

Atome und Coulombkraft

Atombau, elektrische Ladung und Kräfte zwischen Teilchen

Name: _____

Datum: _____

Grundlagen Proton: $+e$; Elektron: $-e$; Neutron: ungeladen.
Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

$$Q = (N_p - N_e)e, \quad F_C = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

r : Abstand der Teilchen. Rechne im Vakuum mit punktförmigen Ladungen; runde auf drei signifikante Stellen. Notiere bei Rechnungen Ansatz, Einsetzen und Ergebnis.

1 Vom Atom zum Ion

Ein Kohlenstoffatom besitzt 6 Protonen, 6 Neutronen und 6 Elektronen.

- Wo befinden sich diese Teilchen? Warum ist das Atom elektrisch neutral?
- Es gibt zwei Elektronen ab. Wie viele Elektronen bleiben? Bestimme die Ladung in e und in Coulomb. Ändert sich das chemische Element?

2 Ladung erkennen

Ergänze die Tabelle. Bestimme jeweils auch, ob ein neutrales Atom, ein positives Ion oder ein negatives Ion vorliegt.

Teilchen	Protonen	Elektronen	Ladung in e	Einordnung
A	11	10		
B	17	18		
C	8	8		

3 Kräfte einzeichnen

Zeichne bei beiden Paaren die Kraftpfeile an *beiden* Teilchen ein. Vergleiche die Beträge der beiden Kräfte innerhalb eines Paares.



4 Proton und Elektron

Ein Proton und ein Elektron haben den Abstand $r = 0,100 \text{ nm}$. Berechne den Betrag der Coulombkraft. Handelt es sich um Anziehung oder Abstossung?

5 Was verändert die Kraft?

Ausgehend von Aufgabe 4: Wie verändert sich der Kraftbetrag, wenn a) nur der Abstand verdoppelt wird, b) nur die positive Ladung durch $+2e$ ersetzt wird, c) beides gleichzeitig geschieht? Gib jeweils den Faktor und den neuen Kraftbetrag an.

6 Abstand zweier Ionen

Zwei einfach positiv geladene Ionen stoßen sich mit $F = 5,76 \cdot 10^{-9} \text{ N}$ ab. Berechne ihren Abstand in Metern und Nanometern.

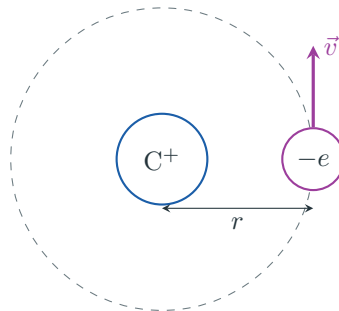
Atome und Coulombkraft

Zusatzaufgabe: Coulombkraft als Zentripetalkraft

7 Ein Elektron auf einer Kreisbahn um ein Kohlenstoffion

Ein einfach ionisiertes Kohlenstoffatom C^+ besitzt 6 Protonen und 5 Elektronen. Ein weiteres Elektron bewegt sich im folgenden **vereinfachten klassischen Modell** mit konstanter Geschwindigkeit $v = 2,00 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ auf einer Kreisbahn um das Ion.

Behandle das Ion als ruhende Punktladung mit seiner *Gesamtladung*. Das Elektron hat die Masse $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ und die Ladung $-e$. Die Coulombkraft liefert die Zentripetalkraft. Vernachlässige Strahlungsverluste und die innere Struktur des Ions. Verwende e und k von Seite 1.



Schematische Darstellung, nicht massstabsgetreu

a) Bestimme die Gesamtladung des Ions. Begründe, weshalb du hier nicht die Kernladung $+6e$ einsetzen darfst.

b) Zeichne die auf das umlaufende Elektron wirkende elektrische Kraft in die Skizze ein.

c) Setze Coulombkraft und Zentripetalkraft gleich. Leite daraus eine Formel für den Bahnradius r her.

d) Berechne den Bahnradius in Metern und Nanometern.

Hinweis: Die angenommene Kreisbahn dient als Rechenmodell. Sie beschreibt keine reale Elektronenbahn im Kohlenstoffatom.

Atome und Coulombkraft – Lösungen

Rechenwege und Erklärungen

1 Vom Atom zum Ion

a) Protonen und Neutronen befinden sich im Atomkern, Elektronen in der Elektronenhülle. Die Ladungen von 6 Protonen und 6 Elektronen heben sich auf: $Q = 0$.

b) Es bleiben 4 Elektronen. Die Gesamtladung beträgt

$$Q = (6 - 4)e = +2e = +3,20 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

Es entsteht ein zweifach positiv geladenes Kohlenstoffion, C^{2+} . Das Element bleibt Kohlenstoff, denn die Protonenzahl bleibt 6.

2 Ladung erkennen

Teilchen	Ladung	Einordnung
A	$+e$	positives Ion
B	$-e$	negatives Ion
C	0	neutrales Atom

3 Kräfte einzeichnen

a) Anziehung: Der Pfeil am linken Teilchen zeigt nach rechts, der am rechten nach links.

b) Abstossung: Der Pfeil am linken Teilchen zeigt nach links, der am rechten nach rechts.

Innerhalb jedes Paares sind beide Kräfte gleich gross und entgegengesetzt gerichtet (Wechselwirkungsprinzip). Das gilt auch bei unterschiedlich grossen Ladungen.

4 Proton und Elektron

$$r = 0,100 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 1,00 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$F_C = k \frac{e^2}{r^2} = 8,988 \cdot 10^9 \frac{(1,602 \cdot 10^{-19})^2}{(1,00 \cdot 10^{-10})^2} \text{ N} = \boxed{2,31 \cdot 10^{-8} \text{ N}}.$$

Die Ladungen haben unterschiedliche Vorzeichen: Die Kraft ist anziehend.

5 Was verändert die Kraft?

Aus $F \propto |q_1 q_2|/r^2$ folgt (mit dem ungerundeten Wert aus Aufgabe 4):

Änderung	Faktor	Neuer Kraftbetrag
a) $r \rightarrow 2r$	1/4	$5,77 \cdot 10^{-9} \text{ N}$
b) $q_1 \rightarrow 2q_1$	2	$4,61 \cdot 10^{-8} \text{ N}$
c) beide Änderungen	$2/4 = 1/2$	$1,15 \cdot 10^{-8} \text{ N}$

6 Abstand zweier Ionen

Mit $q_1 = q_2 = +e$ ergibt Umstellen nach dem positiven Abstand r :

$$F = k \frac{e^2}{r^2} \implies r = \sqrt{\frac{ke^2}{F}} = \sqrt{\frac{8,988 \cdot 10^9 (1,602 \cdot 10^{-19})^2}{5,76 \cdot 10^{-9}}} \text{ m}$$

$$\boxed{r = 2,00 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,200 \text{ nm}}.$$

7 Ein Elektron auf einer Kreisbahn um ein Kohlenstoffion

a) $Q = (6 - 5)e = +e$. Im vorgegebenen Punktladungsmodell zählt die Gesamtladung des Ions, einschliesslich seiner fünf Elektronen; $+6e$ wäre nur die Ladung des nackten Kerns.

b) Die Kraft zeigt vom umlaufenden Elektron zum Ion, also radial nach innen.

c) Die Coulombkraft *ist* die Zentripetalkraft:

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{m_e v^2}{r} \implies \boxed{r = \frac{ke^2}{m_e v^2}}.$$

d) Mit der vorgegebenen Geschwindigkeit folgt

$$r = \frac{8,988 \cdot 10^9 (1,602 \cdot 10^{-19})^2}{9,109 \cdot 10^{-31} (2,00 \cdot 10^6)^2} \text{ m} = \boxed{6,33 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 0,0633 \text{ nm}}.$$

Zum Modell: Elektronen in Atomen besitzen keine festgelegten klassischen Kreisbahnen. Aufgabe 7 verbindet Coulombkraft und Kreisbewegung in einem vereinfachten Modell; sie bestimmt keinen realen Kohlenstoff-Atomradius.