

# Coulombkraft vs. Gravitation

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.  
Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.  
Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.

**Gravitation:** Massen ziehen sich **immer** an.

---

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.  
Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.

**Gravitation:** Massen ziehen sich **immer** an.

Atomkerne enthalten **Protonen** (gleiche Ladung / Masse)

Masse  $m_p \approx 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ , **pos. Ladung**  $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Größenordnung des Kerns etwa  $10^{-15} \text{ m}$  bis  $10^{-14} \text{ m}$

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.  
Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.

**Gravitation:** Massen ziehen sich **immer** an.

Atomkerne enthalten **Protonen** (gleiche Ladung / Masse)

Masse  $m_p \approx 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ , **pos. Ladung**  $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Größenordnung des Kerns etwa  $10^{-15} \text{ m}$  bis  $10^{-14} \text{ m}$

**Zwei Protonen im Abstand  $d$  – Welche Kraft ist stärker?**

Zwei Protonen im Abstand  $d$  – Welche Kraft ist stärker?

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{\frac{k_c e^2}{d^2}}{\frac{\gamma m_p^2}{d^2}} = \frac{k_c e^2}{\gamma m_p^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} (1,602 \cdot 10^{-19} \text{C})^2}{6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} (1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg})^2} \approx 10^{36}$$

Zwei Protonen im Abstand  $d$  – Welche Kraft ist stärker?

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{\frac{k_c e^2}{d^2}}{\frac{\gamma m_p^2}{d^2}} = \frac{k_c e^2}{\gamma m_p^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} (1,602 \cdot 10^{-19} \text{C})^2}{6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} (1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg})^2} \approx 10^{36}$$

**Abstandsunabhängig!**

Zwei Protonen im Abstand  $d$  – Welche Kraft ist stärker?

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{\frac{k_c e^2}{d^2}}{\frac{\gamma m_p^2}{d^2}} = \frac{k_c e^2}{\gamma m_p^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} (1,602 \cdot 10^{-19} \text{C})^2}{6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} (1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg})^2} \approx 10^{36}$$

**Abstandsunabhängig!**

Coulombkraft um **36 Zehnerpotenzen** stärker!

Zwei Protonen im Abstand  $d$  – Welche Kraft ist stärker?

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{\frac{k_c e^2}{d^2}}{\frac{\gamma m_p^2}{d^2}} = \frac{k_c e^2}{\gamma m_p^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} (1,602 \cdot 10^{-19} \text{C})^2}{6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} (1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg})^2} \approx 10^{36}$$

**Abstandsunabhängig!**

Coulombkraft um **36 Zehnerpotenzen** stärker!

Warum bleiben die Protonen im Kern?

Zwei Protonen im Abstand  $d$  – Welche Kraft ist stärker?

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{\frac{k_c e^2}{d^2}}{\frac{\gamma m_p^2}{d^2}} = \frac{k_c e^2}{\gamma m_p^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} (1,602 \cdot 10^{-19} \text{C})^2}{6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} (1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg})^2} \approx 10^{36}$$

**Abstandsunabhängig!**

Coulombkraft um **36 Zehnerpotenzen** stärker!

Warum bleiben die Protonen im Kern? → **starke Kernkraft**

**Planeten:** Wie sieht es auf großen Skalen aus?

**Planeten:** Wie sieht es auf großen Skalen aus?

- Gesamtladung von Mars und Erde etwa vergleichbar

**Planeten:** Wie sieht es auf großen Skalen aus?

- Gesamtladung von Mars und Erde etwa vergleichbar
- Elektrische Feldstärke  $E = k_c \frac{Q}{r^2}$  mit  $k_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$
- Nahe der Erdoberfläche etwa  $100 \frac{N}{C}$  bis  $300 \frac{N}{C}$  (radial).
- Mittlerer Erdradius ist ca. 6371 km.

**Planeten:** Wie sieht es auf großen Skalen aus?

- Gesamtladung von Mars und Erde etwa vergleichbar

- Elektrische Feldstärke  $E = k_c \frac{Q}{r^2}$  mit  $k_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

- Nahe der Erdoberfläche etwa  $100 \frac{N}{C}$  bis  $300 \frac{N}{C}$  (radial).

- Mittlerer Erdradius ist ca. 6371 km.

→ **Gesamtladung der Erde?** (bei einer Feldstärke von  $E = 130 \frac{N}{C}$ )

Mit der Annahme  $E = 130 \frac{N}{C}$  folgt aus  $E = k_c \frac{Q}{r^2}$ :

$$Q_{Erde} = \frac{R_{Erde}^2 E}{k_c} = \frac{(6371 \cdot 10^3 m)^2 \cdot 130 \frac{N}{C}}{9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}} \approx 586 kC$$

Mit der Annahme  $E = 130 \frac{N}{C}$  folgt aus  $E = k_c \frac{Q}{r^2}$ :

$$Q_{Erde} = \frac{R_{Erde}^2 E}{k_c} = \frac{(6371 \cdot 10^3 m)^2 \cdot 130 \frac{N}{C}}{9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}} \approx 586 kC$$

Gesamtladung der Erde ist etwa 600.000 Coulomb

Mit der Annahme  $E = 130 \frac{N}{C}$  folgt aus  $E = k_c \frac{Q}{r^2}$ :

$$Q_{Erde} = \frac{R_{Erde}^2 E}{k_c} = \frac{(6371 \cdot 10^3 m)^2 \cdot 130 \frac{N}{C}}{9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}} \approx 586 \text{ kC}$$

Gesamtladung der Erde ist etwa 600.000 Coulomb

$M_{Erde} \approx 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  und  $M_{Mars} \approx 6,39 \cdot 10^{23} \text{ kg}$

Mit der Annahme  $E = 130 \frac{N}{C}$  folgt aus  $E = k_c \frac{Q}{r^2}$ :

$$Q_{Erde} = \frac{R_{Erde}^2 E}{k_c} = \frac{(6371 \cdot 10^3 m)^2 \cdot 130 \frac{N}{C}}{9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}} \approx 586 \text{ kC}$$

Gesamtladung der Erde ist etwa 600.000 Coulomb

$M_{Erde} \approx 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  und  $M_{Mars} \approx 6,39 \cdot 10^{23} \text{ kg}$

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{k_c Q_{Erde} Q_{Mars}}{\gamma M_{Erde} M_{Mars}} \approx 10^{-17}$$

Mit der Annahme  $E = 130 \frac{N}{C}$  folgt aus  $E = k_c \frac{Q}{r^2}$ :

$$Q_{Erde} = \frac{R_{Erde}^2 E}{k_c} = \frac{(6371 \cdot 10^3 m)^2 \cdot 130 \frac{N}{C}}{9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}} \approx 586 kC$$

Gesamtladung der Erde ist etwa 600.000 Coulomb

$M_{Erde} \approx 5,97 \cdot 10^{24} kg$  und  $M_{Mars} \approx 6,39 \cdot 10^{23} kg$

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{k_c Q_{Erde} Q_{Mars}}{\gamma M_{Erde} M_{Mars}} \approx 10^{-17}$$

Gravitationskraft um **17 Zehnerpotenzen** stärker!