

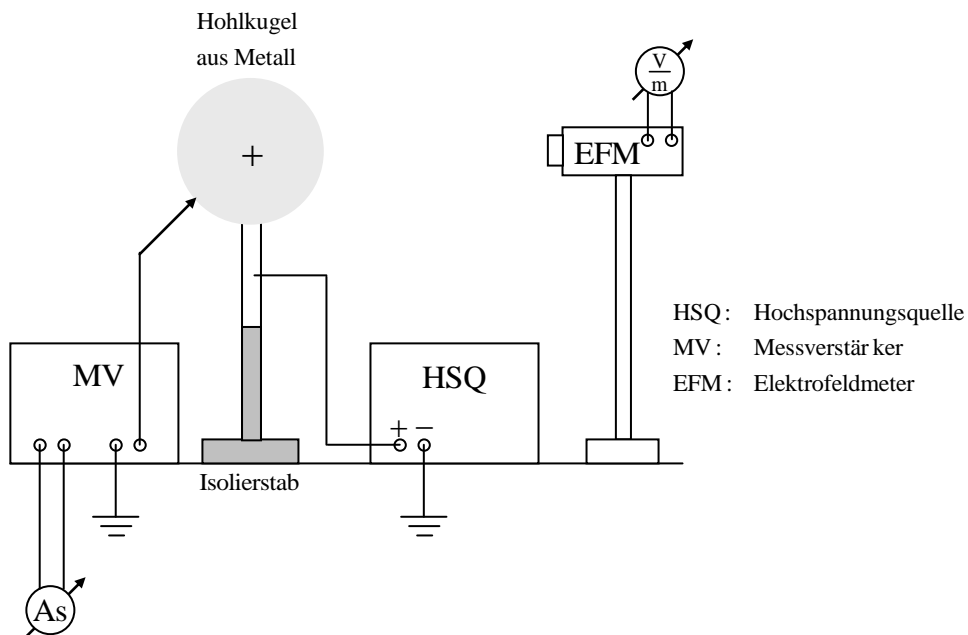
11.6 Experimentelle Untersuchung des elektrischen Feldes einer radialsymmetrischen Ladung

Wie wir bereits gesehen haben gilt für die elektrische Feldstärke E

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

In einem Versuch soll nun die Abhängigkeit des Betrages E der elektrischen Feldstärke von der Ladung Q einer Hohlkugel (felderzeugende Ladung) und von der Entfernung r vom Kugelmittelpunkt untersucht werden. (vgl. AP 2007 AII)

Versuchsaufbau:



Versuchsbeschreibung:

Auf eine Hohlkugel mit dem Radius R wird über eine Hochspannungsquelle (HSQ) eine Ladungsmenge Q aufgebracht. Die Ladung Q erzeugt im Außenraum der Hohlkugel ein radialsymmetrisches elektrisches Feld. Mit Hilfe eines Elektrofeldmeters wird die elektrische Feldstärke E im Abstand r vom Mittelpunkt ($r > R$) der Hohlkugel direkt gemessen.

Der Betrag der Ladung Q kann nach erfolgter Messung über einen Messverstärker (MV) ermittelt werden.

Versuchsdurchführung:

Bei der Durchführung des Versuchs erhält man die folgenden Messergebnisse:

Messung Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Q in 10^{-9} As	15,0	15,0	15,0	15,0	7,5	3,8	1,9
r in cm	10,0	12,0	16,0	20,0	12,0	12,0	12,0
E in $\frac{kV}{m}$	13,5	9,4	5,3	3,4	4,5	2,3	1,3

Versuchsauswertung: (angelehnt an die AP 2007 AII Aufgaben 1.1 – 1.2.4)

- a) Geben Sie die Nummern derjenigen Messungen an, in denen die Abhängigkeit des Betrages E der elektrischen Feldstärke von der Ladung Q untersucht wird. Ermitteln Sie rechnerisch wie E von Q abhängt.

Messung Nr.	2	5	6	7
Q in 10^{-9} As	15,0	7,5	3,8	1,9
r in cm	12,0	12,0	12,0	12,0
E in $\frac{\text{kV}}{\text{m}}$	9,4	4,5	2,3	1,3
$\frac{E}{Q}$ in $10^9 \frac{\text{kV}}{\text{m}\cdot\text{As}}$	0,63	0,60	0,61	0,68

Im Rahmen der Mess- und Rechengenauigkeit gilt:

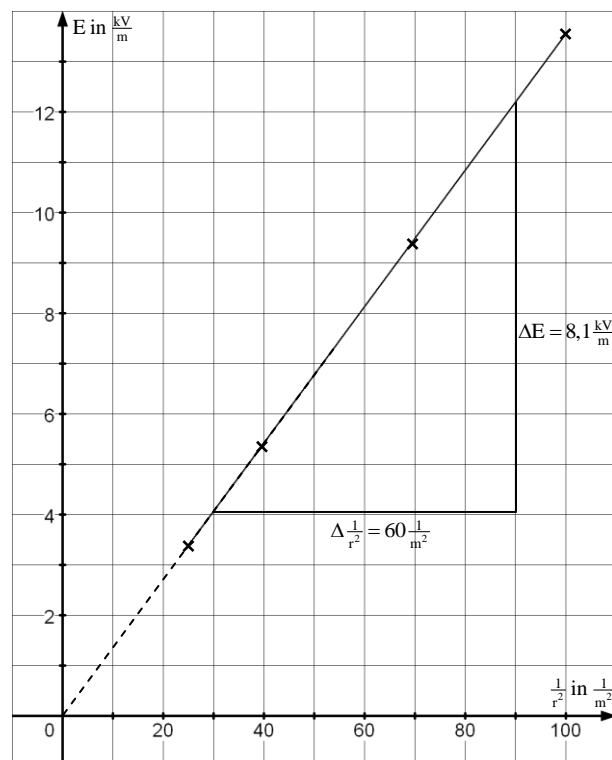
$$\frac{E}{Q} = \text{konst.} \Rightarrow E = k \cdot Q \Rightarrow E \sim Q \quad (\text{falls } r = \text{konst.})$$

- b) Ermitteln Sie durch graphische Auswertung der Messreihe, wie E von r abhängt.

Mess. Nr.	1	2	3	4
E in $\frac{\text{kV}}{\text{m}}$	13,5	9,4	5,3	3,4
r in cm	10,0	12,0	16,0	20,0
r^2 in 10^{-2}m^2	1,00	1,44	2,56	4,00
$\frac{1}{r^2}$ in $\frac{1}{\text{m}^2}$	100	69,4	39,1	25,0

Im Rahmen der Mess- und Zeichengenauigkeit liegen die Messwerte auf einer Ursprungshalbgeraden.

Somit folgt: $E \sim \frac{1}{r^2}$



- c) Geben Sie den Zusammenhang zwischen E und r in Form einer Gleichung an und bestimmen Sie die dabei auftretende Konstante k aus dem Diagramm von Teilaufgabe b).

$$E \sim \frac{1}{r^2} \Rightarrow E = k \cdot \frac{1}{r^2} \Rightarrow \Delta E = k \cdot \Delta \left(\frac{1}{r^2} \right) \Rightarrow k = \frac{\Delta E}{\Delta \left(\frac{1}{r^2} \right)}$$

$$k = \frac{8,1 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{60 \frac{1}{\text{m}^2}} = 1,35 \cdot 10^2 \text{Vm} \approx 1,4 \cdot 10^2 \text{Vm}$$

d) Bestimmen Sie nun mit Hilfe der Konstanten k die elektrische Feldstärke ϵ_0 .

Es gilt:

$$E = k \cdot \frac{1}{r^2} \quad (1) \quad \text{aus 1.2.2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad (2) \quad \text{aus Formelsammlung}$$

Durch gleichsetzen erhält man:

$$k \cdot \frac{1}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$\epsilon_0 = \frac{Q}{4\pi \cdot k} = \frac{15,0 \cdot 10^{-9} \text{ As}}{4\pi \cdot 1,4 \cdot 10^2 \text{ Vm}} = 8,5 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

Aufgaben:

1.0 Die elektrische Feldstärke eines Plattenkondensators beträgt $E = 7,5 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$, der Plattenabstand beträgt $d = 5,0 \text{ cm}$.

1.1 Bestimmen Sie die Kraft die eine Ladung von $q = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ im elektrischen Feld des Kondensators erfährt.

$$F_{\text{el}} = q \cdot E = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ C} \cdot 7,5 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

1.2 Berechnen Sie die Arbeit die nötig ist, um die Ladung von einer Platte zur anderen zu befördern.

$$W = F_{\text{el}} \cdot d = q \cdot E \cdot d = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ C} \cdot 7,5 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot 0,05 \text{ m} \approx 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

2. Ein Plattenkondensators ist so aufgestellt, dass die Feldlinien vertikal von oben nach unten verlaufen. Die elektrische Feldstärke beträgt $E = 4,5 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$.

In den Feldraum des Kondensators bringt man eine kleine geladene Kugel, dessen Masse genau $m = 0,025 \text{ g}$ beträgt. Berechnen Sie die Ladung der Kugel, wenn diese schwebt.

Welche Ladung trägt die Kugel?

$$\vec{F}_{\text{el}} + \vec{F}_G = \vec{0}$$

$$\vec{F}_{\text{el}} = -\vec{F}_G$$

$$qE = -mg$$

$$q = -\frac{mg}{E} = -\frac{2,5 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4,5 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}} \approx -5,5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

3.0 Eine Hohlkugel mit dem Radius $R = 3,0\text{cm}$ trägt die Ladung Q . In einer Entfernung von $r_1 = 53,0\text{cm}$ vom Kugelmittelpunkt wird eine elektrische Feldstärke $E_1 = 170 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ gemessen.

3.1 Berechnen Sie den Betrag der Ladung Q .

$$E = \frac{F_C}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2} \Rightarrow Q = 4\pi\epsilon_0 E d^2$$

$$Q = 4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 170 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot (0,530\text{m})^2 = 5,31 \cdot 10^{-9} \text{C}$$

3.2 Berechnen Sie welche elektrische Feldstärke E_2 in einer Entfernung $r_2 = 110\text{cm}$ gemessen werden kann.

$$E = \frac{F_C}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2} = \frac{1}{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}} \cdot \frac{5,31 \cdot 10^{-9} \text{C}}{(1,10\text{m})^2} = 39,4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

3.3 Begründen Sie inwiefern sich die elektrische Feldstärke ändern würde, wenn die Kugel mit der Ladung Q den Radius $R = 5,0\text{cm}$ haben würde?

Die Feldstärke bleibt konstant, weil sowohl die felderzeugende Ladung Q (stellt man sich im Kugelmittelpunkt vor!) als auch der Abstand d konstant bleibt.