uparrow} = 1.33 \mu\text{m s}^{-1}$ . Was ist bei der Bestrahlung passiert? (1P)