Organisation

Materials: nicholasbehr.ch

Email: behrn@ethz.ch

Time & Place: Dienstag $10^{15} \rightarrow 12^{00}$ CAB_G_52

Nachname A → Blo (jeder willkommen)

Notenbonus: • Serie upload auf Moodle

• 3x im Semester bewertet

mind. 2x → 75% gelöst (ehrlicher Versuch, nicht zwingend richtig gelöst)

Ablauf: Erste Stunde • (Nachbesprechung alter Serie) ← Wenn vorher per mail gewünscht! (vor Montag)

• Theorie

• Beispiele

• Vorbesprechung aktueller Serie (Tipps)

Zweite Stunde • Lösen aktueller Serie ← ich bin da für Fragen

Technik

Übersicht in Serie & Prüfung
↳ Fehler vermeiden, Ansatz finden

1. gegeben Variablen, aufschreiben / Skizze
2. gesucht
3. Lösung Verbindung 1 & 2 formeln & Lösungsweg aufs Blatt

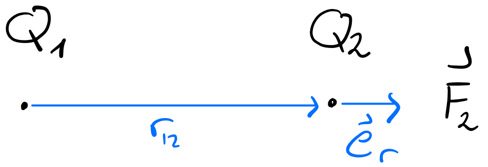
Jetzt zsf ausdrucken & mitnehmen

Das elektrostatische Feld

Elementarladung $e \simeq 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,As$ $\quad [As] = [C]$

Das Coulomb'sche Gesetz (Kraft zweier Ladungen aufeinander)

r von ① nach ②



$$\vec{F}_2 = \vec{e}_r \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$+ \leftrightarrow +$ $\quad - \leftrightarrow -$ $\quad + \rightarrow\leftarrow -$

└ dielektrizitäts Konstante (des Vakuums)

E- Feld

el. Feldstärke — vektorielle raumzustandsgrösse an einem punkt

E- feld — alle Feldvektoren in gesamten raum

$$\vec{F}_2 = \vec{E}_1 \, Q_2$$

└ $\vec{E}_1 = \vec{e}_r \dfrac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}$ $\quad [E] = \frac{V}{m}$

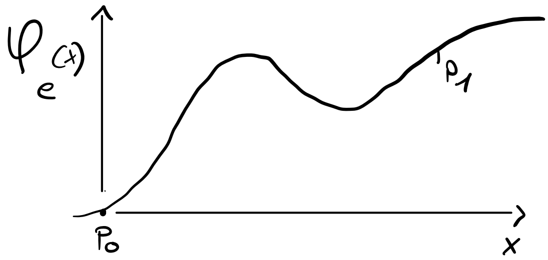
- beschreibt wirkung des elektrischen Feldes auf (pos) Ladungsträger
  ↳ wird gemessen durch auf Ladungen ausgeübte Kraft
- die Gesamtfeldstärke aus mehreren Ladungen ergibt sich durch lineare Überlagerung der Einzelladungen
- material abhängig

Darstellung von Feldern

Feldlinien

1. zeigen von + zu −
2. innerhalb von el leitfähigen Körper keine feldlinien (influenz)
3. senkrecht auf el. leitfähigem Köper & Äquipotentialflächen (verschieb.)
4. feldlinien kreuzen sich nie
5. je stärker das Feld desto dichter die Linien
6. Liegen Ladungen innerhalb einer Metallhülle ist das Feld aussen nur von gesamtladung und nicht von verteilung abhängig

Das elektrostatische Potential



$\varphi_e(P_0) = 0$

gegen Feldkräfte

Arbeit = Kraft · Weg = pot. energie diff.

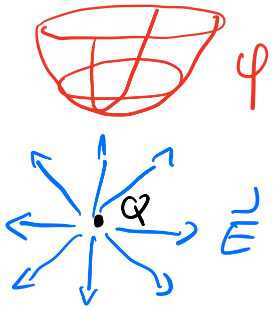
$\vec{F} = \vec{E} \cdot Q$

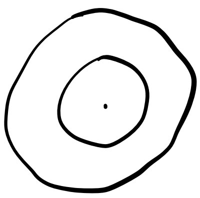
$$W_e = -\int_{P_0}^{P_1} \vec{F} \cdot d\vec{s} = -Q \int_{P_0}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} = -Q\,U_{01}$$

- im statischen fall verschwindet das Umlaufintegral $\oint_C \vec{E}\, d\vec{s} = 0$
  "auf dem Berg im Kreis gelaufen"

Potential $\varphi_e(P_1) = \dfrac{W_e(P_1)}{Q} = -\int_{P_0}^{P_1} \vec{E}\, d\vec{s}$ Bezug P_0 üblicherweise ∞

Spannung $U_{12} = \varphi(P_1) - \varphi(P_2) = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s}$





Äquipotentialflächen

Die elektrische Flussdichte

el. Flussdichte $\varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} = \vec{e}_r \cdot \dfrac{Q}{4\pi r^2} = \vec{D}$ $[D] = \dfrac{As}{m^2}$

el. Fluss $\Psi = \iint_A \vec{D} \cdot d\vec{A}$

$\Psi = \oiint_A \vec{D} \cdot \vec{A} = Q$ $D_{n_2} - D_{n_1} = \sigma$

- beschreibt Ursache für raumzustand der sich durch Kraftwirkungen auf ladung bemerkbar macht
- material unabhängig

$\vec{E}$ $\vec{D}$

Wirkung Ursache

Beispiel Zusammen, besprechen

Betrachten Sie eine Metallkugel mit Radius a, die mit einer Ladung Q geladen ist im Vakuum. Bestimmen Sie das elektrische Feld $\vec{E}(\vec{r})$ um die Kugel. *Hinweis*: Benutzen sie Kugelkoordinaten und nutzen Sie die Symmetrie der Situation aus.

Gegeben:

• Vakuum

Leiter

Ladung Q

Gesucht: $\vec{E}(\vec{r})$

in Kugelkoordinaten (r, θ, ϕ) (Symmetrie)

Lösung: Ursprung Kugelzentrum

Symmetrie $\vec{E} = E \cdot \vec{e}_r$

$\vec{D} = D \cdot \vec{e}_r$

$E(\vec{r}) = \{0 \mid r \in [0, a)\}$ (inneres leitenden Körpers)

Wir haben die Ursache gegeben → D-feld → E-feld

Formeln $\vec{D} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \vec{E}$ Vakuum $\varepsilon_r = 1$

$$Q = \underset{\partial V}{\oiint} \vec{D} \, d\vec{A}$$

$$Q = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \underbrace{D(r) \cdot \vec{e}_r}_{\text{nur radial Komponente}} \cdot \underbrace{\left(r^2 \sin(\theta) \, d\theta \, d\varphi \, \vec{e}_r + \ldots \right)}_{d\vec{A} \text{ sphärisch}}$$

$$= D(r) \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} r^2 \sin(\theta) \, d\theta \, d\varphi$$

$$= D(r) \cdot r^2 \int_0^{2\pi} 2 \, d\varphi = D(r) \cdot 4\pi r^2$$

$$D(\vec{r}) = \frac{Q}{4\pi r^2}$$

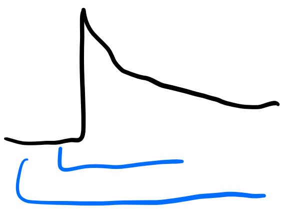
$$E(\vec r) = \frac{Q}{4\pi r^2}\cdot \vec e_r \cdot \frac{1}{\varepsilon_r \varepsilon_0} = \frac{Q}{4\pi \varepsilon_0 r^2}\vec e_r$$ ← (Feld einer Punktladung)

$$\vec E(\vec r) = \begin{cases} 0 & r \in [0, a) \\ \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec e_r & r \in [a, \infty) \end{cases}$$

// Berechnen Sie das Potential φ der Kugel.

Gegeben: "

Gesucht: potential auf Kugeloberfläche



$\int$ kein unterschied

ganzer leiter auf selben potential?

Lösung: Formel $\varphi(P_B) = -\int_{\infty}^{P_B} \vec E \, d\vec s$

$$\varphi_{Kugel} = +\int_a^{\infty} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec e_r \cdot \vec e_r$$

$$= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[-\frac{1}{r}\right]_a^{\infty} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$$

Influenz vs. Polarisation

- Leiter
- interne freie Ladungen bewegen sich, bis externes Feld kompensiert ist

"inneres eines Leiters ist feldfrei"

- Isolator
- Ladungen verschieben/orientieren sich in lokaler Umgebung

"Feld in einem Material ist reduziert gegenüber dem Vakuum"

Kapazität

$$C = \frac{Q}{U} \qquad [C] = \frac{C}{V} = F \quad (\text{Farad})$$

↳ „Fähigkeit Ladung aufzunehmen"

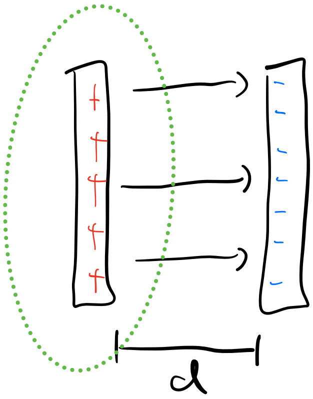
→ Allgemeine Vorgehensweise:

$$Q = \oiint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = \oiint_A \sigma \, dA$$

$$U = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = E d \quad (\text{Homogenes Feld})$$

Beispiel: Platten Kondensator

Gegeben:



Ges: C

LSG: $C = \frac{Q}{U}$

$$Q = \oint\!\!\oint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = \sigma \cdot A$$

$$D_{n_2} - \cancel{D_{n_1}}^{\,\to 0} = \sigma$$

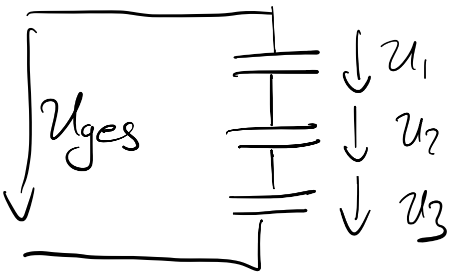
$$U = E \cdot d = \frac{\vec{D}}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} \cdot d = \frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

$$C = \frac{\cancel{\sigma} A}{\frac{\cancel{\sigma} \cdot d}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d}$$

An der Prüfung mit Zylinder Kondensator oder Kugel Kondensator, symmetrie wie zuvor

Serie & Parallelschaltung von Kondensatoren

Serie

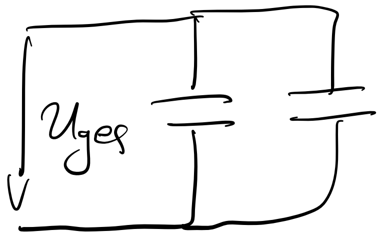


Spannung verteilt sich über alle Kondensatoren
→ grösserer Abstand

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

kleiner

Parallel



- Spannung ist gleich über jeden Kondensator
- Ladungen verteilen sich über grössere Fläche

→ grössere Fläche

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3$$

grösser

Tipps

1) formeln aufs blatt
   Vorzeichen beachten
   rechnung pro ladung & superposition

2) "Darstellung von Feldern"

3) a) Potential "Hügelhöhe"
   Spannung "Höhenunterschied"

   b) Konstanten, Einheiten (S.21 Zsf)
   Anzal wassermoleküle in 1 ml ist 3.3×10^{22}

4) "

5) – Flächen ladungs dichte $\sigma = \frac{q}{A}$
   – Influenz