Teil II Elektrodynamik

Generell: Elektrodynamik beschreibt Wechselwirkungen geladener Teilchen.

Stichworte: • einheitliche Beschreibung der elektrischen und und magnetischen Erscheinungen

- Feldtheorie (Kontinuumstheorie, Nahwirkungstheorie) beschreibt Wechselwirkungen durch Felder:

  $\underline{E}(\underline{r},t)$: elektrisches Feld

  $\underline{B}(\underline{r},t)$: magnetische Induktion

  welche den Maxwell-Gleichungen gehorchen (James Clerk Maxwell 1831–1879)

- lokale Theorie: WW der Ladung am O.t $\underline{r}$ nur mit Feldern am O.t $\underline{r}$ und nicht $\underline{r}'$

- lineare Theorie: Superpositionsprinzip

  $\underline{E}_1(\underline{r},t)$ & $\underline{E}_2(\underline{r},t)$ sind Lösungen der Maxwell-Gleichungen

  $\Rightarrow \underline{E}_1(\underline{r},t) + \underline{E}_2(\underline{r},t)$ ist Lösung ——— " ———

  ↳ Interferenz von Wellen

- relativistisch kovariant, d.h. Invarianz gegenüber Lorentz-Transformationen

  ↳ Wirkung breitet sich mit endlicher Geschwindigkeit aus.

1. Elektrostatik

- WW zweier Punktladungen: Coulomb-Gesetz

(Charles Augustin de Coulomb 1736 – 1806)

- Kraft auf Ladung q_2 bei $\underline{r}$, ausgeübt von Ladung q_1 im Ursprung

$$\underline{F} = q_2 \, \underline{E}(\underline{r}) \quad \text{mit} \quad \underline{E}(\underline{r}) = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\underline{r}}{r^3}$$

- Einheiten: $[q] = 1\,C = 1\,As$

$\uparrow$ Coulomb $\quad \uparrow$ Ampere sekunde

ε_0: Dielektrizitätskonstante $\left(8.854 \cdot 10^{-12} \frac{C}{Vm}\right)$ $\quad VC = J = Nm = \frac{kg\,m^2}{s^2}$

- Test: $[F] = N = [q\underline{E}] = As \, \frac{As}{[\varepsilon_0]} \, \frac{m}{m^3} = \frac{A^2 s^2}{\frac{As}{Vm} m^2} = \frac{ASV}{m} = \frac{Nm}{m} = N$

- $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8.9875 \cdot 10^{9} \frac{Vm}{C}$

$\uparrow \frac{Nm^2}{C^2}$

- im Gauß-System (cgs): $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \stackrel{!}{=} 1$

- Warum Felder?

↳ Endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von physikalischen WW ($\leq c$)

$\Rightarrow$ Feld als Medium für die Übertragung der WW (Nahewirkung)

↳ Feld ist physikalischer Zustand des leeren Raumes bei $\underline{r}$

↳ Felddynamik (Maxwell-Gleichungen) zur Beschreibung endlich schneller Ausbreitung (Retardierungseffekte)

↳ Feld kann Energie, Impuls, Drehimpuls aufnehmen und abgeben.

- $\underline{E}$-Messung durch Einbringen einer Probeladung q_2

  mit ($q_2 \to 0$, keine Rückwirkung auf q_1): $\underline{E}(\underline{r}) = \lim_{q_2 \to 0} \frac{1}{q_2} \underline{F}(\underline{r})$

- Elektrostatisches Potenzial

  Aus $\underline{\nabla} \frac{1}{r} = -\frac{1}{r^2} \underline{\nabla} r = -\frac{1}{r^3} \underline{r}$ folgt: Gradientenfeld

  $$\underline{E} = -\underline{\nabla} \phi(\underline{r}) \quad \text{mit} \quad \phi(\underline{r}) = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$$

  Einheit $[\phi] = \frac{Nm}{C} = V$ $\left(1\,\text{Volt} = 1 \frac{kg\,m^2}{Cs^2}\right)$

  (Alessandro Volta 1745 – 1827)

- Verallgemeinerung per Superpositionsprinzip (N Teilchen/Ladungen $q_1, \dots, q_N$)

  $$\underline{E}(\underline{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{j=1}^{N} q_j \frac{\underline{r} - \underline{r}_j}{|\underline{r} - \underline{r}_j|^3}$$

- Übergang zu kontinuierlichen Ladungsverteilungen $dq = \rho(\underline{r}')d^3r'$

  mit Ladungsdichte $\rho(\underline{r}')$:

  $$\underline{E}(\underline{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int d^3r' \, \rho(\underline{r}') \frac{\underline{r} - \underline{r}'}{|\underline{r} - \underline{r}'|^3}$$

  und

  $$\phi(\underline{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int d^3r' \frac{\rho(\underline{r}')}{|\underline{r} - \underline{r}'|}$$