

Systematisierung Felder und Bewegung von Ladungsträgern in Feldern

Systematisierung Feld

Unterschiede:

	elektrisches Feld	magnetisches Feld
Beschreibung	Das elektrische Feld ist der besondere Zustand des Raumes um elektrische Ladungen.	Das magnetische Feld ist der besondere Zustand des Raumes um Dauermagneten und stromdurchflossene Leiter
Ursache	elektrische Ladungen	Dauermagnete stromdurchflossene Leiter
Kräfte auf	• geladene Körper • ungeladene Körper durch Polarisierung	• Dauermagnete • stromdurchflossene Leiter • ferromagnetische Werkstoffe
Definition einer Feldgröße	elektrische Feldstärke	magnetische Flussdichte
Kraft auf Probekörper	$E = \frac{F}{Q}$	$B = \frac{F}{I \cdot l}$

Gemeinsamkeiten:

- besonderer Zustand des Raumes
- Träger von Energie
- an keine stofflichen Träger gebunden
- lassen sich durch Kraftwirkung nachweisen

Feld

real existierende Erscheinung
räumlich (3D)

Feldlinienbilder

Modell, Vereinfachung
in einer Ebene (2D)

Das Feld existiert auch zwischen den Feldlinien

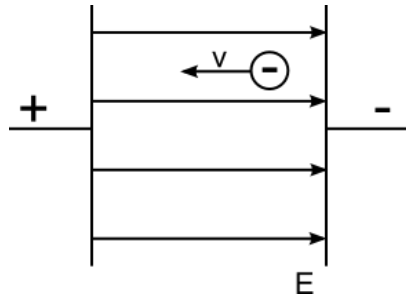
Das Feldlinienbild ermöglicht Aussagen über Richtung und Betrag der Kraft auf Probekörper

1. Das Feld ist am stärksten, wenn die Feldlinien am dichtesten sind.
2. homogenes Feld (Feld überall gleich stark) $\Rightarrow$ Feldlinien parallel
3. inhomogenes Feld (Feld unterschiedlich stark) $\Rightarrow$ Feldlinien unterschiedlich dicht
4. Richtung der Kraftwirkung auf positive Probeladungen/ Nordpole

Bewegung von Ladungsträgern in Feldern

1. elektrisches Feld

a. Ladungsträger parallel zu Feldlinien



homogenes Feld
 $\Rightarrow$ gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$F_{el} = F_{mech}$$

$$E \cdot Q = m \cdot a$$

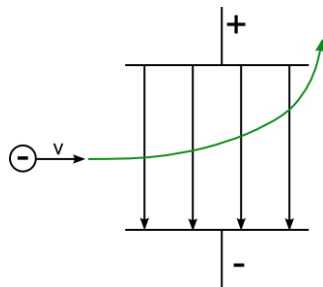
$$a = \frac{U \cdot Q}{m \cdot d}$$

Energiebetrachtung:

sei $v_0 = 0$ so gilt: $E_{el} = E_{kin}$

$$Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

b. Ladungsträger senkrecht zu Feldlinien



x-Richtung: gleichförmige Bewegung, $v_0 =$ konstant

y-Richtung: beschleunigte Bewegung, "elektrische Wurfparabel"

$$F_{ely} = F_{mech}$$

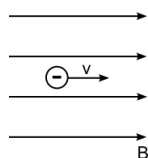
$$E \cdot Q = m \cdot a_y$$

$$v_y = a_y \cdot t = \frac{U_y \cdot Q}{m \cdot d} \cdot t$$

$$v_{ges} = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$$

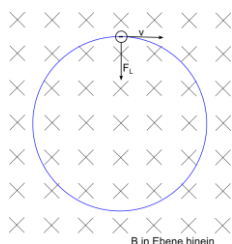
2. magnetisches Feld

a. Ladungsträger parallel zu Feldlinien



geradlinig gleichförmige Bewegung,
 weil Lorentzkraft $F_L = 0$

b. Ladungsträger senkrecht zu Feldlinien

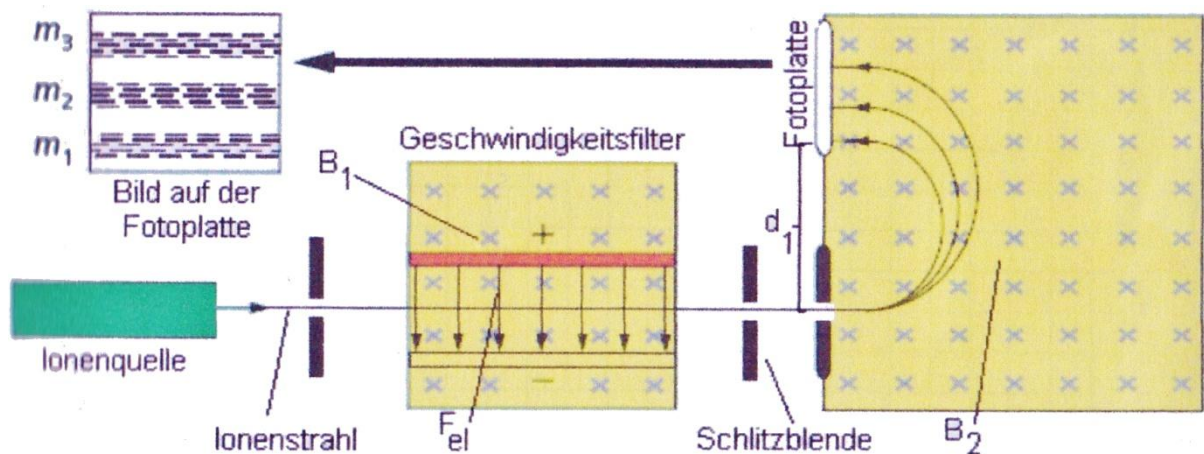


gleichförmige Kreisbewegung

$$F_L = F_r$$

$$Q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

Massenspektrograph



d_1 stellt den Durchmesser einer Kreisbahn dar. Die in der Skizze zu d_1 gehörige Masse wäre m_1 .

- Elektronenstrahl ionisiert Gasatome
- Geschwindigkeitsfilter: elektrisches und magnetisches Feld stehe senkrecht zueinander
 $\Rightarrow$ Ionen mit gleicher Geschwindigkeit werden erhalten
- F_{el} übt Kraft nach unten auf positive Ionen aus
- F_L übt Kraft nach oben aus
- $\Rightarrow$ alle Ionen haben am Ende die gleiche Geschwindigkeit
- B_2 = homogenes Magnetfeld $\Rightarrow$ zwingt Ionen auf eine Kreisbahn
- Ionen treffen auf Fotoplatte $\Rightarrow$ Bahnradius kann ermittelt werden $\Rightarrow$ Bestimmung spezifische Ladung
- $\Rightarrow$ Ionenmasse kann bestimmt werden

Wirkungsweise:

- Ionenquelle liefert Ladungsträger
- Beschleunigung im elektrischen Feld
- Energieerhaltungssatz:

$$Q \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot Q \cdot U}{m}}$$

- geradlinig gleichförmige Bewegung:

$$F_{el} = F_L$$

$$Q \cdot E = Q \cdot v \cdot B_1$$

- gilt für jene Teilchen mit $v = \frac{E}{B_1}$
- im Magnetfeld B_2 gleichförmige Kreisbewegung

$$F_L = F_r$$

$$Q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

- Radius der Kreisbahn $r = \frac{m \cdot v}{Q \cdot B_2}$
- mit v aus Geschwindigkeitsfilter $r = \frac{m \cdot E}{Q \cdot B_1 \cdot B_2}$

Hall-Effekt

- Körper im Magnetfeld $\Rightarrow$ auf Ladungsträger wirkt Lorentzkraft
- dünnes Metallband $\Rightarrow$ Feldlinien senkrecht $\Rightarrow$ Lorentzkraft führt dazu, dass sich Träger mit negativer Ladung in einem Punkt sammeln
- zwischen diesem Punkt und entgegengesetztem ist Spannung messbar $\Rightarrow$ Hall-Spannung
- $\Rightarrow$ Spannung wächst bis Kraft auf Ladungsträger = Lorentzkraft

$$F_{el} = F_L$$

$$e \cdot E = e \cdot \frac{U_H}{b} = e \cdot v \cdot B$$

Herleitung:

1. Annahme:

Es gibt nur eine Sorte von beweglichen Ladungsträgern (z.B. Elektronen) die zum Strom beitragen.

2. Annahme:

Alle queren mit der gleichen Geschwindigkeit v das Silberband:

$$F_L = F_{el}$$

$$Q \cdot v \cdot B = Q \cdot E$$

$$Q \cdot v \cdot B = Q \cdot \frac{U_H}{b}$$

$$U_H = v \cdot B \cdot b$$

$$\text{Querstrom } I_{\text{quer}}: I_{\text{quer}} = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e}{t} \Rightarrow t = \frac{N \cdot e}{I_{\text{quer}}}$$

$$\text{Geschwindigkeit der Ladungsträger: } v = \frac{l}{t} = \frac{l \cdot I_{\text{quer}}}{N \cdot e}$$

$$\text{Hallspannung: } U_H = \frac{l \cdot I_{\text{quer}}}{N \cdot e} \cdot B \cdot b = \frac{l \cdot b \cdot d \cdot I_{\text{quer}} \cdot B}{d \cdot N \cdot e}$$

$$U_H = \frac{v \cdot I_{\text{quer}} \cdot B}{N \cdot e \cdot d} = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{I_{\text{quer}} \cdot B}{d}$$

$$B = \frac{n \cdot e \cdot d}{I} \cdot U_H$$

n... Ladungsträgerdichte

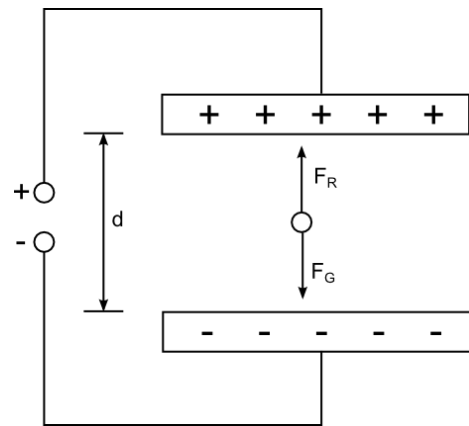
Einteilung Naturkonstanten

universell	Teilchen	Feld
- Lichtgeschwindigkeit - Plancksches Wirkungsquantum h	- Elementarladung e - Masse Elektron m_e	- Gravitationskonstante γ - elektrische Feldkonstante ϵ - magnetische Feldkonstante μ

Zusammenhänge: $c = (\sqrt{\epsilon \cdot \mu})^{-1}$

Milikan Experiment:

- geladenes Teilchen zwischen horizontalen Kondensatorplatten
- Elementarladung näherungsweise bestimmbar
- unberücksichtigt Reibungskräfte und Auftriebskräfte
- Radius r nicht direkt messbar (indirekt über die Sinkgeschwindigkeit eines Öltröpfchens ohne elektrisches Feld)



Radiusbestimmung - Ansatz:

Kräftegleichgewicht: $F_G = F_R$

resultierende Kraft = 0 $\Rightarrow$ gleichförmige Bewegung

kleine Geschwindigkeiten: Stokes'sche Reibung

$$m \cdot g = 6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r \cdot v \quad \text{mit} \quad m = \rho \cdot V = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho}{3}$$

Radiusbestimmung:

$$r = 3 \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot v}{2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{Öl}} - \rho_{\text{Luft}})}}$$

μ ... Zähigkeit der Luft $1,8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$

v ... Fallgeschwindigkeit ohne elektrisches Feld

$\rho_{\text{Öl}}$... Dichte des Öles = $910 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Messgrößen:

- Spannung am Kondensator im Schwebefall
- Fallstrecke ohne Spannung
- Fallzeit ohne Spannung

Fehlerbetrachtung:

- Auftriebskräfte nicht berücksichtigt
- Temperaturabhängigkeit der Konstanten nicht beachtet

Ergebnis:

Es häufen sich die ganzzahligen Vielfachen der Elementarladung. Die Ladung ist gequantelt. $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ als kleinste mögliche Ladung, da $Q = k \cdot e$ (ganzzahlig Vielfaches; $k \in \mathbb{Z}$)

Bestimmung der spezifischen Ladung e/m :

Ansatz: Lorentzkraft = Radialkraft

$$F_L = F_r$$

$$e \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{B \cdot r} \quad (1)$$

Beschleunigung im elektrischen Feld

Ansatz:

$$E_{\text{el}} = E_{\text{kin}}$$

$$e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$\text{Gleichung (1) in Gleichung (2) einsetzen: } e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{e^2 \cdot B^2 \cdot r^2}{m^2}$$

$$\text{gekürzt: } U = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m} \cdot B^2 \cdot r^2$$

$$\text{umgeformt: } \frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot r^2}$$

U... Beschleunigungsspannung

r... Radius der Kreisbahn