Fragen auch gerne jetzt schon.

Start 10^{15}

Klausur wahrscheinlich erst Anfang September

Elektrizitätslehre

Literatur
- Berkeley Physik Kurs 2 (Purcell)
- Gehrtsen Physik
- Introduction to Electrodynamics (Griffith)
- Feynman-Lecture

Bisher: Materieeigenschaft Masse m, Anziehung mit Gravitation

Nun: Zusätzlich elektrische Ladung q [Coulomb]

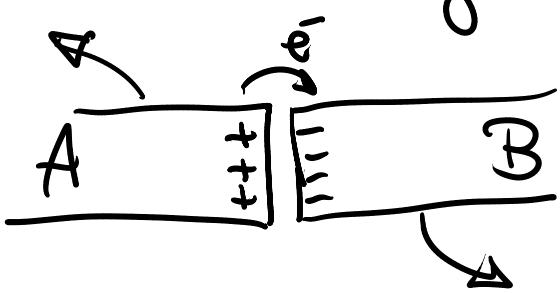
Kraft $\vec{F} \sim \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$ (ähnlich Gravitationsgesetz!)

Aber:
- Zwei verschiedene Ladungen + und − ziehen sich an, gleiche Ladungen stoßen sich ab.
- Kräfte zwischen Ladungen sind viel größer als zwischen Massen; z.B. 2 Protonen

Elektrostatische Abstoßung
$= 10^{36} \times$ Gravitationsanziehung

Magische Prozeduren

- Glasstab an Fell reiben
  → + und - Ladung nachweisen



Unterschiedliche chemische Potential der Ladung
⇝ Trennung mechanisch
(siehe Donnan Pot.)

- Magische Kreise mit Froschschenkel.
- Bernstein $\underset{\text{griechisch}}{=}$ ηλεκτρον.

Ladungserhaltung

In einem abgeschlossenen System bleibt die gesamte elektrische Ladung konstant.

Beispiel: Paarbildung $e^- + e^+ \to \gamma + \gamma$ (Ruhemasse nicht erhalten)

Ladungsinvarianz

Ladung ändert sich <u>nicht</u> mit der Geschwindigkeit (im Gegensatz zur Masse)

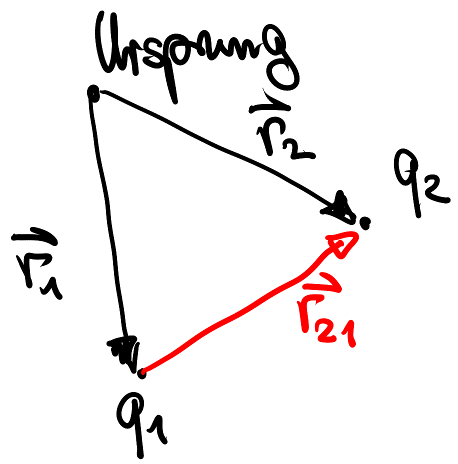
Das Coulombgesetz

Elektrische Kraft zwischen ruhenden Ladungen

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_1}{r^2}$$

mit el. Feldkonstante $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \underbrace{\frac{C^2}{m^2 N}}_{= \frac{As}{Vm}}$

Vektoriell



$\vec{r}_{21} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \qquad r_{21} = |\vec{r}_{21}|$

(Test: $\vec{r}_{21} + \vec{r}_1 = \vec{r}_2$)

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_3}{r_{21}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}}$$

q_1, q_2 gleich geladen: $q_1 \cdot q_2 > 0 \rightsquigarrow \vec{F}_2 \parallel \vec{r}_{21}$: Abstoßung

—"— ungleich —"— $< 0 \rightsquigarrow \vec{F}_2 \uparrow\downarrow \vec{r}_{21}$: Anziehung

Wichtige Aussage: $F \sim 1/r^2$

Wie genau? $\frac{1}{r^{2+n}}$

z.B. E.R. Williams et. al., PRL 26, 721 (1971)

Physical Review Letters

New Experimental test of Coulomb's law

$n = (2{,}7 \pm 3{,}1) \cdot 10^{-16}$!

Die Coulombkraft ...

- hält Atomkern und Elektron zusammen (Quantenmechanik verbietet beliebige Annäherung)
- Verbindet Atome zu Molekülen & Festkörper
- Protonen halten gegen die Coulombkraft im Kern zusammen, weil noch stärkere Kernkräfte wirken.

Das elektrische Feld $\vec{E}$

Die Feldstärke $\vec{E}$ beschreibt die Kraft auf eine gedacht, positive Einheitsladung q

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \qquad \left[\frac{\text{Kraft}}{\text{Ladung}} = \frac{N}{C} = \frac{\text{Volt}}{\text{Meter}} = \frac{V}{m}\right] \quad \text{J/C}$$

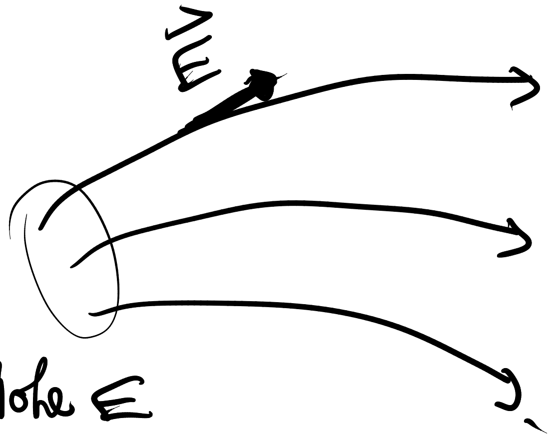
Beispiel einer Punktladung

Ladung q_1 am Ort $\vec{r}_1$ erzeugt im Punkt $\vec{r}_0$ ein elektrisches Feld $\vec{E}(\vec{r}_0)$:

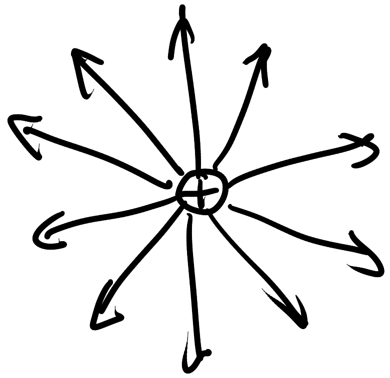
$$\vec{E}(\vec{r}_0) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1}{r_{01}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{01}}{r_{01}}$$

Darstellung durch Kraftlinien (Feldlinien)

- Richtung gegeben durch Vektor $\vec{E}$; Dichte der Feldlinien $|\vec{E}|$ an.

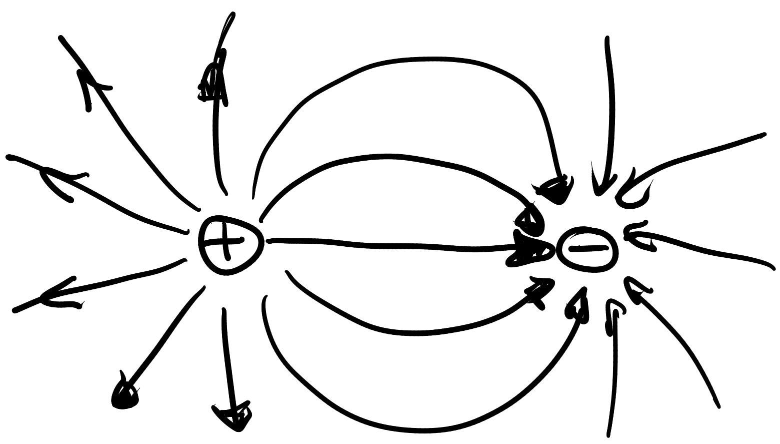


Feld um eine Punktladung



- Radial weg vom Zentrum $q_1 > 0$
- $\text{Dichte} = \dfrac{\#\,\text{Feldlinien}}{4\pi r^2} \sim \dfrac{1}{r^2}$

Feld eines elektrischen Dipols

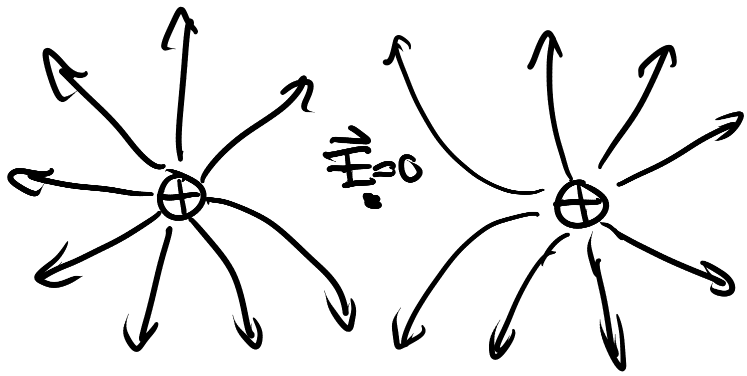


Elektrischen Feldlinien starten bei ⊕ und

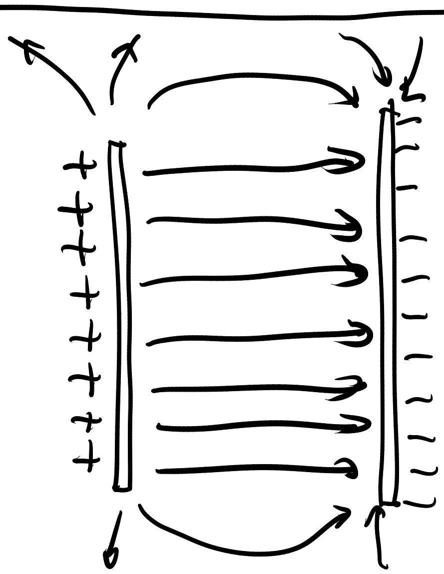
⊕ $\longrightarrow$ ⊖

$q>0$

enden auf ⊖.

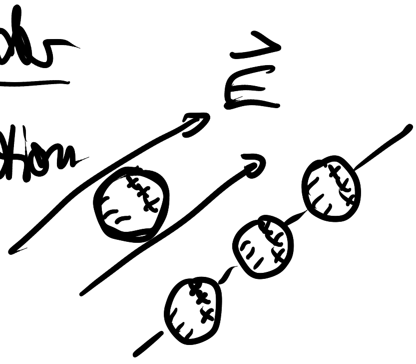


Homogenes $\vec{E}$-Feld eines Plattenkondensators



Sichtbarmachung elektrischer Felder

Grieß in Rizinusöl : Polarisation



Superposition

N Ladungen q_j ($j = 1, 2, 3 \dots N$) am Ort $\vec{r}_j$ erzeugen am Ort $P_0(\vec{r}_0)$ das Gesamtfeld

$$\vec{E}(\vec{r}_0) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{j=1}^{N} \frac{q_j}{r_{0j}^2} \frac{\vec{r}_{0j}}{r_{0j}}$$

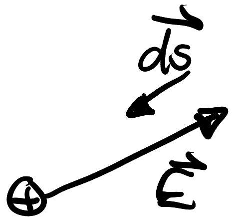
$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_{V_1} \frac{\rho(\vec{r}_1)}{r_{01}^2} \frac{\vec{r}_{01}}{r_{01}} \cdot dV_1$$

Kontinuierliche Ladungsverteilung $\rho(\vec{r}) = \frac{dq(\vec{r})}{dV}$

Elektrostatisches Potential φ

$\varphi(P)$ ist die Arbeit, die aufgewandt werden muß, um die Einheitsladung $q = 1C$ von ∞ zum Punkt P zu bringen:

$$\varphi(P) = -\int_{\infty}^{P} \vec{E} \cdot \vec{ds}$$



Damit ist die Arbeit W, um q von Punkt 1 zu Punkt 2 zu bringen:

$$W = -q \int_{1}^{2} \vec{E}\,\vec{ds} = -q \left[\int_{1}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} + \int_{\infty}^{2} \vec{E}\,\vec{ds} \right]$$

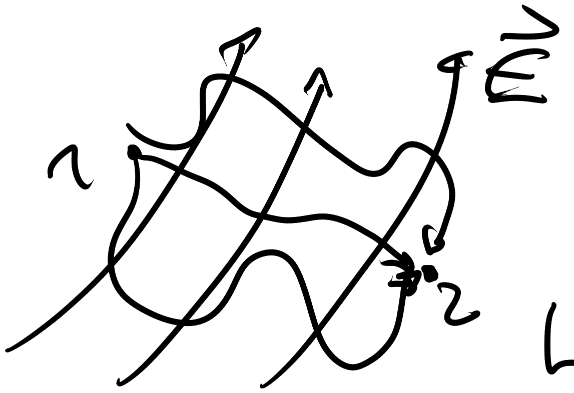
$$= q\,[\varphi(2) - \varphi(1)] = q\, U_{21}$$

$$\left[\varphi(1) = -\int_{\infty}^{1} \vec{E}\,\vec{ds}\right]$$

Potentialdifferenz
= Spannung zwischen
2 und 1

Spannungseinheit: $\frac{\text{Arbeit}}{\text{Ladung}} = \frac{J}{C} = \text{Volt}.$

Bemerkung: Potential ist unabhängig vom Weg



$$\oint \vec{E}\cdot\vec{ds} = 0$$

Linienintegral einer geschlossenen Kurve ist 0.

Umkehrung: Feld aus dem Potential berechnen:

$$\varphi = -\int \vec{E}\,\vec{dr} \;\rightsquigarrow\; d\varphi = -\vec{E}\,\vec{dr}$$

$$d\varphi \overset{①}{=} -(E_x\,dx + E_y\,dy + E_z\,dz)$$

Aber: $\overset{②}{=} \frac{\partial\varphi}{\partial x}\cdot dx + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\cdot dy + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\cdot dz$

Vergleich ① mit ②:

$$E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$$

$$E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$$

$$E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

$$\left.\begin{matrix} E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \\ E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} \\ E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \end{matrix}\right\} \quad \vec{E} = -\operatorname{grad}\varphi, \quad \vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$$

$\rightsquigarrow$ Elektrisches Feld $\vec{E}$ erhält man durch räumliches Differenzieren aus dem Potential $\varphi(\vec{r})$

$\rightsquigarrow$ $\vec{E}$ Linien $\perp$ Äquipotentiallinien von φ stehen