

# Studiewijzer

de colleges in vogelvlucht

# Inhoud

## Elektrostatica

- 1. **Wet van Coulomb: vergelijking voor elektrische kracht**
2. **Wet van Gauss: vergelijking voor elektrisch veld**
3. **Veldvergelijkingen: Divergentie en Kringintegraal**
4. **Electrische Potentialaal & Energie**
5. **Elektrische velden in materie: Geleiders**
6. **Elektrische velden in materie: Isolatoren**

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \mathbf{r} / e_0$$

$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = 0$$

Griffiths:

- Vektor: §1.1 m.u.v. §1.1.3 en §1.1.5
- Wet van Coulomb: §2.1

# I: Wat heb ik geleerd?

Lading + of -

$$q_{\text{elektron}} \gg -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \text{ en } \dot{a}q = \text{constant}$$

Kracht en  $\vec{E}$ -Veld  
(Coulomb)

$$\vec{F} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \text{ en } \vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r}$$

Veld uit  $\rho(\vec{r})$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{volume}} \rho(\vec{r}') \frac{\hat{r}}{r^2} dV$$

Configuraties:

- ❖ puntladingen
- ❖ dipool
- ❖ lijnlading

# Inhoud

## Elektrostatica

1. Wet van Coulomb: vergelijking voor elektrische kracht
- 2. **Wet van Gauss: vergelijking voor elektrisch veld**
3. Veldvergelijkingen: Divergentie en Kringintegraal
4. Elektrische Potentialaal & Energie
5. Elektrische velden in materie: Geleiders
6. Elektrische velden in materie: Isolatoren

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \mathbf{r} / e_0$$

$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = 0$$

### Griffiths:

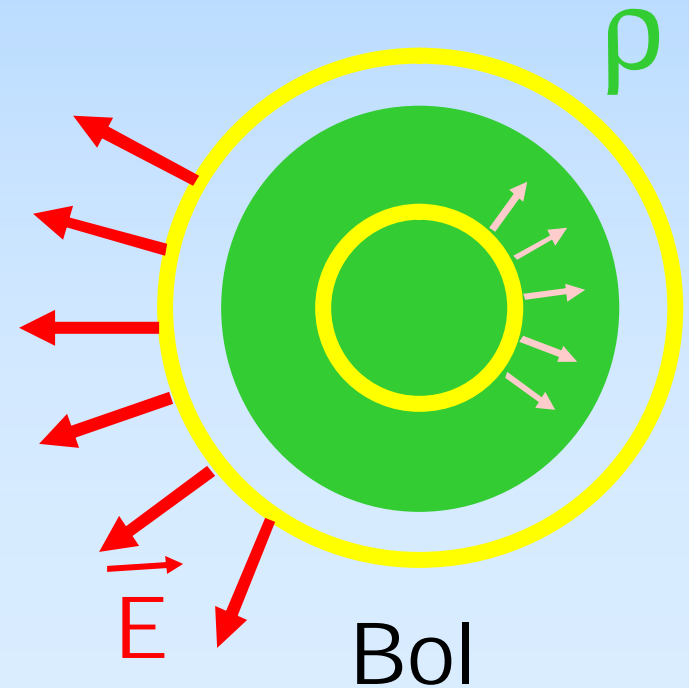
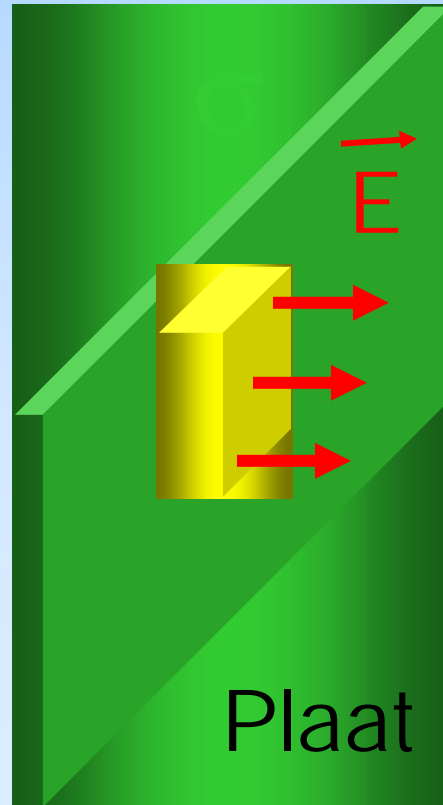
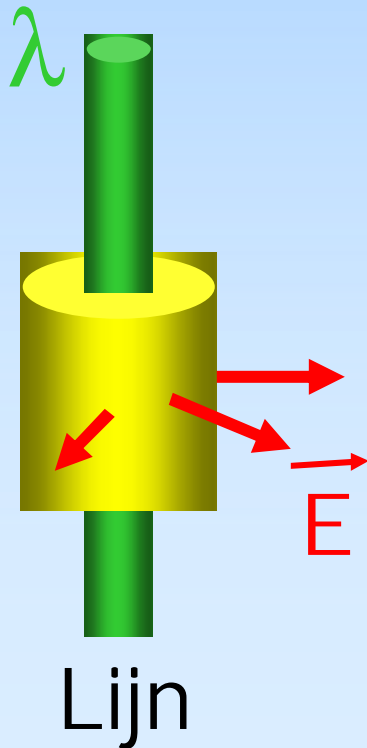
- Coördinaten definitie en volume elementje BOL §1.4.1 en Cilinder §1.4.2
- Integreren: §1.3.1 (inleiding)
- Wet van Gauss: §2.2 m.u.v. §2.2.2 (komt pas in college # 4)

# II: Wat heb ik geleerd?

Volume integralen: • cartesische, cilinder & bol coördinaten

Veld uit  $\rho(\vec{r})$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{direkt} \Rightarrow \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{volume}} \mathbf{r}(\vec{r}) \frac{\hat{r}}{r^2} dv \\ \text{via wet van Gauss} \Rightarrow \oint_{\text{oppervlak}} \vec{E} \cdot d\vec{o} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{\text{volume}} \rho(\vec{r}) dv \end{array} \right.$$



# Inhoud

## Elektrostatica

1. Wet van Coulomb: vergelijking voor elektrische kracht
2. Wet van Gauss: vergelijking voor elektrisch veld
- 3. **Veldvergelijkingen: Divergentie en Kringintegraal**
4. Elektrische Potentialaal & Energie
5. Elektrische velden in materie: Geleiders
6. Elektrische velden in materie: Isolatoren

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \mathbf{r} / e_0$$

$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = 0$$

Griffiths:

- Divergentie: §1.2.4
- Stelling van Gauss: §1.3.4
- Energie & Arbeid: §2.4

# III: Wat heb ik geleerd?

Divergentie

$$\vec{\nabla} \equiv \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

Stelling van Gauss:  $\oint_{\text{oppervlak}} \vec{A} \cdot d\vec{o} = \int_{\text{volume}} \vec{\nabla} \cdot \vec{A} dv$

Verband E en  $\rho$

$$\int_{\text{volume}} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} dv = \oint_{\text{oppervlak}} \vec{E} \cdot d\vec{o} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_{\text{volume}} \rho dv \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Wiskunde:  
Gauss

Natuurkunde:  
Coulomb/Gauss

Voor iedere kring en voor iedere ladingsverdeling:

$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = 0$$

# Inhoud

## Elektrostatica

1. Wet van Coulomb: vergelijking voor elektrische kracht
2. Wet van Gauss: vergelijking voor elektrisch veld
3. Veldvergelijkingen: Divergentie en Kringintegraal
- ➔ 4. **Electrische Potentiala & Energie**
5. Elektrische velden in materie: Geleiders
6. Elektrische velden in materie: Isolatoren

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \mathbf{r} / e_0$$

$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = 0$$

Griffiths:

- Gradiënt: §1.3.2 en §1.3.3
- Potentiala V: §2.3 m.u.v. §2.3.3
- Energie & Arbeid: §2.4



# IV: Wat heb ik geleerd?

Puntlading

$$V(\mathbf{r}) = - \oint_0^r \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Kracht,  $\vec{E}$ -Veld  
en Potentiaal

$$\vec{F} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{r}}{r^2} \text{ en } \begin{cases} \text{puntlading: } \vec{E} = \frac{Q\hat{r}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \text{ en } V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \\ \text{dipool: } \vec{E} = \frac{3\hat{r}(\vec{p}\cdot\hat{r}) - \vec{p}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \text{ en } V = \frac{\vec{p}\cdot\hat{r}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \end{cases}$$

Gradiënt  $\vec{\nabla} \equiv \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \Rightarrow \vec{\nabla} V = \left( \frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z} \right), \quad \vec{E} = -\vec{\nabla} V$

Energie  
ladingsverdeling

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} = \frac{1}{2} \int_{\text{volume}} \mathbf{r} V dv = \frac{\epsilon_0}{2} \int_{\text{volume}} E^2 dv$$

# Inhoud

## Elektrostatica

1. Wet van Coulomb: vergelijking voor elektrische kracht
2. Wet van Gauss: vergelijking voor elektrisch veld
3. Veldvergelijkingen: Divergentie en Kringintegraal
4. Elektrische Potentialaal & Energie
- 5. **Elektrische velden in materie: Geleiders**
6. Elektrische velden in materie: Isolatoren

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \mathbf{r} / e_0$$
$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = 0$$

Griffiths:

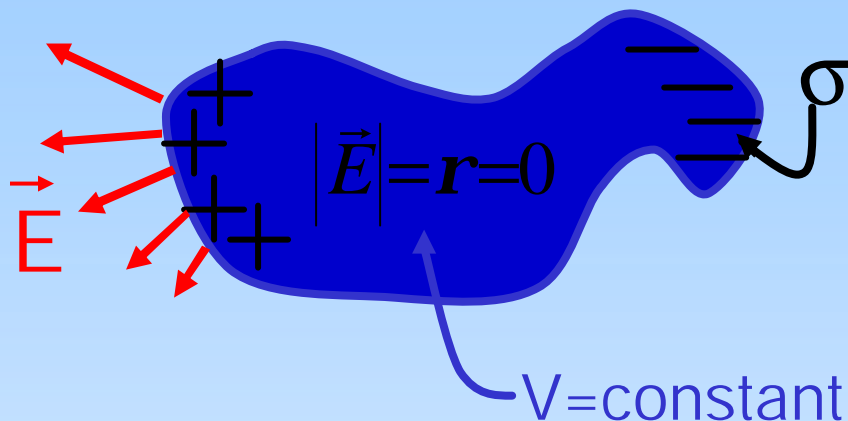
- Geleiders: §2.5
- Beeldladingen: §3.2 m.u.v. §3.2.4
- Condensator: §2.5.4

# V: Wat heb ik geleerd?

## Materialen:

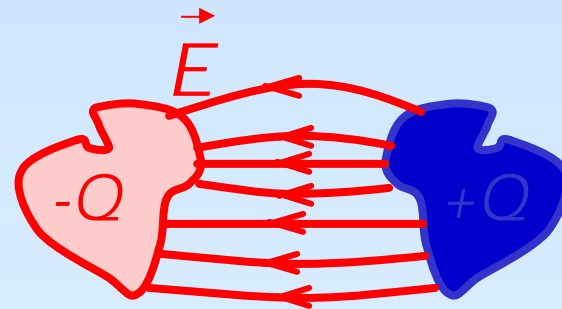
### - Geleider

E via Gauss (symmetrie)  
Beeldladingsmethode



## Condensator

$$\frac{Q}{V} = \text{constant} \equiv C \quad \text{en} \quad U = \frac{1}{2} CV^2$$



# Inhoud

## Elektrostatica

1. Wet van Coulomb: vergelijking voor elektrische kracht
2. Wet van Gauss: vergelijking voor elektrisch veld
3. Veldvergelijkingen: Divergentie en Kringintegraal
4. Elektrische Potentialaal & Energie
5. Elektrische velden in materie: Geleiders

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \mathbf{r} / e_0$$

$$\oint \vec{E} \times d\vec{l} = 0$$

- 6. Elektrische velden in materie: Isolatoren

Griffiths:

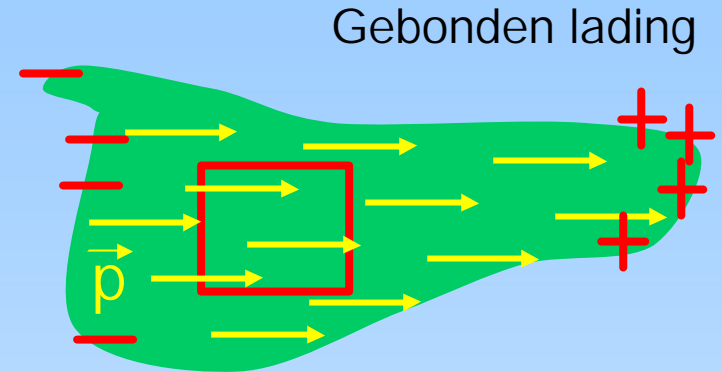
➤ Materie: §4 m.u.v. de moeilijke stukken!

# VI: Wat heb ik geleerd?

## Materialen:

- Isolator

$$\vec{P} \Leftrightarrow \begin{cases} \mathbf{s}_{\text{pol}} \equiv \vec{P} \cdot \hat{n} \\ \mathbf{r}_{\text{pol}} \equiv -\vec{\nabla} \cdot \vec{P} \end{cases}$$



- Eenvoudigste relatie  $E$  en  $P$ :

$$\vec{P} \propto \vec{E} \Rightarrow \vec{P} = \epsilon_0 c_e \vec{E}$$

Polarisatie in materie verkleint  $E$  veld:

Plaatcondensator

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{\text{cond}} &= \frac{1}{1+c_e} \mathbf{E}_{\text{vrij}} = \frac{1}{(1+c_e)} \frac{S_{\text{vrij}}}{\epsilon_0} \\ C &= (1+c_e) C_{\text{vacuum}} \end{aligned}$$

# Practicum (2 dagdelen)

- Millikan
- Plaatcondensator
- Cilindercondensator
- Spiegellading

# Inhoud Magnetostatica

## Magnetostatica (5 colleges)

### → I. Lorentz kracht en magnetisch veld (Biot-Savart)

### II. Wet van Ampere`

### III. Veldvergelijkingen nader bekeken: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$ & $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$

### IV. Magnetische velden in materie: magnetisatie

### V. Toepassingen/Practikum: Hall effect, Toroide met spleet.

#### Griffiths:

- Lorentz Force Law: §5.1 t/m §5.2 (Niet stroomdichtheden  $K, J$ )

# I Wat heb ik geleerd?

Magneet N of Z

Kracht,  $\vec{B}$ -veld



$$\vec{F} = \int_{\text{stroom}} \vec{I} \times \vec{B} dl \rightarrow I \int_{\text{stroom}} d\vec{l} \times \vec{B}$$

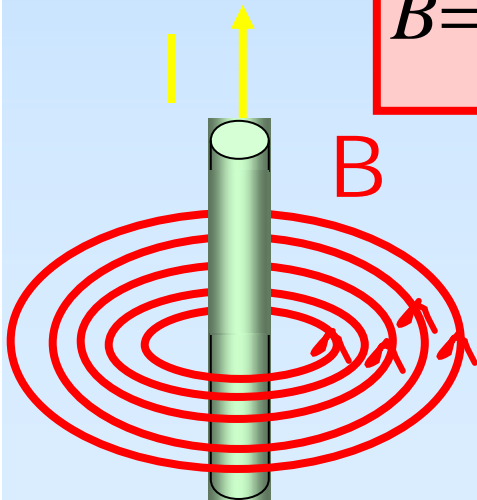
Lorentzkracht

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{stroom}} \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \rightarrow \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{\text{stroom}} dl \frac{\vec{I} \times \hat{r}}{r^2}$$

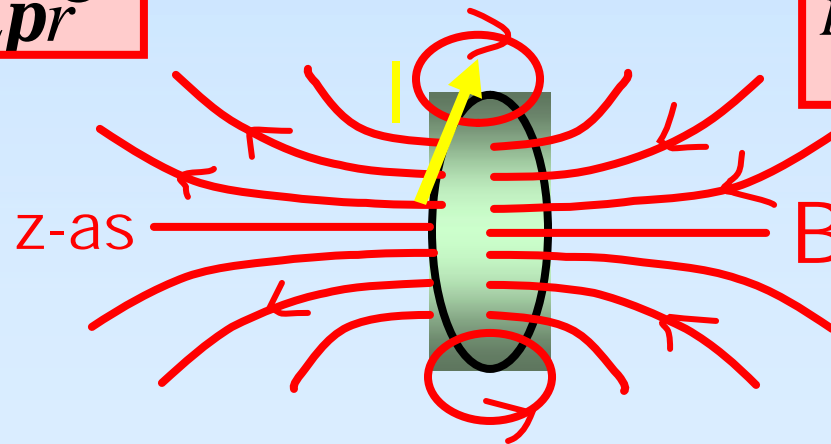
stroomdraad

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{j}$$



stroomkring

$$\vec{B}_{z-as} = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2}{[R^2 + z^2]^{3/2}} \hat{z}$$





# Inhoud Magnetostatica

## Magnetostatica (5 colleges)

I. Lorentz kracht en magnetisch veld (Biot-Savart)

→ II. Wet van Ampère

III. Veldvergelijkingen nader bekeken:  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$  &  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$

IV. Magnetische velden in materie: magnetisatie

V. Toepassingen: Hall effect, Toroïde met spleet.

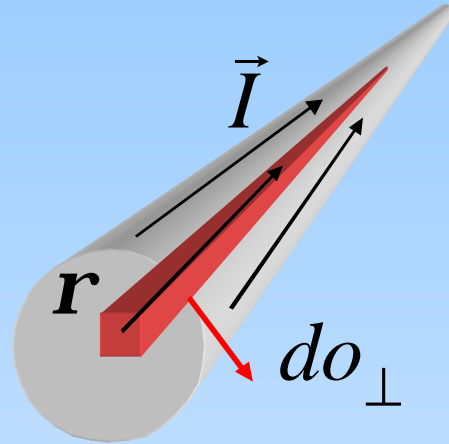
Griffiths:

- Currents: §5.1.3 (stroomdichtheden  $K$ ,  $J$ )
- Divergence of  $B$ : §5.3.1, §5.3.3

# Wat heb ik geleerd?

Volume:

$$\vec{J} \equiv \frac{d\vec{I}}{do_{\perp}} = \mathbf{r} \vec{v}$$



$$[J] = A/m^2$$

$$\vec{F} = \int_{\text{volume}} \vec{v} \times \vec{B} \mathbf{r} dV = \int_{\text{volume}} \vec{J} \times \vec{B} dV$$

$$\oint_{\text{rand}} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mathbf{m}_0 I_{\text{omsloten}} = \mathbf{m}_0 \int_{\text{oppervlak}} \vec{J} \cdot d\vec{o}$$

# Inhoud Magnetostatica

## Magnetostatica (5 colleges)

I. Lorentz kracht en magnetisch veld (Biot-Savart)

II. Wet van Ampere`

→ III. **Veldvergelijkingen nader bekeken:**  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$  &  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$

IV. Magnetische velden in materie: magnetisatie

V. Toepassingen: Hall effect, Toroide met spleet.

Griffiths:

- Vektor: §1.2.5 en §1.3.5
- Divergence of B: §5.3.2 tot vergelijking 5.48 doorlezen
- Comparison E, B: §5.3.4

# Wat heb ik geleerd?

Rotatie

$$\vec{\nabla} \times \vec{A} \equiv \left( \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \hat{i} + \left( \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \hat{j} + \left( \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \hat{k}$$

Stelling van Stokes :  $\oint_{\text{kring}} \vec{A} \cdot d\vec{l} = \int_{\text{oppervlak}} \vec{\nabla} \times \vec{A} \cdot d\vec{o}$

$$\int_{\text{oppervlak}} \vec{\nabla} \times \vec{B} \cdot d\vec{o} = \oint_{\text{kring}} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mathbf{n}_0 \int_{\text{oppervlak}} \vec{J} \cdot d\vec{o} \Rightarrow \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mathbf{n}_0 \vec{J}$$

Wiskunde:  
Stokes

Natuurkunde:  
Ampère

$$\oint_{\text{oppervlak}} \vec{B} \cdot d\vec{o} = 0 \Leftrightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

# Inhoud Magnetostatica

## Magnetostatica (5 colleges)

I. Lorentz kracht en magnetisch veld (Biot-Savart)

II. Wet van Ampere`

III. Veldvergelijkingen nader bekeken:  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$  &  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$

→ IV. Magnetische velden in materie: magnetisatie

V. Toepassingen: Hall effect, Toroïde met spleet.

Griffiths:

- Magnetization: §6.1
- Bound currents: §6.2.2, §6.2.3
- Auxiliary Field H: §6.3
- Linear and NonLinear Media: § 6.4

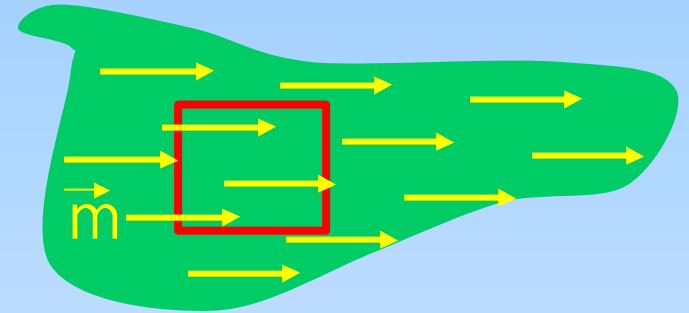
# VI Wat heb ik geleerd?

## Materialen

### – Magnetisatie

$$\vec{K}_{mag} = \vec{M} \cdot \hat{n}$$

$$\vec{M} = \frac{c_m}{m_0(1 + c_m)} \vec{B}$$



### – Mogelijkheden:

- Dia-magnetisme
- Para-magnetisme
- Ferro-magnetisme

$$\vec{M} \parallel - \vec{B}$$

$$\vec{M} \parallel + \vec{B}$$

$\vec{M}$  permanent (hysteresis)

Voor gemagnetiseerd  
materiaal t.g.v. een  
extern veld  $B_0$

$$\vec{B}_{mag} = m_0 K_{mag} \hat{z}$$

$$\vec{B}_{mag} = c_m \vec{B}_0$$

$$\vec{B} = \vec{B}_{mag} + \vec{B}_0 = (1 + c_m) \vec{B}_0$$

# Inhoud Magnetostatica

## Magnetostatica (5 colleges)

I. Lorentz kracht en magnetisch veld (Biot-Savart)

II. Wet van Ampere`

III. Veldvergelijkingen nader bekeken:  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$  &  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$

IV. Magnetische velden in materie: magnetisatie V.

→ V. Toepassingen: Hall effect, Toroide met spleet.

# Practicum (1 dagdeel)

Meten met Hallsensor en stroombalans



# Elektrodynamica en Licht

# Inhoud

Elektrostatica

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \& \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \mathbf{r} / \mathbf{e}_0$$

Magnetostatica

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mathbf{m}_0 I \quad \& \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

**Elektromagnetisme  $\mathcal{P}$  Licht**

→ – **Elektromagnetische inductie & wet van Faraday**

**II. Zelfinductie & energie**

**III. Maxwell vergelijkingen & elektromagnetische golven**

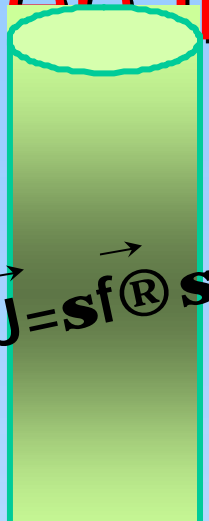
Griffiths Chapter 7:

○ Electromotive Force: §7.1

○ Electromagnetic Induction: §7.2 t/m §7.2.2

# I Wat heb ik geleerd?

Wet van Ohm


$$\vec{J} = \mathbf{s}f \otimes \mathbf{sE}$$

$$\vec{J} = \mathbf{s}f \Rightarrow V = IR$$

EMK: batterij  $V_0$   
spoel  $-Ldi/dt$

$$EMK \equiv \oint_{\text{stroomkring}} \vec{f} d\vec{l} = V$$

Wet van Faraday

$$V_{ind} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \Rightarrow \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

# Inhoud

Elektrostatica

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad \& \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \mathbf{r} / \mathbf{e}_0$$

Magnetostatica

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mathbf{m}_0 I \quad \& \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

## Elektromagnetisme $\mathcal{P}$ Licht

– Elektromagnetische inductie & wet van Faraday

→ **II. Zelfinductie & energie**

**III. Maxwell vergelijkingen & elektromagnetische golven**

Griffiths Chapter 7:

OElectromagnetic Induction: §7.2.3 t/m §7.2.4

# II Wat heb ik geleerd?

Zelfinductie

$$\Phi_B \equiv LI$$

toroïde:  $L = \frac{\mu_0 n^2 h \ln(b/a)}{2p} \rightarrow \mu_0 N^2 A 2p a$

solenoid:  $L = \mu_0 N^2 p R^2 l$

coaxkabel:  $L = \frac{\mu_0}{2p} \ln(b/a) l$

Energie C & L  
Energie E & B velden

$$U_L \equiv \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2\mu_0} \int_{\text{volume}} B^2 dv \quad \& \quad U_C \equiv \frac{1}{2} C V^2 = \frac{\epsilon_0}{2} \int_{\text{volume}} E^2 dv$$

# Inhoud

## Elektromagnetisme $\mathcal{P}$ Licht

– Elektromagnetische inductie & wet van Faraday

II. Zelfinductie & energie

→ III. Maxwell vergelijkingen & elektromagnetische golven

Griffiths Chapter 7:

○ Maxwell Equations: §7.3.1 t/m §7.3.3

○ Maxwell Equations: §7.3.4 t/m §7.3.6 Doorlezen en 'passief' begrijpen

Griffiths Chapter 9:

○ Electromagnetic Waves in Vacuum: §9.2.1 t/m §9.2.2

# III Wat heb ik geleerd?

" <u>Gauss</u> " :	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint_{\text{oppervlak}} \vec{E} \cdot d\vec{o} = \frac{Q_{\text{omsloten}}}{\epsilon_0}$	
" <u>geen monopolen</u> " :	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_{\text{oppervlak}} \vec{B} \cdot d\vec{o} = 0$	$\equiv -\frac{d\Phi_B}{dt}$
" <u>Faraday</u> " :	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_{\text{kring}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_{\text{oppervlak}} \vec{B} \cdot d\vec{o}$	$\equiv \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$
" <u>Ampère</u> " :	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint_{\text{kring}} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{\text{omsloten}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_{\text{oppervlak}} \vec{E} \cdot d\vec{o}$	

$$\vec{k} \equiv (0 \ 0 \ k) = k\hat{k}$$

EM golf vgl.:	$\begin{cases} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial z^2} \\ \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} \end{cases}$	oplossing:	$\begin{cases} \vec{B}(z,t) = \vec{B}^0 \cos(kz - \omega t) \\ \vec{E}(z,t) = \vec{E}^0 \cos(kz - \omega t) \end{cases}$	met:	$\begin{cases} \omega = kc, \begin{cases} \vec{B}^0 \perp \vec{k} \\ \vec{E}^0 \perp \vec{k} \end{cases} \\ \vec{B}^0 = \frac{1}{c} \hat{k} \times \vec{E}^0 \end{cases}$
---------------	--	------------	--	------	---

# Elektrodynamica en Licht Practicum (3 dagdelen)

- Hysteresis
- Michelson
- Polarisation