Klassische Physik 2 Elektrodynamik SS2013

Johannes Blümer

V19 11. Juli

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA

Maxwell'scher "Verschiebungsstrom"

Zwischenbilanz

$$\mathrm{div}\,\vec{E} = \rho/\varepsilon_0 \quad ; \quad \oint \vec{E}\,d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$\mathrm{div}\,\vec{B} = 0 \quad ; \quad \oint \vec{B}\,d\vec{A} = 0$$

Gauß'sches Gesetz

$$\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad ; \quad \oint_C \vec{E}\,d\vec{s} = -\frac{d}{dt}\int_{A(C)} \vec{B}\,d\vec{A}$$

Faraday's Gesetz

$$U_{ind} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

$$\mathrm{rot}\,\vec{B} = \mu_0 \vec{j} \quad ; \quad \oint \vec{B}\,d\vec{s} = \mu_0 I$$

Ampère

$$\diamond \quad \mathrm{div}\,(\mathrm{rot}\,\vec{B}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\times\vec{B}) \overset{\text{stets}}{=} 0 \quad \Rightarrow \quad \mathrm{div}(\mu_0 \vec{j}) = 0$$

$$\boxed{\mathrm{div}\,\vec{j} = 0} \; *$$

andererseits: $$\oint_A \vec{j}\,d\vec{A} = \int_{V(A)} \mathrm{div}\,\vec{j}\,dV = -\frac{dQ}{dt}$$

$$= -\frac{d}{dt}\int_{V(A)} \varrho(\vec{r})\, dV$$

Termvergleich:

$$\boxed{\operatorname{div}\vec{j}(\vec{r},t) = -\frac{\partial \varrho(\vec{r},t)}{\partial t}}$$

[$\vec{r}$ konst. halten]

„Kontinuitätsgleichung" inkonsistent mit $*$

Ampèresches Gesetz kann $\varrho(\vec{r},t)$ noch nicht behandeln

Betr. Entladung eines Plattenkondensators:

Oberfl. O_1: $\oint_{O_1} \operatorname{rot}\vec{B}\, d\vec{A} = \mu_0 \oint_{O_1} \vec{j}\, d\vec{A} = \mu_0 I$

Entladestrom ✓

O_2: $\oint_{O_2} \operatorname{rot}\vec{B}\, d\vec{A} = 0$

Stokes: $\int_{A(C)} \operatorname{rot}\vec{F}\, d\vec{A} = \oint_{C(A)} \vec{F}\, d\vec{s}$ $\Rightarrow$ Integrale sollten gleich sein

Maxwell: Änderung des elektr. Feldes einbeziehen

$I \to I + I_V$

$$I_V = \varepsilon_0 \frac{dQ_{el}}{dt} \quad , \quad \vec{j}_V = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

<u>Ansatz</u> $\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Test mit ◇ oben: $\operatorname{div}(\operatorname{rot} \vec{B}) \overset{!}{=} 0$

$$= \mu_0 \operatorname{div} \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (\operatorname{div} \vec{E})$$

$$= \mu_0 \left[\operatorname{div} \vec{j} + \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \, \rho / \varepsilon_0 \right]$$

$$\operatorname{div} \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad \equiv \text{Kontin.-gl.} \checkmark$$

Die Maxwell'schen Gleichungen

integral	differentiell
(1) $\oint_A \vec{E}\, d\vec{A} = Q/\varepsilon_0$	$\vec{\nabla}\vec{E} = \operatorname{div} \vec{E} = \rho/\varepsilon_0$

Fluss des Elektr. Feldes durch eine geschlossene Oberfläche ist gleich der darin eingeschlossenen Ladung $\times 1/\varepsilon_0$

(2) $\oint_A \vec{B}\, d\vec{A} = 0$	$\vec{\nabla}\vec{B} = \operatorname{div} \vec{B} = 0$

Der Fluss des Magnetfeldes durch eine geschlossene Oberfläche ist Null

③ $$\oint_C \vec{E}\, d\vec{s} = -\frac{d}{dt}\int_{A(C)} \vec{B}\, d\vec{A} \quad \Big| \quad \vec{\nabla}\times\vec{E} = \text{rot}\,\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$$

Das Linienintegral von $\vec{E}$ entlang einer geschlossenen Kurve C ist gleich der (negativen) zeitl. Änderung des Lenz magn. Flusses durch die von C umschlossene Fläche

④ $$\oint_C \vec{B}\, d\vec{s} = \mu_0 I + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt}\oint_{AC} \vec{E}\, d\vec{A} \quad \Big| \quad \text{rot}\,\vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0\varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

Das Linienintegral von $\vec{B}$ entlang einer geschlossenen Kurve C ist gleich dem Strom durch die Fläche + ε_0 · zeitl. Änderung des elektr. Flusses durch die Fläche

Grundlagen der klassischen Physik

4 Maxwell-Glgn s.o.

$\operatorname{div} \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$ Kontinuitätsgleichung (Ladungserhaltung)

$\vec{F}_L = q\,(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ Lorentzkraft

$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ Bewegungsgleichung mit $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$ Einstein

$\vec{F}_G = -G\,\frac{m_1 m_2}{r^2}\,\vec{e}_r$ Gravitation

Physikalischer Inhalt der MW-Gln.:

(1) Die Quellen des el. Feldes sind el. Ladungen.
[Ladungen sind streng erhalten → QM]

(2) Es gibt keine magnetischen Ladungen

„Statik" $\vec{E}, \vec{B}$ getrennt

(3) Ein elektr. Feld wird durch ein zeitl. veränd. Magnetfeld erzeugt

(4) Ein Magnetfeld wird durch einen elektr. Strom und/oder durch ein zeitl. veränd. elektr. Feld erzeugt

Zeitabhän. $\vec{E}, \vec{B}$-Feldes gemeinsam behandeln

$\vec{E} \longleftrightarrow \vec{B}$

Schwingkreise, em. Wellen

Emission von em. Wellen