

Influenzversuche mit den Halbkugeln nach Cavendish

Versuchsziele

- Nachweis der Anordnung von elektrischen Ladungen auf der Oberfläche eines elektrischen Leiters.
- Nachweis der räumlichen Trennung von positiven und negativen Ladungen (Influenz) auf einem elektrischen Leiter in der Nähe eines geladenen Körpers.

Grundlagen

Alle Körper besitzen positive und negative elektrische Ladungen. Sie heben sich in einem neutralen Körper auf, so daß keine Ladung zu messen ist. Ein geladener Körper enthält einen Überschuss an positiven oder negativen Ladungen.

In einem elektrischen Leiter sind die überschüssigen elektrischen Ladungen frei verschiebbar. Da sich gleichnamige Ladungen gegenseitig abstoßen, sitzen Ladungen im elektrostatischen Gleichgewicht nur auf der Oberfläche eines Leiters; dann sind die einzelnen Ladungsträger soweit wie möglich voneinander entfernt. Dies wird im Versuch mit zwei zu einer Kugel zusammengefügtten metallischen Halbkugeln demonstriert, die eine zweite Kugel umschließen. Ladungen auf der äußeren Kugel verbleiben auf deren Oberfläche und werden nicht auf die innere Kugel verschoben, auch wenn diese die äußere Kugel berührt (siehe Fig. 1). Wird zuerst die innere Kugel aufgeladen, so werden die Ladungen auf die äußere Kugel verschoben, sobald diese die innere Kugel umschließt und berührt.

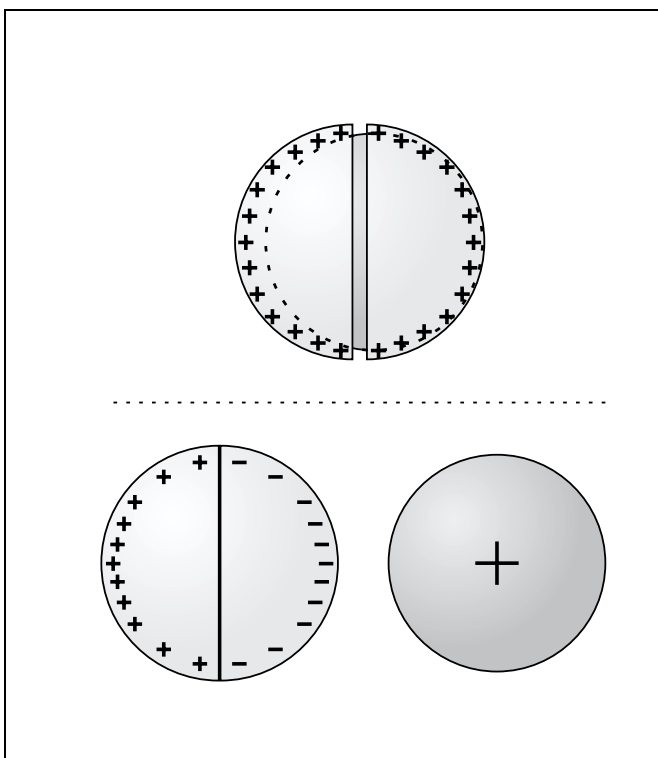
Bringt man einen elektrischen Leiter in die Nähe eines geladenen Körpers, so werden die positiven und negativen elektrischen Ladungen des Leiters räumlich getrennt. Dies folgt aus der Tatsache, daß sich ungleichnamige Ladungen anziehen und gleichnamige abstoßen. Man nennt die Ladungstrennung Influenz und bezeichnet die auf dem Leiter auftretenden Ladungen als Influenzladungen. Zum Nachweis der Influenz werden im Versuch zwei metallische Halbkugeln – zu einer Kugel zusammengefügt – so in die Nähe eines geladenen Körpers gebracht, daß positive Ladungen möglichst nur auf der einen und negative Ladungen auf der anderen Hälfte zu finden sind (siehe Fig. 1). Anschließend werden die Hälften in der Nähe des geladenen Körpers getrennt, so daß die Ladungen auf den Halbkugeln verbleiben.

Die auf die Vollkugel und die Halbkugeln aufgebrauchten Ladungen werden mit einem als Coulombmeter beschalteten Elektrometer-Verstärker beinahe stromfrei gemessen. Als Anzeigegerät für die Ausgangsspannung U_A dient ein beliebiges Voltmeter. Aus der Vergleichskapazität C berechnet man

$$Q = C \cdot U_A \quad (I).$$

Bei $C = 10 \text{ nF}$ entspricht somit z. B. $U_A = 1 \text{ V}$ der Ladung $Q = 10 \text{ nAs}$. Mit anderen Kondensatoren erhält man andere Meßbereiche.

Fig. 1 Anordnung von elektrischen Ladungen auf der Oberfläche eines elektrischen Leiters (oben), Trennung von positiven und negativen Ladungen auf einem elektrischen Leiter in der Nähe eines geladenen Körpers (unten)



Geräte

1 Kugel auf isolierendem Stativ	543 02
1 Paar Halbkugeln nach Cavendish	543 05
1 Hochspannungs-Netzgerät 10 kV	521 70
1 Hochspannungskabel	501 05
1 Elektrometer-Verstärker	532 14
1 Steckernetzgerät 230 V/12 V~/20 W	562 791
1 Voltmeter, bis $U = \pm 10$ V z.B.	531 100
1 STE-Kondensator 1 nF	578 25
1 STE-Kondensator 10 nF	578 10
1 Kupplungsstecker	340 89
1 Anschlußstab	532 16
2 Stativstangen, 25 cm	300 41
2 Leybold-Muffen	301 01
1 Stativlochstab, isoliert, 25 cm	590 13
3 Sockel	300 11
Experimentierkabel	

Vorbemerkung

Der Versuch erfordert eine besondere Sorgfalt bei der Durchführung, denn Ladungsverluste durch „Leckströme“ über den Isolatoren können erhebliche Meßfehler verursachen. Außerdem können unerwünschte Influenzwirkungen das Ergebnis beeinflussen.

Der Versuch muß in einem geschlossenen, trockenen Raum durchgeführt werden, damit Ladungsverluste durch hohe Luftfeuchtigkeit möglichst vermieden werden.

Es empfiehlt sich, die Isolatorstangen der Kugeln mit destilliertem Wasser zu reinigen, denn destilliertes Wasser ist das beste Lösungsmittel für leitfähige Salze auf den Isolatoren. Außerdem sollte man die Isolatorstangen zur Entladung vor jedem Experiment mehrmals zügig durch die nicht rußende Flamme z.B. eines Butangasbrenners ziehen.

Hochspannungs-Netzgerät und Spitze des Hochspannungskabels müssen genügend Abstand zum übrigen Versuchsaufbau haben, damit keine störenden Influenzwirkungen hervorgerufen werden.

Aus dem gleichen Grund muß der Experimentator – insbesondere bei der Ladungsmessung – den Anschlußstab des Elektrometer-Verstärkers in der Hand halten, um sich selbst elektrisch zu erden.

Aufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus zwei Teilen. In Fig. 2 ist die Anordnung der Kugeln und die Hochspannungsversorgung dargestellt. Fig. 3 zeigt die Beschaltung des Elektrometer-Verstärkers zur Messung der Ladungen.

Anordnung von Vollkugel und Halbkugeln:

- Halbkugeln mit der Aussparung (c) nach unten zeigend an Stativmaterial befestigen.
- Halbkugeln so ausrichten, daß sie sich in gleicher Höhe gegenüberstehen und die Vollkugel umschließen, diese jedoch nicht berühren.

Hochspannungsversorgung:

- Hochspannungskabel an Pluspol (a) des Hochspannungs-Netzgeräts anschließen und Minuspol (a) mit Masse verbinden.
- Freie Spitze des Hochspannungskabel durch das oberste Loch der Stativlochstange (b) stecken.

Aufbau zur Ladungsmessung:

- Elektrometer-Verstärker über das Steckernetzgerät mit Spannung versorgen.
- Kupplungsstecker (d) aufstecken.
- STE-Kondensator 10 nF (e) aufstecken.
- Anschlußstab (f) mittels Experimentierkabel mit Masse verbinden und Masse am besten über langes Experimentierkabel an die Erde des Hochspannungs-Netzgeräts anschließen.
- Voltmeter an Ausgang anschließen.

Sicherheitshinweise

Das Hochspannungs-Netzgerät 10 kV entspricht den Sicherheitsbestimmungen für elektrische Meß-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte. Es liefert eine nicht berührungsgefährliche Hochspannung. Folgende Sicherheitsmaßnahmen sind zu berücksichtigen.

- Gebrauchsanweisung zum Hochspannungs-Netzgerät beachten.
- Änderung der Beschaltung im Versuchsaufbau nur bei abgeschaltetem Hochspannungs-Netzgerät vornehmen.
- Versuch so aufbauen, daß weder nicht isolierte Teile noch Kabel und Stecker unbewußt berührt werden können.
- Vor Inbetriebnahme des Hochspannungs-Netzgeräts die Ausgangsspannung auf Null stellen (Drehpotentiometer auf Linksanschlag).
- Zur Vermeidung von Überschlügen Hochspannungskabel so auslegen, daß sich in der Nähe des Kabels keine elektrisch leitenden Gegenstände befinden.

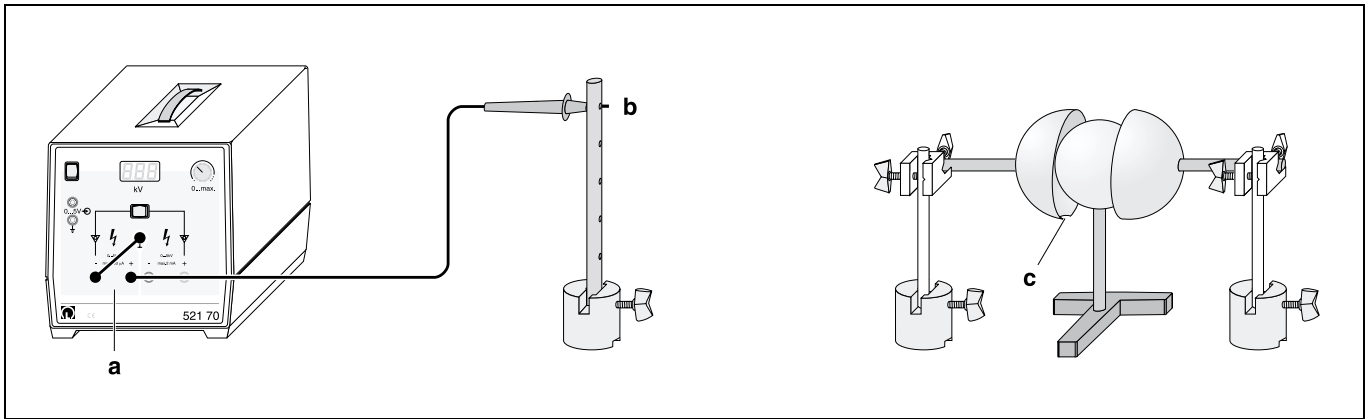


Fig. 2 Versuchsaufbau mit den Halbkugeln nach Cavendish.

Durchführung

Hinweise:

- Halbkugeln und Vollkugel nur am Fuß des Stativs berühren.
- Zur Ladungsmessung den Anschlußstab in der Hand halten.
- Vor jeder Ladungsmessung den Anschlußstab an den Kuppelungsstecker (d) des Elektrometer-Verstärkers führen, um den Kondensator zu entladen.

a) Ladungsverteilung auf elektrischen Leitern

a1) Aufladen der äußeren Kugel

- Beide Halbkugeln und Vollkugel trennen und durch Kontakt mit dem Anschlußstab (f) entladen (Erden im feldfreien Raum).
- Vollkugel mit beiden Halbkugeln umschließen, so daß sie berührt wird.
- Hochspannung auf 5 kV stellen.
- Eine Halbkugel mit Spitze des Hochspannungskabels berühren und aufladen.
- Hochspannung auf Null stellen.
- Halbkugeln auseinander nehmen.
- Zur Messung der Ladungen Anschlußstab (f) in die Hand nehmen, nacheinander Halbkugeln und Vollkugel an den Kupplungsstecker (d) des Elektrometer-Verstärker halten (siehe Fig. 4).

a2) Aufladen der inneren Kugel

- Beide Halbkugeln und Vollkugel trennen und durch Kontakt mit dem Anschlußstab entladen
- Hochspannung auf 5 kV stellen.
- Vollkugel mit Spitze des Hochspannungskabels berühren und aufladen.
- Hochspannung auf Null stellen.
- Vollkugel mit beiden Halbkugeln umschließen, so daß sie berührt wird.
- Halbkugeln auseinander nehmen.
- Ladungen der Halbkugeln und der Vollkugel mit Elektrometer-Verstärker (Anschlußstab in Hand halten) messen.

b) Influenz

- Beide Halbkugeln und Vollkugel trennen und durch Kontakt mit dem Anschlußstab entladen.
- Hochspannung auf 5 kV stellen.

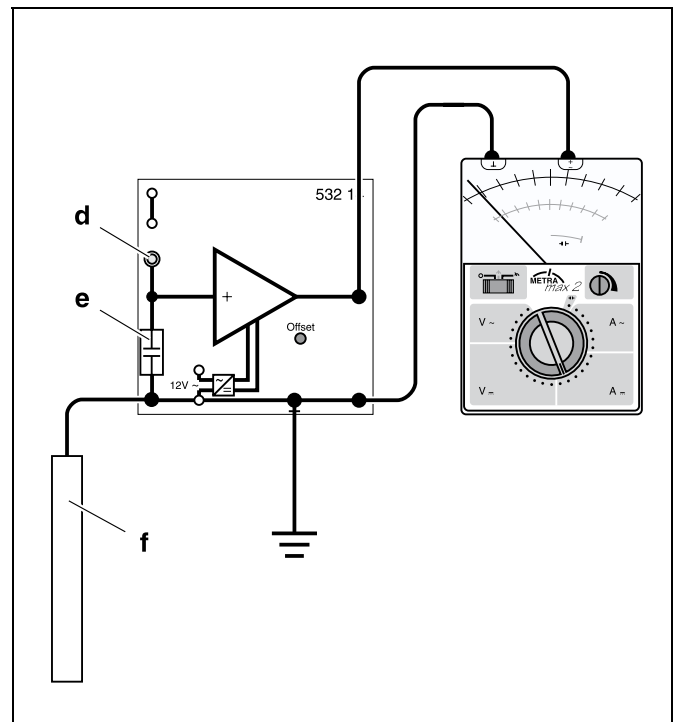
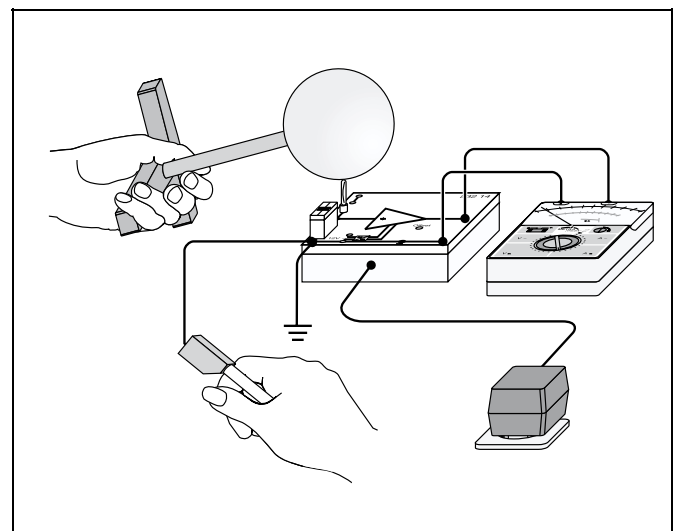


Fig. 3 Beschaltung des Elektrometer-Verstärkers zur Messung der Ladungen.

Fig. 4 Messung der Ladung.



- Vollkugel mit Spitze des Hochspannungskabels berühren und aufladen.

Hochspannung auf Null stellen.

- Halbkugeln zu einer vollen Kugel zusammenführen und in die Nähe der geladenen Vollkugel bringen, dabei die Trennungsebene der beiden Halbkugeln nicht auf den Mittelpunkt der Vollkugel richten.
- Halbkugeln auseinander nehmen.
- Ladungen der Halbkugeln und der Vollkugel unter Beachtung des Vorzeichens mit Elektrometer-Verstärker (Voltmeter mit Nullstellung Mitte, Anschlußstab in Hand halten) messen.

Meßbeispiel

Hochspannung: $U = 5 \text{ kV}$

a) Ladungsverteilung auf elektrischen Leitern

a1) Aufladen der äußeren Kugel

Tab. 1: Verteilung der Ladungen nach Aufladen der äußeren Kugel

Körper	$\frac{Q}{\text{nAs}}$
Halbkugel 1	18
Halbkugel 2	18
Vollkugel	2

a2) Aufladen der inneren Kugel

Tab. 2: Verteilung der Ladungen nach Aufladen der inneren Kugel

Körper	$\frac{Q}{\text{nAs}}$
Halbkugel 1	12
Halbkugel 2	12
Vollkugel	1

b) Influenz

Tab. 3: Verteilung der Ladungen

Körper	$\frac{Q}{\text{nAs}}$
Vollkugel	28
Halbkugel 1	9
Halbkugel 2	-8

Auswertung und Ergebnis

a) Ladungsverteilung auf elektrischen Leitern

a1) Aufladen der äußeren Kugel

Die beiden Halbkugeln werden zu gleichen Teilen geladen, da sie zusammen eine volle Kugel bilden, auf deren Oberfläche sich die Ladungen gleichmäßig verteilen.

Die innere Vollkugel wird nicht aufgeladen, obwohl sie die Halbkugeln berührt. Es wandert keine Ladung nach innen (*Faraday-Käfig*).

Lediglich beim Auseinanderziehen der Halbkugeln kann etwas Ladung auf die Vollkugel übergehen.

a2) Aufladen der inneren Kugel

Die Ladung wandert von der inneren Vollkugel nach außen auf die beiden äußeren Halbkugeln und verteilt sich dort zu gleichen Teilen.

b) Influenz

Auf beiden Halbkugeln werden durch Influenz im elektrischen Feld der geladenen Vollkugel Ladungen so verschoben, daß die beiden Halbkugeln zu gleichen Teilen entgegengesetzt geladen sind.