

Theoret. Physik IIa: Elektrodynamik

Klass. el. u. magnet. Erscheinungen im Vakuum
und in Materie (nichtrelativist.)

Lit.: J.D. Jackson: Klass. Elektrodynamik
4. Auflage 2006

Nolting Bd. 3

P. Reineker, M. Schulz, B. Schulz: Theor. Ph.
(Wiley 2006) II

H. Mitter

H. Stumpf, W. Schulz: Elektrodynamik

Struktur der Theorie der El. dynamik

- Feldtheorie (Nahwirkungstheorie,
Kontinuumsstheorie
endliche Ausbreitungsgeschw.
von Wirkungen)
- lokale Theorie ($\underline{E}(\underline{r}, t)$, $\underline{B}(\underline{r}, t)$)
- relativist. invariant (relativist. Formulier.
mit Vierer-Vektoren
in Minkowski-Raum)

Histor. Perspektive:

Vereinheitlichung der el. und magn. WW:
Elektrodynamik (Maxwell 1864)

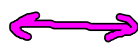
Vereinheitlichung der el. magn. + schwachen WW
elektroschwache WW (~ 1970er Jahre)

starke WW: Quantenchromodynamik
Vereinheitlichung von elektroschwacher
+ starker + Gravitations-WW
(nichtlinear, allg. relativist.) :
Grand Unified Theory (GUT)
— noch nicht gelöst

Gliederung

- el. magn. Felder im Vakuum, erzeugt durch lokalisierte Ladungs- und Stromverteilungen
- el. magn. Felder in Materie:
Unterscheidung von freien u. gebundenen Ladungen
→ Zus. fassung des Beitrags der mikroskop. gebundenen Ladungen in phänomenolog. Materialkonst. (Dielektrizitätskonst., Permeabilität)
→ phänomenolog. makroskop. Theorie

Klass. Mechanik



Quantenmechanik

- determinist.
- nichtrelativist.
- nichtlinear

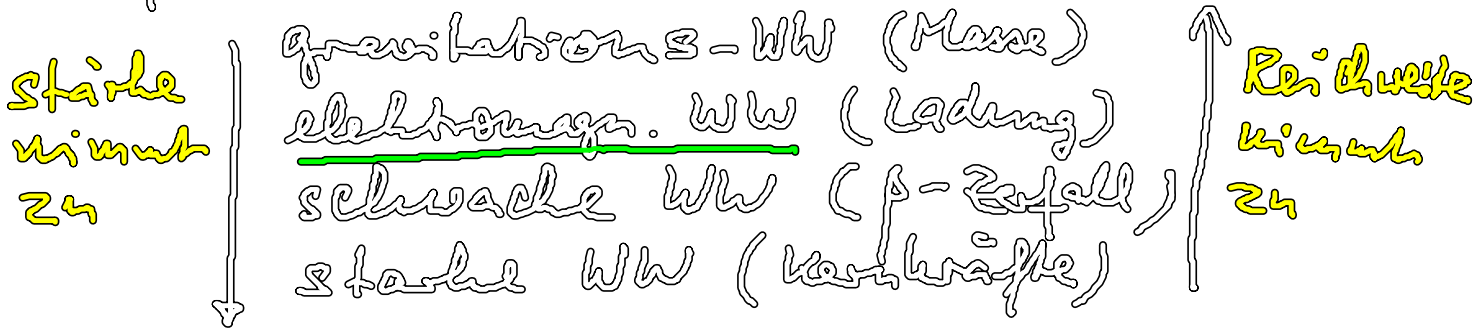
- probabilist.
- relativist.
- linear



Elektrodynamik

- Feldtheorie (Kontin. Theorie, Nah-
wichtigkeith.)
- relativist invariant
- linear (Superpos. prinzip \rightarrow Interferenz)
- lokal (nur im Vakuum)

4 fundamentale WW:

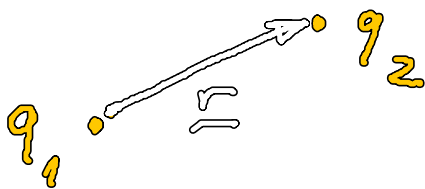


Wichtigste WW auf atomaren bis makroskop. Längenskalen: el. u. magn. WW

1. Elektrostatik

1.1. Coulomb-WW

C. Coulomb (1736-1806)



$$F = q_2 E(r)$$

$$E(r) = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \frac{r}{r^3}$$

Kraft auf Pkt. Lad. q_2 bei r
el. Feld einer Pkt. Lad. q_1 bei $r=0$

(i) Einheitensystem: SI (Système International d'Unités) = MKSA

\Rightarrow Ladungseinheit $1 C = 1 As$

\Rightarrow Dielektrizitätskonst. $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{C^2 s^2}{kg \cdot m^3}$

(früher: Gauss-System = cgs $\Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 1$)

\Rightarrow elektrost. Ladungseinheit
 $1 LE = 1 cm \cdot dyn^{1/2}$

$$1 C = 3 \times 10^9 LE$$

- zweckmäßig bei univ. Rechn.
- unzweckmäßig in der mehr. E-Dyn. wegen Lad. einheit

(ii) Coulomb-Gesetz gilt bis zu Abständen $r > 10^{-11} cm$
daranter: quantenl. dyn. Korrekturen

(iii) Ladung tritt quantisiert auf: $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

El. Feld und Potential

Warum wird ein Feld eingeführt?

- Feld als Medium für die Übertragung physikalischer WW (Nahwirkung)
- Feld $\underline{E}(\underline{r})$ ist phys. Zustand des leeren Raumes bei \underline{r}
- Eigenständige Felddynamik (Maxwell-Gln.) zur Beschreibung endlich schneller Ausbreitung (Retardierungseffekt)

- Feld kann Energie, Impuls, Drehimpuls aufnehmen und abgeben

Verallgemeinerung des Punktladungsmodell:

Superpositionsprinzip für Kräfte (4. Newton'sches Axiom)

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

Kontinuierliche Ladungsverteilung $dq = \rho(\underline{r}') d^3r'$
(Ladungsdichte $\rho(\underline{r}')$)

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

El. stat. Potential:

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

$$\underline{E}(\underline{r}) = -\nabla\phi(\underline{r})$$

Grundgleichungen der Elektrostatik:

$$\text{rot } \underline{E} = 0$$

$$\Downarrow$$

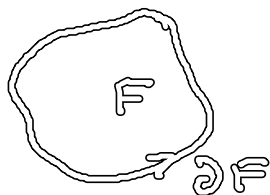
$$\underline{E} = -\nabla\phi$$

$$\Downarrow$$

$$\oint_{\partial F} \underline{E} \cdot d\underline{s} = 0$$

1. irrotatorisches Feld

es ex. ein Pot.



$$W = q \int_1^2 \underline{E} \cdot d\underline{s} \cdot \text{weg unabh.}$$

$$\epsilon_0 \operatorname{div} \underline{E} = \rho$$

\Downarrow

$$\epsilon_0 \oint_{\partial V} \underline{E} \cdot d\underline{f} = \int_V \rho(\underline{r}') d\underline{r}'$$

diff. Form

\int Integralform

das Gauß'sche
Gesetz

* Gauß'scher Int. Satz $\int_V \operatorname{div} \underline{E}(\underline{r})$

$$= \int_{\partial V} d\underline{f} \cdot \underline{E}(\underline{r})$$

$$\underline{E} = -\nabla\phi \quad \epsilon_0 \nabla \cdot \underline{E} = \rho$$

$$\Delta\phi = -\frac{1}{\epsilon_0} \rho(\underline{r})$$

Poisson - Gl.

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

Coulomb - Gesetz

Lösung der Poisson-Gl. zu
den Randbed. $\phi(\underline{r}) \rightarrow 0$ für $|\underline{r}| \rightarrow \infty$