

# III E1

Modul Elektrizitätslehre II

## **Cavendish-Experiment**

Ziel dieses Experiments ist es, dich mit dem Phänomen der elektrischen Influenz vertraut zu machen. Des weiteren sollen Eigenschaften wie Flächenladungsdichte, Kapazität und elektrische Abschirmung anhand metallischer Kugeln untersucht werden



## Versuch IIE1 - Cavendish-Experiment

Ziel dieses Experiments ist es, dich mit dem Phänomen der elektrischen Influenz vertraut zu machen. Des weiteren sollen Eigenschaften wie Flächenladungsdichte, Kapazität und elektrische Abschirmung anhand metallischer Kugeln untersucht werden

## 1.1 Fragen zur Vorbereitung

- Was ist Influenz? Beschreibe in eigenen Worten.
- Was ist ein Faraday-Käfig und wie funktioniert er?
- Beim folgenden Versuch wird eine Kugel mit positiver Hochspannung geladen. Welche Art von Ladungsträgern wird dabei übertragen (wenn überhaupt)?

## 1.2 Theorie

In einem leitenden Gegenstand gibt es per Definition freie Ladungsträger. Frei in dem Sinne, dass sie sich frei im Leiter bewegen können. Gleichnamige Ladungen stossen sich gemäss dem Coulomb-Gesetz ab. Dies führt dazu, dass sich die freien Ladungsträger so auf der Oberfläche anordnen, dass die Abstände zwischen ihnen maximal werden. Dies führt zu einer gleichmässigen Verteilung der Ladungsträger.

Auf einem ungeladenen Leiter beträgt die Ladungsdichte  $D = 0$ , da er gleich viele positive wie negative Ladungen besitzt und sie gleichmässig verteilt sind. Wird der Leiter geladen, ist die Verteilung der Ladungen immer noch gleichmässig, aber jetzt gibt es einen Überschuss von einer Ladungssorte und somit gilt:  $D \neq 0$ . Da der Leiter jetzt geladen ist, erzeugt er ein elektrostatisches Feld. Wie viele Ladungen bei einer bestimmten Spannung auf einen Leiter übertragen werden können, hängt von dessen Kapazität ab und wird vom Gauss'schen Gesetz beschrieben. Es gilt:

$$Q = U \cdot C \quad (1.1)$$

Wobei  $Q$  die Ladung in Coulomb [C],  $U$  die Spannung (oder den Potentialunterschied) in Volt [V] und  $C$  die Kapazität in Farad [F] bezeichnet. Bei einer Kugel ist die Kapazität abhängig von ihrem Radius und beträgt:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot R \quad (1.2)$$

Mit der elektrischen Feldkonstante  $\epsilon_0 = 8.8541 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ .

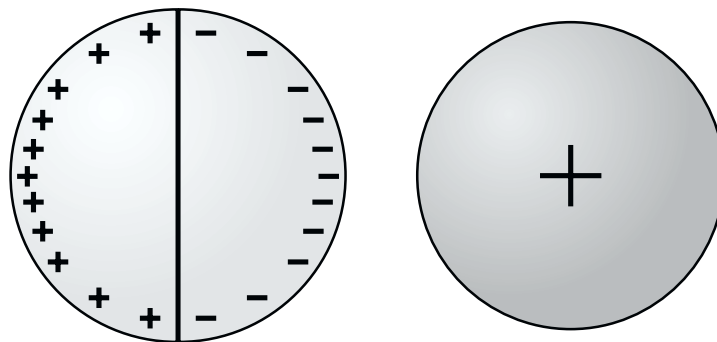


Abbildung 1.1: Influenz einer positiv geladenen Kugel auf zwei ungeladene Kugelschalen

Bringt man einen Leiter in ein elektrisches Feld, so wirkt eine Kraft auf seine freien Ladungsträger. Dies führt dazu, dass sich ein neues Gleichgewicht zwischen der abstossenden Coulomb-Kraft zwischen den einzelnen Ladungsträgern und der äusseren Kraft einstellt. Die Ladung ist jetzt nicht mehr gleichmässig über die Oberfläche verteilt. Es entstehen Bereiche mit einem Überschuss an positiven Ladungsträgern und einer Ladungsdichte  $D > 0$  sowie solche mit einem Überschuss an negativen Ladungsträgern und daher einer Ladungsdichte  $D < 0$ . Den Einfluss von äusseren elektrostatischen Feldern auf die Verteilung von Ladungen nennt man Influenz oder elektrostatische Induktion.

## 1.3 Experiment

### 1.3.1 Versuchszubehör

Komponente	Anzahl
Kugel auf Stativ	1
Hohle Halbkugeln auf Stativ	2
Hochspannungs-Netzgerät	1
Hochspannungskabel auf Stativ	1
Vorverstärker für Ladungsmessung	1
Aluminiumstab für die Erdung	1
Kondensator 1 nF	1
Kondensator 10 nF	1
Multimeter	1
Experimentierkabel	5

### 1.3.2 Versuchsaufbau und Justage

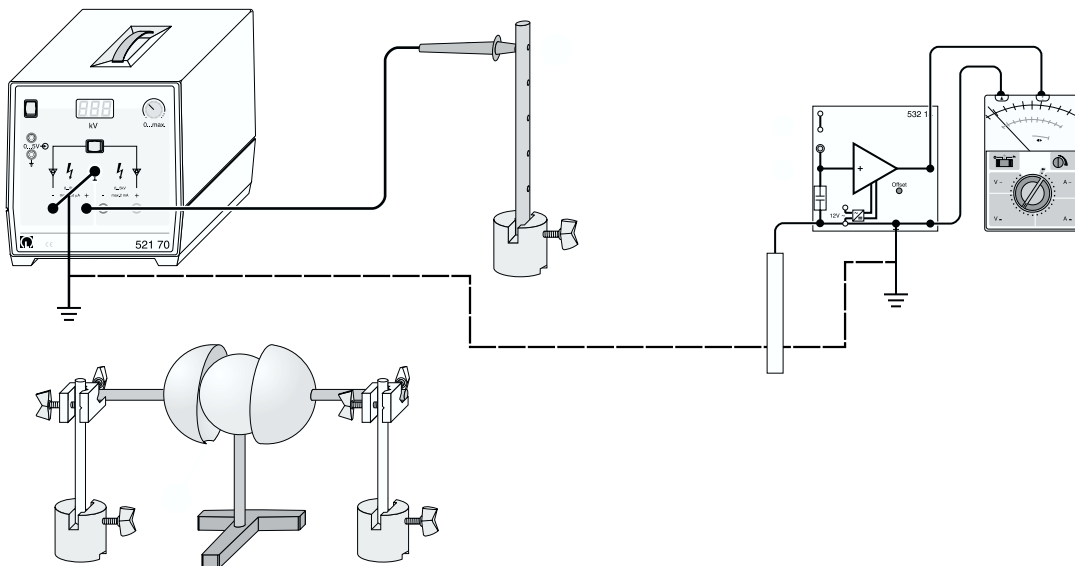


Abbildung 1.2: Schema des Versuchsaufbau

1. Befestige die beiden Halbkugeln so am Stativ, dass sie sich zu einer Hohlkugel zusammenfügen lassen und die Vollkugel umschliessen können.
2. Stelle das Multimeter auf Gleichspannungsmessung und schliesse den Pluspol an den Ausgang des Vorverstärkers an. Der Minuspol soll an die Erdung des Vorverstärkers angeschlossen werden.
3. Schliesse den Aluminiumstab mit einem Experimentierkabel an die Erdung des Vorverstärkers an.
4. Schliesse die Erdung des Vorverstärkers mit der Erdung des Hochspannungs-Netzgeräts.
5. Verbinde den Minuspol und die Erdung des Hochspannungs-Netzgeräts miteinander.
6. Schliesse das Hochspannungskabel an den Pluspol des Hochspannungs-Netzgeräts.

7. Stecke den Messkondensator in die dafür vorgesehenen Löcher am Vorverstärker.

### 1.3.3 Durchführung

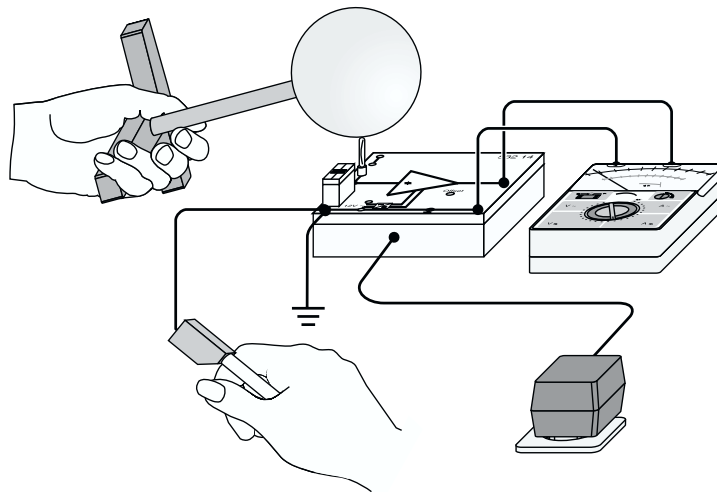


Abbildung 1.3: Durchführung der Ladungsmessung

In den folgenden Versuchen soll jeweils die Ladung der Kugel, beziehungsweise der Halbkugeln bestimmt werden. Dazu soll wie folgt vorgegangen werden:

1. Der Erdungsstab wird auf die Messspitze des Vorverstärkers gesteckt. Da der Vorverstärker sehr sensibel ist, können Leckströme und freie Ladungen aus der Luft den Messkondensator langsam laden, was zu einer Verfälschung der Messung führen würde. Durch das Erden der Messspitze wird er entladen.
2. Das Multimeter wird auf Min/Max gestellt und auf Null zurück gesetzt.
3. Den Erdungsstab in die eine Hand nehmen und mit der anderen die Kugel (oder Halbkugel) an die Messspitze des Vorverstärkers halten. Dabei darf sie nur am Fuss des Stativ berührt werden.

Die Ladungen  $Q$  fließen so von der Kugel über die Messspitze und laden den Kondensator. Gemäss Gleichung (1.1) erzeugt dies eine Spannung über den Messkondensator. Würde man diese Spannung direkt messen, so würde das Ergebnis durch den Innenwiderstand des Multimeters zu stark verfälscht. Aus diesem Grund wird die Spannungsmessung über einen Vorverstärker mit dem Verstärkungsfaktor 1 durchgeführt. Bei einem solchen Vorverstärker spricht man von einem Impedanzwandler. Er besitzt einen sehr hochohmigen Eingang und einen niederohmigen Ausgang. Der effektive Innenwiderstand des Multimeters wird dadurch auf über  $10\text{ G}\Omega$  erhöht.

Mit den beiden Kondensatoren können unterschiedliche Grössenordnungen von Ladungen abgedeckt werden. Zunächst soll der  $10\text{ nF}$  Kondensator verwendet werden. Ist die Spannung am Multimeter zu klein, kann der  $1\text{ nF}$  Kondensator Abhilfe schaffen.

#### Bestimmung der Kapazität

- Entlade die Kugel mit dem geerdeten Aluminiumstab.
- Stelle die Spannung am Netzgerät auf  $1\text{ kV}$ .

- Lade die Kugel. Berühre sie dazu kurz mit der Spitze des Hochspannungskabel. Stelle anschliessend die Spannung zurück auf 0 V.
- Miss die Spannung an der Kugel.
- Wiederhole den Versuch mit 2 kV, 3 kV, 4 kV und 5 kV.
- Wiederhole den Versuch statt mit der Kugel mit beiden Halbkugeln, die du zu einer Hohlkugel zusammenführst.

### **Geladene Kugel**

- Entlade die Kugel sowie beide Halbkugeln mit dem geerdeten Aluminiumstab.
- Stelle die Spannung am Netzgerät auf 3 kV.
- Lade die Kugel auf, danach stelle die Hochspannung auf 0 V zurück.
- Führe die beiden Halbkugeln langsam an die geladene Kugel heran und umschliesse sie so, dass sich die beiden Hälften und die Kugel berühren.
- Trenne Kugel und Halbkugeln und misse die jeweilige Spannung.
- Wiederhole den Versuch mit 4 kV und 5 kV.

### **Geladene Hohlkugel**

- Entlade die Kugel sowie beide Halbkugeln mit dem geerdeten Aluminiumstab.
- Stelle die Spannung am Netzgerät auf 3 kV.
- Führe die beiden Halbkugeln zusammen und lade sie auf.
- Stelle danach die Hochspannung auf 0 V zurück.
- Trenne erst die beiden Halbkugeln und führe sie dann langsam an die geladene Kugel heran und umschliesse sie so, dass sich die beiden Hälften und die Kugel berühren.
- Trenne Kugel und Halbkugeln und misse die jeweilige Spannung.
- Wiederhole den Versuch mit 4 kV und 5 kV.

### **Ladungstrennung durch Influenz**

- Entlade die Kugel sowie beide Halbkugeln mit dem geerdeten Aluminiumstab.
- Lade wie oben beschrieben die Kugel auf 3 kV.
- Führe die beiden Halbkugeln zu einer Hohlkugel zusammen.
- Führe die geladene Kugel langsam an die Hohlkugel heran. Dabei solltest du sie möglichst senkrecht zur Äquatorebene (diejenige Ebene, auf der sich beide Halbkugeln berühren) an die Hohlkugel heranführen und sie nicht berühren. (Siehe Abbildung 1.1).
- Trenne nun die Halbkugeln und miss die jeweilige Spannung.
- Miss auch die Spannung an der Kugel.
- Wiederhole den Versuch mit 4 kV und 5 kV.

### 1.3.4 Aufgaben zur Auswertung

#### Bestimmung der Kapazität

Berechne die Ladung, die sich auf der Kugeloberfläche befindet gemäss Gleichung (1.1).  
Plote die so berechnete Ladung gegen die Hochspannung mit der du die Kugel geladen hast.  
Mach einen linearen Fit und bestimme dadurch die Kapazität der Kugel.  
Vergleiche dein Resultat mit der theoretischen Kapazität einer Kugel gemäss Gleichung (1.2).  
Bestimme auf die gleiche Weise die Kapazität der Hohlkugel. Was fällt auf?  
Welcher Einfluss hat die Tatsache, dass die Hohlkugel mit Luft gefüllt ist auf die Kapazität?  
Berechne die Flächenladungsdichte (Ladung pro Oberfläche) von Kugel und Hohlkugel.

#### Geladene Kugel

Berechne die Ladung auf der Kugel und den Kugelschalen für die drei unterschiedlichen Hochspannungen. Trage deine Resultate in eine Tabelle ein.  
Wie sind die Ladungen auf die Kugel und die Kugelschalen verteilt? Erkläre die Verteilung.  
Ist die gesamte Ladung dieselbe wie in der ersten Aufgabe?

#### Geladene Halbkugeln

Berechne die Ladung auf der Kugel und den Kugelschalen für die drei unterschiedlichen Hochspannungen. Trage deine Resultate in eine Tabelle ein.  
Wie sind die Ladungen auf die Kugel und die Kugelschalen verteilt? Erkläre die Verteilung.  
Vergleiche die Gesamtladung mit derjenigen von der 1. und 2. Aufgabe.

#### Ladungstrennung durch Influenz

Berechne die Ladung auf der Kugel und den Kugelschalen für die drei unterschiedlichen Hochspannungen. Trage deine Resultate in eine Tabelle ein.  
Erkläre die gemessene Verteilung von positiven und negativen Ladungen.  
Hat sich Ladung auf der Vollkugel durch die Influenz verändert? Erkläre und vergleiche mit der ersten Aufgabe.

## 1.4 Literatur

- Paul A. Tipler, *Physik für Naturwissenschaftler und Ingenieure*, Spektrum
- Horst Stöcker, *Taschenbuch der Physik*, Verlag Harri Deutsch