

# Theoret. Physik III (BSc): Elektrodynamik

WS 2016/2017

Eckehard Schöll

Bachelor-Studierende im 5. Semester

VL Mi 12<sup>15</sup> - 14<sup>00</sup>

Fr 8<sup>15</sup> - 10<sup>00</sup>

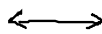
Tutorien: Online-Anmeldung bis 19.10.16 18<sup>00</sup>

Klausur: Fr. 10.2.2017 8<sup>00</sup> - 10<sup>00</sup> #3010

Theorie el. magn. Vorgänge incl. Optik

- Elektrodynamik im Vakuum
- Elektrodynamik in Materie
- Relativist. Formulierung

Klass. Mechanik



Quantenmechanik

- deterministisch
- nichtrelativistisch
- nichtlinear

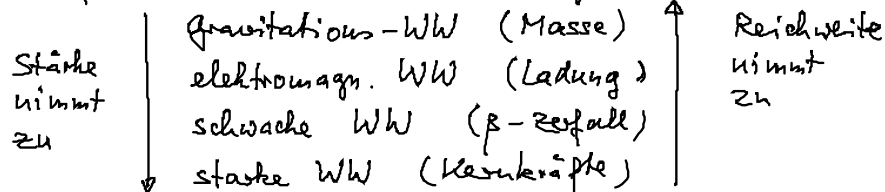
- probabilistisch
- nichtrelativistisch
- linear



Elektrodynamik

- Feldtheorie (Kontinuumstheorie, Nahwirkungstheorie)
- relativistisch invariant
- linear (im Vakuum; Superpositionsprinzip)
- lokal (nur im Vakuum)

4 fundamentale Wechselwirkungen:



Wichtigste WW auf atomaren bis makroskop. Längenskalen:  
el. magn. WW (WW zwischen geladenen Teilchen und  
 el. u. magn. Feldern)

Vereinheitlichung der Theorie der el. u. magn. Felder: Maxwell 1873

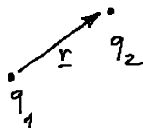
Bestätigung der Vorhersage el. magn. Wellen: H. Hertz 1888

Erweiterung: Quantenelektrodynamik  
 elektroschwache WW (1970er)  
 Grand Unified Theory (GUT) ??

## 1. Elektrostatik

### 1.1 Coulomb-WW

Coulomb-Gesetz:  
 (Coulomb 1736-1806)



$$\vec{F} = q_2 \vec{E}(\vec{r})$$

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

Kraft auf  
 Pkt. Ladung  $q_2$   
 bei  $\vec{r}$   
 el. Feld einer  
 Pkt. Ladung  $q_1$   
 bei  $\vec{r}=0$

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

= MKSA (m - kg - s - A)

⇒ Ladungseinheit 1 C = 1 As

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

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

⇒ elektrost. Ladungseinheit 1 LE = 1 cm dyn<sup>1/2</sup>

1 C = 3 · 10<sup>9</sup> LE

Umrechnungstabellen: Stumpf (E. dyn.)

(ii) Coulomb-Gesetz gilt bis zu Abständen  $r > 10^{-13}$  m  
 bei kleineren Abständen: Quantenelektrodyn. Korrekturen

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

(iv) Ausdehnung geladener Elementarteilchen  $< 10^{-15}$  m

### 1.2 Elektr. Feld und Potenzial

El. stat. Pot.  $-\nabla\phi(\underline{r}) = \underline{E}(\underline{r})$

Es gilt  $\nabla \frac{1}{r} = -\frac{1}{r^2} \nabla r = -\frac{\underline{r}}{r^3}$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} r = \frac{\partial}{\partial x_i} \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2} = \frac{2x_i}{2\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}} = \frac{x_i}{r}$$

also  $\phi(\underline{r}) = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$  elektrost. Pot. einer Punktladung im Ursprung

Einheit  $[\phi] = \frac{Nm}{C} = V$      1 Volt =  $1 \frac{\text{kg m}^2}{\text{C s}^2}$   
 (A. Volta 1745 - 1827)

Verallgemeinerung des Punktladungsmodell

Superpositionsprinzip für Kräfte (4. Newton'sches Axiom)

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

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

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

El. stat. Pot.

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