

# Kap. 1 Elektrostatik



- 1.1. Das Coulombsche Gesetz
- 1.2. Das elektrische Feld
- 1.3. Das elektrostatische Potential
- 1.4. Multipole
- 1.5. Leiter im elektrischen Feld
- 1.6. Energie im elektrischen Feld
- 1.7. Dielektrika

# 1.1. Empirische Tatsachen

## Beobachtung (Griechenland, Antertum):

Bernstein (gr. „elektron“) zieht nach Reibung Stroh und Federn an

## Moderne Erklärung: Elementarteilchen haben

- Masse  $m$   $\Rightarrow$  Gravitations Feld
- (elektrische) Ladung  $Q$   $\Rightarrow$  Elektrisches Feld  
(und bei Bewegung magnetisches Feld)
- Farbladung (R,G,B)  $\Rightarrow$  Starkes Feld (Kernkräfte)
- schwache Hyperladung  $Y$   
schwache Isospinladung  $I_3$  }  $\Rightarrow$  Schwaches Feld (Radioaktivität)

# Elektrostatik: Empirische Tatsachen



## a) Quantisierung:

Millikan-Versuch (1907): statisch geladene Öltröpfchen im E-Feld

⇒ „Elementarladung“

|                |               |  |
|----------------|---------------|--|
| Elektron $e^-$ | $Q(e^-) = -e$ | } Teilchen / Antiteilchen<br>$m(e^-) = m(e^+)$ |
| Positron $e^+$ | $Q(e^+) = +e$ |  |
| Proton $p$     | $Q(p) = +e$   |  |

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C (Coulomb)}$$

Ungelöstes Rätsel:  $\frac{Q(e^+)}{Q(p)} \equiv 1$  aber  $\frac{m(e^+)}{m(p)} \approx 5 \cdot 10^{-4}$

**Quarks:** stets gebundene Bausteine der Hadronen (Proton, ...)

$$\left. \begin{array}{l} u, c, t : Q = +\frac{2}{3}e \\ d, s, b : Q = -\frac{1}{3}e \end{array} \right\} \text{Hadronen: } Q = n \cdot e \quad n = -1, 0, 1, 2$$



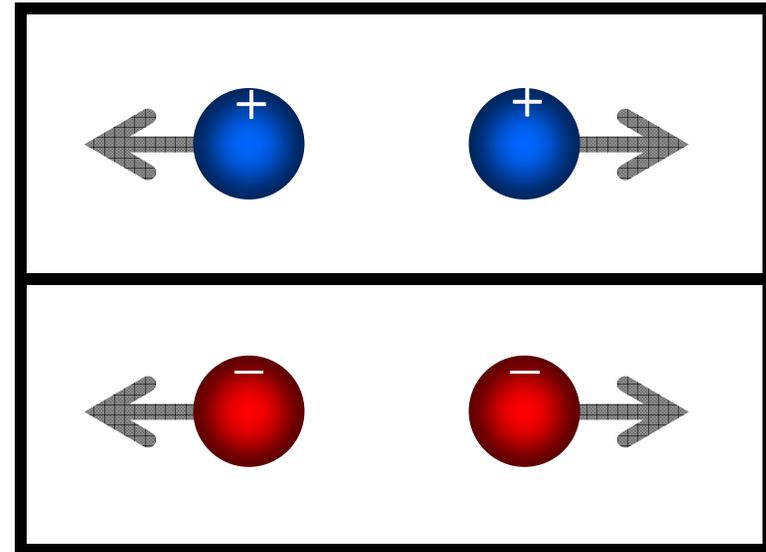
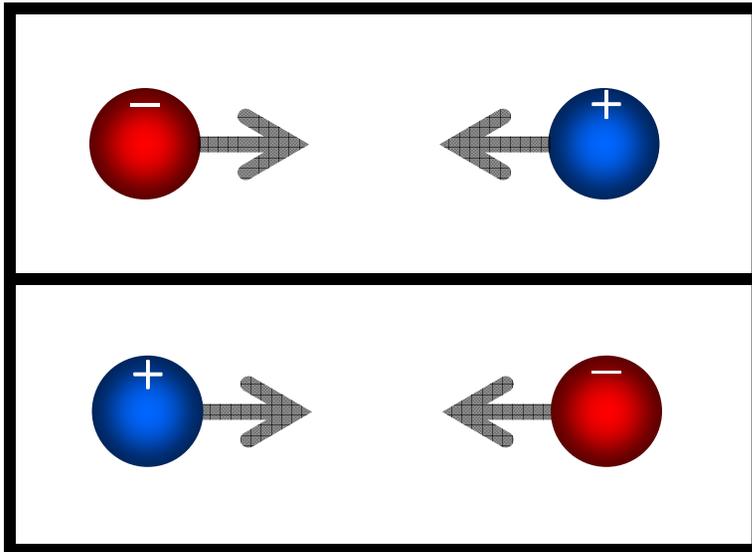
Atomkern  
Ladung  
 $Z \cdot e$

$$Q_{\text{tot}} = Q(\gamma) = 0$$

$$Q_{\text{tot}} = Q(e^+) + Q(e^-) = 0$$

Elektrisches  
Feld

# Elektrische Kräfte zwischen Ladungen



Ungelöstes Rätsel:

Für Elementarteilchen gilt

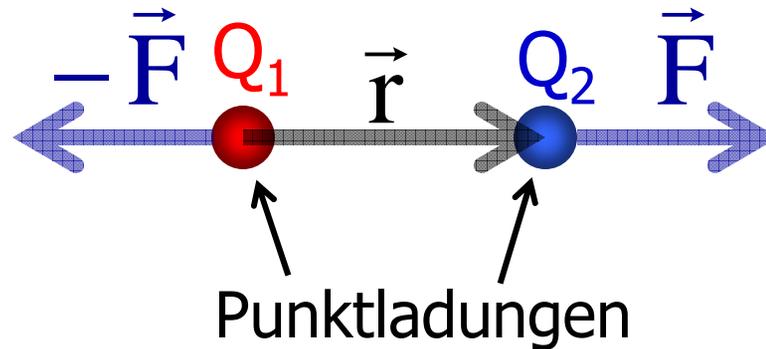
$$\frac{F_{\text{Gravitation}}}{F_{\text{elektrisch}}} \approx O(10^{-40})$$

Mögliche Erklärung (Elementarteilchenphysik, Superstrings):  
Der Raum hat (bei kleinen Abständen) mehr als 3 Dimensionen

# 1.1. Das Coulombsche Gesetz



$$\vec{F} = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$



Beliebige Systeme von Punktladungen:

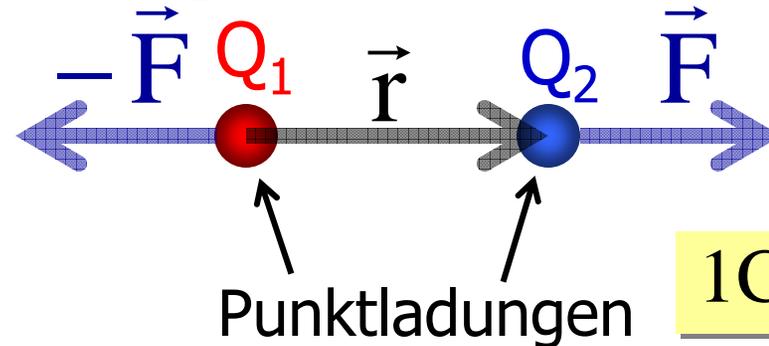
- Gesamtkraft durch Vektoraddition
- Für elektrische (Kraft-)Felder gilt das Superpositionsprinzip

# Einheiten der Elektrostatik:

**SI**

$$\vec{F} = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$

$$[Q] = C = \text{Coulomb}$$



$$1C = 1As$$

Mechanische Definition der Stromstärke: 1 A = 1 Ampere = diejenige Stromstärke in zwei unendlich langen parallelen geraden Leitern in 1 m Abstand, die pro m Leiterlänge eine Kraft von  $2 \cdot 10^{-7}$  N verursacht.

⇒ durch einen Drahtquerschnitt fließt pro s die Ladung 1 C

Messung:  $k = 8,9875 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

Definition:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Dielektrizitätskonstante

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2 \text{ s}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$$

Umrechnung:  $1C \hat{=} 3 \cdot 10^9 \text{ esu}$

(riesige

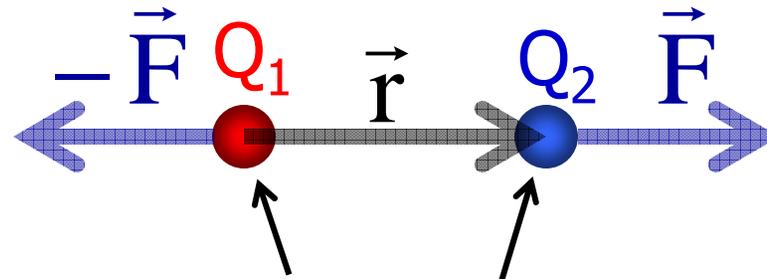
Ladung)

# Einheiten der Elektrostatik:



**cgs**

$$\vec{F} = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$



Punktladungen

$$[F] = \text{dyn} = \text{g cm s}^{-2}$$

$$\text{Def.: } k \equiv 1$$

$$\Rightarrow [Q] = [r \cdot \sqrt{F}] = \text{cm} \sqrt{\text{dyn}} \equiv \text{esu}$$

1 esu = 1 electrostatic unit

**1 esu übt in 1 cm Abstand die Kraft 1 dyn auf 1 esu aus**

Elegant: Elektrodynamik-Rechnungen mit  $k = 1$

Kompliziert: Umrechnung in mechanische Größen

# Das Elektrometer

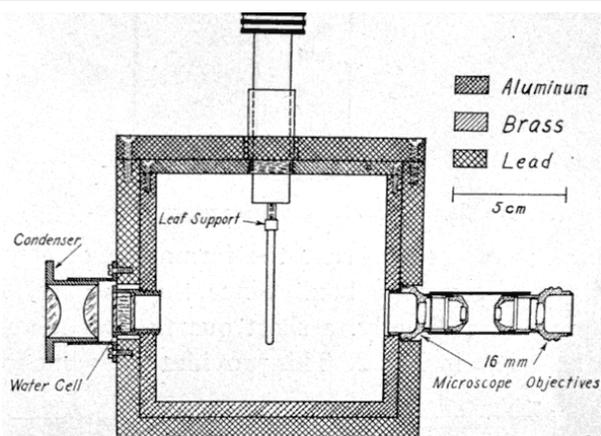
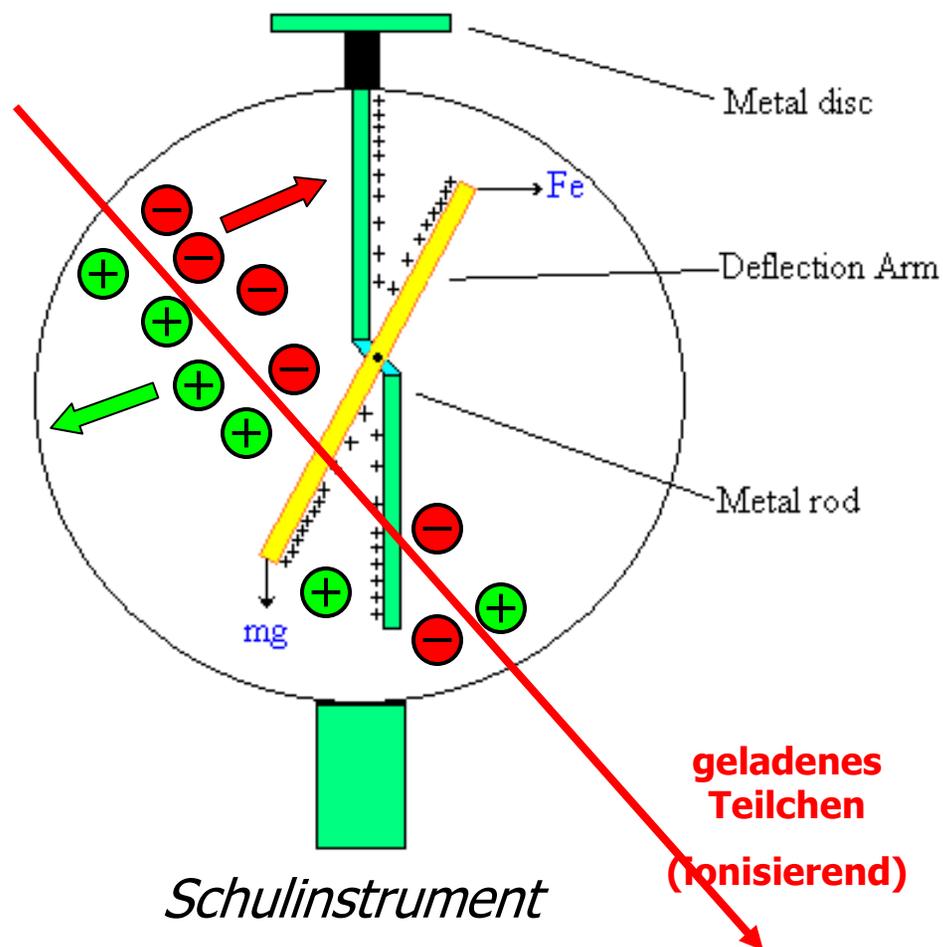
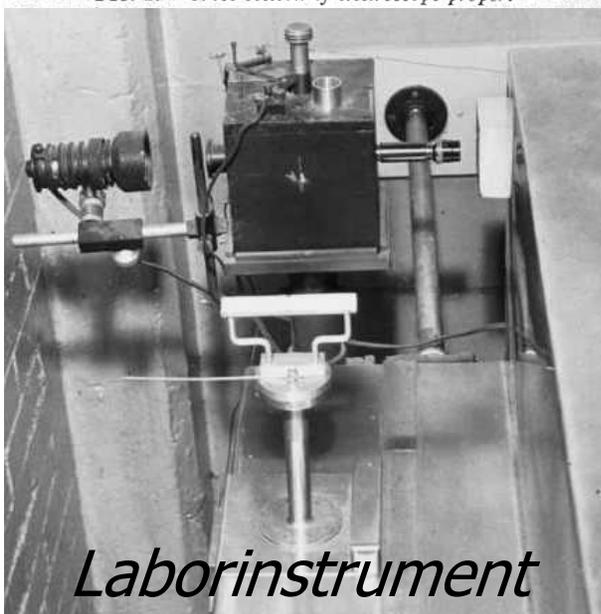


FIG. 1. Cross-section of electrostatic meter proper.



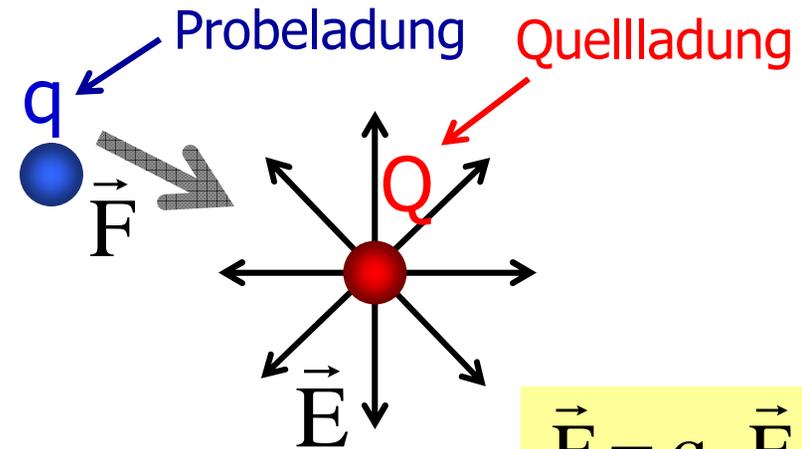
# 1.2. Das Elektrische Feld

Coulomb-Gesetz:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{e}_r \cdot q$$

Elektrisches Feld  $\vec{E}$

(Eigenschaft der Quellladung Q)



$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Superpositionsprinzip:

$$\vec{E}(Q_1, \dots, Q_n) = \sum_{i=1}^n \vec{E}(Q_i)$$

Kontinuumsübergang:

$\rho(\vec{r}) = \frac{dQ}{dV}$  heißt Ladungsdichte

$$\sum_i Q_i \rightarrow \int dQ = \int dV \rho(\vec{r})$$