

**MEHR
ERFAHREN**

12. Klasse

Technik

**Gravitations-, elektrisches und
magnetisches Feld**

STARK

**MEHR
ERFAHREN**

12. Klasse

Technik

**Gravitations-, elektrisches und
magnetisches Feld**

STARK

Inhalt

Vorwort

Gravitation	1
1 Das Weltbild von Ptolemäus bis heute	2
1.1 Geozentrisches Weltbild von Ptolemäus	2
1.2 Heliozentrisches Weltbild von Nikolaus Kopernikus	2
1.3 Kepler'sche Gesetze	3
1.4 Modernes Weltbild	4
2 Gravitationsgesetz	5
2.1 Theoretische Herleitung des Gravitationsgesetzes	6
2.2 Bestimmung der Gravitationskonstanten	8
2.3 Massenbestimmung von Himmelskörpern	12
2.4 Satellitenbahnen	14
2.5 Schwerelosigkeit in der Raumkapsel	16
3* Gravitationsfeld	19
3.1* Der Feldbegriff	19
3.2* Gravitationsfeldstärke	20
4* Arbeit und Energie im Gravitationsfeld	23
4.1* Feldarbeit im radialsymmetrischen Gravitationsfeld	23
4.2* Kinetische und potenzielle Energie eines Satelliten	25
4.3* Die kosmischen Geschwindigkeiten	31
5* Das Gravitationspotenzial	34
Elektrisches Feld	37
6 Coulomb'sches Gesetz	38
6.1 Die elektrische Ladung	38
6.2 Kraft zwischen elektrischen Ladungen	40
7 Elektrische Feldstärke	47
7.1 Der Begriff der elektrischen Feldstärke	47
7.2 Experimentelle Behandlung des radialsymmetrischen elektrischen Feldes	48
7.3 Darstellung des elektrischen Feldes durch Feldlinienbilder	51
7.4 Experimentelle Untersuchung des homogenen elektrischen Feldes im Plattenkondensator	56

Fortsetzung nächste Seite

8	Arbeit im elektrischen Feld	60
8.1	Homogenes elektrisches Feld	60
8.2	Radialsymmetrisches elektrisches Feld	60
8.3	Wegunabhängigkeit der Feldarbeit	61
9	Potenzielle Energie im elektrischen Feld	62
9.1	Homogenes elektrisches Feld	62
9.2	Radialsymmetrisches elektrisches Feld	63
10	Potenzial und Spannung im elektrischen Feld	66
10.1	Elektrisches Potenzial im homogenen Feld	66
10.2	Elektrisches Potenzial im radialsymmetrischen Feld	67
10.3	Die elektrische Spannung	69
11	Experimentelle Untersuchung des elektrischen Potenzials	70
11.1	Messprinzip eines statischen Spannungsmessers	70
11.2	Homogenes elektrisches Feld	71
11.3	Radialsymmetrisches elektrisches Feld (Coulombpotenzial)	72
11.4.	Potenzial im Inneren eines Faraday-Käfigs	74
11.5	Äquipotenzialflächen eines radialsymmetrischen elektrischen Feldes	75
12	Zusammenhang zwischen Spannung und Feldstärke im homogenen elektrischen Feld	76
12.1	Theoretische Überlegungen	76
12.2	Experimentelle Bestätigung	76
13	Kapazität eines Kondensators	79
13.1	Zusammenhang zwischen Plattenladung und Spannung bei einem Plattenkondensator	79
13.2	Untersuchung der Kapazität eines Plattenkondensators	81
13.3	Dielektrikum und relative Dielektrizitätszahl	82
13.4	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren	83
14	Flächenladungsdichte	84
14.1	Abhängigkeit der Influenzladung von der Plattenfläche	85
14.2	Grundgleichung des elektrischen Feldes	86
15	Energie im Plattenkondensator	87
15.1	Experimentelle Herleitung	87
15.2	Theoretische Herleitung	91
16	Bestimmung der Elementarladung des Elektrons: Der Millikanversuch	92
17	Elektron im elektrischen Feld	94
17.1	Erzeugung freier Elektronen durch Glühemission	94
17.2	Bewegung eines Elektrons in einem konstanten elektrischen Längsfeld	94

17.3	Bewegung eines Elektrons in einem konstanten elektrischen Querfeld	96
17.4	Prinzip des Oszilloskops	100
Magnetisches Feld		103
18	Das Magnetfeld	104
18.1	Einführende Versuche	104
18.2	Begriff des Magnetfelds	105
18.3	Untersuchung von Magnetfeldern (Feldlinienbilder)	105
18.4	Deutung des Permanentmagnetismus	108
18.5	Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld	108
19	Magnetische Flussdichte und magnetischer Fluss	111
19.1	Experimentelle Herleitung der Flussdichte	111
19.2	Vektorieller Charakter der magnetischen Flussdichte	114
19.3	Magnetischer Fluss im homogenen Feld	116
20	Lorentzkraft	118
20.1	Kraftwirkung auf freie Ladungsträger (Elektronenstrahl)	118
20.2	Bestimmung der Kraft auf eine einzelne bewegte Ladung im Magnetfeld	119
21	Halleffekt	120
21.1	Modellversuch zum Halleffekt	121
21.2	Theoretische Überlegungen	121
21.3	Anwendung des Halleffektes (B-Bestimmung)	122
22	Bewegung geladener freier Teilchen im homogenen Magnetfeld... ..	125
22.1	Bewegung senkrecht zum homogenen Magnetfeld	125
22.2	Bewegung mit beliebiger Orientierung zum homogenen Magnetfeld	127
23	Spezifische Ladung und Masse des Elektrons	130
23.1	Theoretische Herleitung	130
23.2	Experimentelle Bestätigung	130
24	Überlagerung von Lorentzkraft und elektrischer Kraft	133
24.1	Experimentelle Untersuchung	133
24.2	Geschwindigkeitsfilter	134
25	Magnetische Flussdichte einer leeren Spule	137
25.1	Experimentelle Untersuchung und Definition der magnetischen Feldkonstanten	137
25.2	Überprüfung der Ergebnisse für kurze und lange Spulen	140
25.3	Magnetische Flussdichte der Erde	142

Elektromagnetische Induktion	145
26 Gleichförmig bewegter gerader Leiter im homogenen Magnetfeld	146
26.1 Experimentelle Untersuchung	146
26.2 Theoretische Herleitung einer Formel für die Induktionsspannung	147
26.3 Experimentelle Bestätigung der Formel für die Induktionsspannung ..	147
26.4 Offene und geschlossene rechteckige Leiterschleife im Magnetfeld ..	151
27 Induktionsgesetz in differentieller Form	154
27.1 Induktionsspannung bei Änderung der wirksamen Fläche	154
27.2 Induktionsspannung bei Änderung der magnetischen Flussdichte	156
27.3 Induktionsspannung bei Änderung der wirksamen Fläche und der magnetischen Flussdichte	162
28 Lenz'sche Regel	163
28.1 Experimentelle Herleitung	163
28.2 Zusammenhang mit dem differentiellen Induktionsgesetz	164
28.3 Weiterführende Versuche zu Lenz'schen Regel: Kreis- und Wirbelströme	166
29 Sinusförmige Wechselspannung	170
30 Gleich- und Wechselstromkreis	172
30.1 Untersuchung von Spannung und Stromstärke	172
30.2 Untersuchung der Zeitabhängigkeit der Leistung	174
30.3 Elektrische Arbeit	175
30.4 Effektivwerte	176
31 Selbstinduktionsspannung	177
31.1 Ein- und Ausschaltvorgang	177
31.2 Induktivität einer langen Spule	181
31.3 Reihen- und Parallelschaltung von Spulen	182
32 Energieinhalt einer langen stromdurchflossenen Spule	183
32.1 Theoretische Herleitung	183
32.2 Experimentelle Bestätigung	184
Lösungen	187

Autoren: Eberhard Lehmann, Friedrich Schmidt

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

der vorliegende Trainingsband Physik enthält die wichtigen Lerninhalte **Gravitation, elektrisches und magnetisches Feld** sowie **elektromagnetische Induktion**, die in der 12. Jahrgangsstufe der Fach- bzw. Berufsoberschule, Ausbildungsrichtung Technik, behandelt werden. Er eignet sich ideal zum **unterrichtsbegleitenden** Einsatz und zur Vorbereitung auf die **Abschlussprüfung**. Dabei kommt Ihnen der systematische Aufbau des Buches zugute:

- Die **auf das Wesentliche konzentrierte Darstellung des Unterrichtsstoffs** erleichtert Ihnen das selbstständige Durcharbeiten.
- **Anschauliche Experimente** verdeutlichen die physikalischen Sachverhalte und verhelfen Ihnen zu einem besseren Verständnis.
- Die **übersichtliche Darstellung des Versuchsaufbaus** ermöglicht es Ihnen, die Experimente problemlos nachzuvollziehen.
- **Einfache Prinzipskizzen** helfen Ihnen, sich auch kompliziertere Abläufe gut einzuprägen.
- **Messprotokolle** und deren grafische oder rechnerische Auswertung führen Sie schrittweise zum Verständnis physikalischer Begriffe und Gesetzmäßigkeiten.
- **Zahlreichen Aufgaben**, die jeweils mehrere Abschnitte verknüpfen, ermöglichen Ihnen die **eigenständige Bearbeitung** des Unterrichtsstoffs und bereiten Sie so gezielt auf das Anspruchsniveau der Abschlussprüfung vor.
- Sämtliche Aufgaben sind mit **ausführlichen Lösungen** versehen, die Ihnen die selbstständige Kontrolle Ihres Lernfortschritts ermöglicht.
- Die **Abbildungen und Fotos** stellen einen direkten Bezug des erworbenen physikalischen Wissens zur Umwelt und Technik her.

Hinweis: Die im Inhaltverzeichnis gekennzeichneten Kapitel (3, 4, 5) und Aufgaben (6 bis 12) sind seit dem Schuljahr 2006/2007 nicht mehr im Lehrplan. Um Analogiebetrachtungen zwischen dem elektrischen Feld und dem Gravitationsfeld zu erleichtern und somit ein besseres Verständnis zu ermöglichen, sind diese Kapitel und die zugehörigen Aufgaben weiterhin im vorliegenden Trainingsbuch enthalten.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Arbeit mit diesem Buch.

Eberhard Lehmann

Friedrich Schmidt

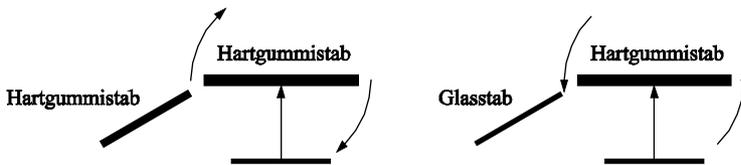
6 Coulomb'sches Gesetz

6.1 Die elektrische Ladung

Eigenschaften

Versuch Wir reiben einen drehbar gelagerten Hartgummistab an einem Katzenfell. Nähert man diesem Hartgummistab

- einen weiteren an einem Katzenfell geriebenen Hartgummistab,
 - einen am Katzenfell geriebenen Glasstab,
- so lässt sich folgendes beobachten:



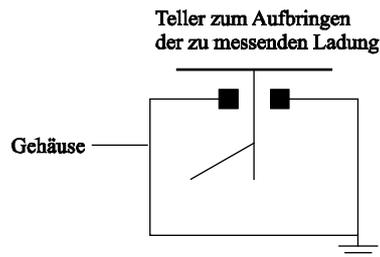
Ergebnis

- Die Stäbe stoßen sich ab;
- die Stäbe ziehen sich an.

Folgerung: Auf den Stäben treten durch Reibung elektrische Ladungen auf: im Fall a gleichartige Ladungen, welche sich abstoßen, und im Fall b verschiedenartige Ladungen, welche sich anziehen.

Nachweisgeräte für elektrische Ladungen

- Um elektrische Ladungen nachzuweisen, nützt man die abstoßende Kraft zwischen gleichartigen Ladungen aus. Geräte, die auf diesem Messprinzip beruhen, nennt man **Elektroskope** (siehe Skizze).



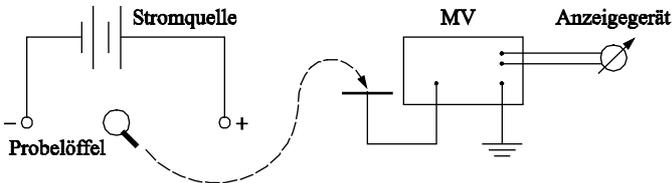
- Stromempfindlicher **Messverstärker** (Ladungsmesser)
Mit dem Messverstärker können besonders einfach elektrische Ladungen nachgewiesen werden. Ladungsmesser dieser Art sind bereits werkseitig geeicht, sodass eine Ladungsmessung in Coulomb möglich ist.
Die SI-Einheit der Ladung ist 1 Coulomb (C).

Anwendung des Messverstärkers (MV)

Versuch 1 Ladungsmessung des geriebenen Hartgummistabs bzw. Glasstabs.

Ergebnis: Das Anzeigergerät des MV reagiert auf die unterschiedlichen elektrischen Ladungen durch entgegengesetzte Zeigerausschläge.

Versuch 2



- Berührung des Probelloeffels mit dem Pluspol (Minuspole) der Stromquelle,
- Messung der auf dem Probelloeffel befindlichen Ladung mithilfe des MV.

Ergebnis: Der MV zeigt den gleichen Ausschlag wie bei der Berührung mit dem Glas- bzw. Hartgummistab. Damit ist gezeigt, dass der geriebene Glasstab positive Ladungen (Elektronenmangel) und der geriebene Hartgummistab negative Ladung (Elektronenüberschuss) trägt.

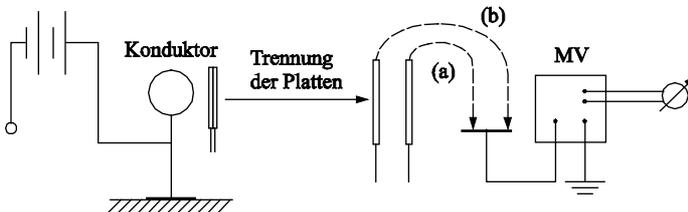
Versuch 3 Wir bringen durch mehrmaliges Löffeln Ladungen vom Pluspol oder Minuspole der Stromquelle zum MV.

Ergebnis: Die dem MV zugeführte Ladung vergrößert sich durch das Löffeln auf ganzzahlige Vielfache. Die elektrische Ladung besitzt somit Mengencharakter.

Versuch 4 Wir bringen nacheinander mit dem Probelloeffel Ladungen vom Plus- und Minuspole der Stromquelle zum MV.

Ergebnis: Der zunächst sichtbare Ausschlag des Anzeigergerätes des MV geht nach der zweiten Berührung mit dem Probelloeffel wieder auf null zurück. Hieraus folgt, dass sich positive und negative Ladungen in ihrer Wirkung aufheben.

Versuch 5 Elektrische Influenz in Leitern



Die ungeladenen Doppelplatten werden in die Nähe der positiv geladenen Konduktorkugel gebracht. Anschließend werden die Platten getrennt und einzeln mit dem MV in Berührung gebracht.

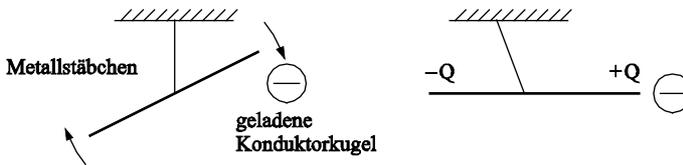
Ergebnis: Wie im Versuch 4 geht der zunächst sichtbare Ausschlag des Anzeigerätes bei (a) nach Berühren mit der zweiten Platte (b) auf null zurück.

Erklärung: In der Doppelplatte werden durch den Einfluss der positiven Ladung der Konduktorkugel Ladungen getrennt. Diese Ladungstrennung heißt **elektrische Influenz**.

Versuch 6 Wir nähern eine geladene Konduktorkugel einem Metallstäbchen, welches an einem Faden drehbar aufgehängt ist.

Ergebnis: Das Metallstäbchen stellt sich so ein, dass seine Längsrichtung auf den Konduktor weist. Außerdem wird es vom geladenen Konduktor angezogen.

Erklärung: Im neutralen Metallstäbchen werden die elektrischen Ladungen unter dem Einfluss der Konduktorladung verschoben. Das Metallstäbchen wird zu einem so genannten **Dipol**.



Auf die gegengleichen Ladungen $+Q$ und $-Q$ wirken Kräfte, die das Metallstäbchen drehen. Das Stäbchen zeigt die Richtung der elektrischen Kraft an.

6.2 Kraft zwischen elektrischen Ladungen

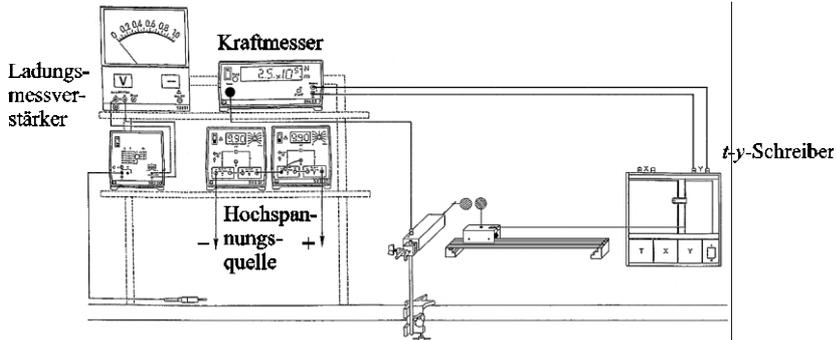
Zwischen elektrischen Ladungen wirken Kräfte. Wir untersuchen, von welchen Größen diese Kräfte abhängen.

Experimentelle Herleitung des Coulomb'schen Gesetzes

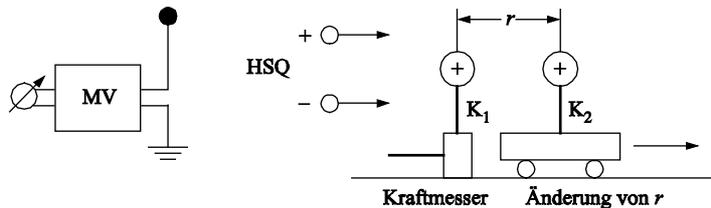
Versuch *Versuchsaufbau*

Verwendet wird ein elektronischer Kraftmesser in Verbindung mit einem t -y-Schreiber. Zur Ladungsaufnahme dienen zwei Kugeln. Kugel 1 ist starr an dem Kraftaufnehmer befestigt. In gleicher Höhe wie Kugel 1 befindet sich Kugel 2. Diese ist auf einem Wagen befestigt, der durch eine Fahrbahn geführt wird. Der Schreibarm des Schreibers kann durch eine Schnurverbindung den Wagen auf der

Fahrbahn bewegen. Die für den Versuch notwendigen Ladungen liefern zwei Hochspannungsnetzgeräte (HSQ). Ein Ladungsmesser misst die auf die Kugeln aufgebrauchten Ladungen.



Schaltskizze



Versuchsdurchführung

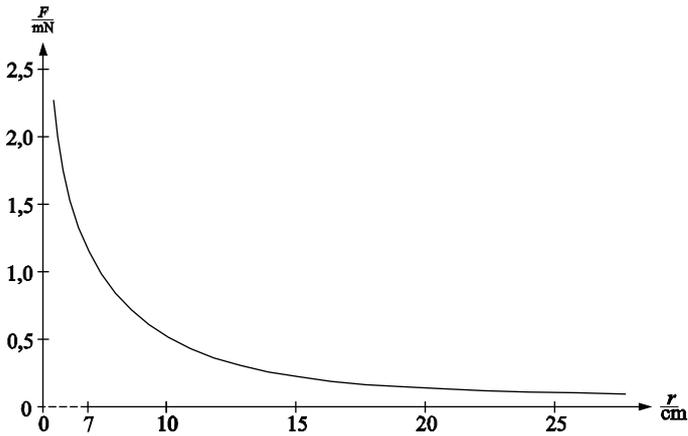
Auf die Kugeln K_1 und K_2 wird mithilfe der HSQ die Ladung Q_1 und Q_2 aufgebracht. Zwischen den geladenen Kugeln wirkt die Coulombkraft \vec{F} . Der Betrag der wirkenden Coulombkraft kann am elektronischen Kraftmesser abgelesen werden. Wir messen die Coulombkraft \vec{F} zwischen den geladenen Kugeln in Abhängigkeit vom Abstand r (Entfernung der Kugelmittelpunkte) und der Ladungen Q_1 und Q_2 .

- a) Zusammenhang zwischen der Kraft F und dem Abstand r
Bei konstanter Ladung Q_1 und Q_2 wird die Kraft F bei veränderbarem Abstand r bestimmt.

Messprotokoll

$$Q_1 = 0,8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

$$Q_2 = 0,8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

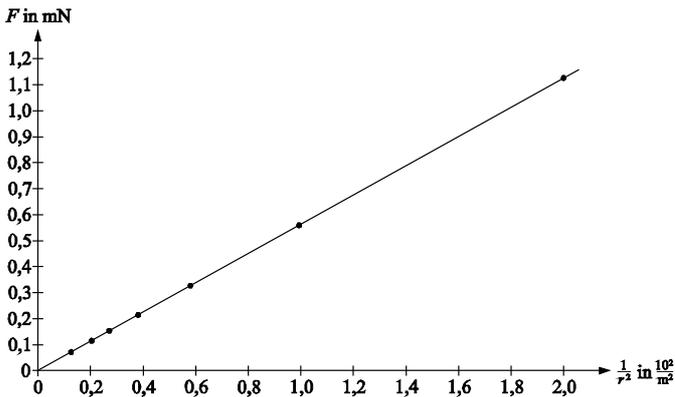


Rechnerische Auswertung

r in 10^{-2} m	7,0	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0	25,0
F in mN	1,13	0,53	0,32	0,21	0,15	0,11	0,09
$F \cdot r^2$ in 10^{-3} Nm ²	5,5	5,3	5,4	5,4	5,4	5,3	5,6

Grafische Auswertung im $\frac{1}{r^2}$ - F -Diagramm

$\frac{1}{r^2}$ in $\frac{10^2}{m^2}$	2,00	1,00	0,59	0,39	0,28	0,21	0,16
F in mN	1,13	0,53	0,32	0,21	0,15	0,11	0,09



Ergebnis

$$F \propto \frac{1}{r^2} \quad (Q_1 = \text{konst.}, Q_2 = \text{konst.})$$

- b) Zusammenhang zwischen der Kraft F und der Ladung Q_1
Bei konstantem Abstand r und konstanter Ladung Q_2 wird die Kraft F bei verschiedener Ladung Q_1 gemessen.

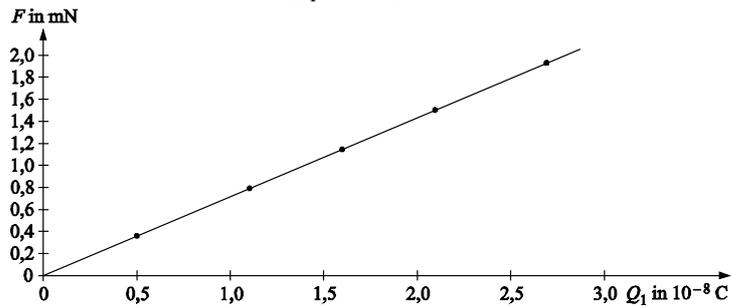
Messprotokoll und rechnerische Auswertung

$$r = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$Q_2 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

Q_1 in 10^{-8} C	0,5	1,1	1,6	2,1	2,7
F in mN	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9
$\frac{F}{Q_1}$ in $\frac{\text{mN}}{10^{-8} \text{ C}}$	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7

Grafische Auswertung im Q_1 - F -Diagramm



Ergebnis

$$F \sim Q_1 \quad (Q_2 = \text{konst.}, r = \text{konst.})$$

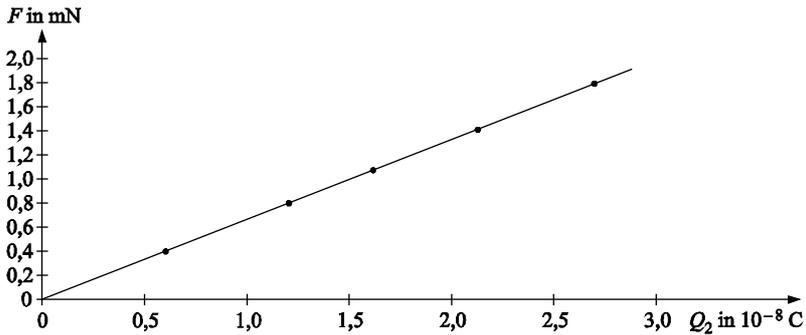
- c) Zusammenhang zwischen der Kraft F und der Ladung Q_2
Bei konstantem Abstand r und konstanter Ladung Q_1 wird die Kraft F bei verschiedener Ladung Q_2 gemessen.

Messprotokoll und rechnerische Auswertung

$$r = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$Q_1 = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

Q_2 in 10^{-8} C	0,6	1,2	1,6	2,2	2,7
F in mN	0,4	0,8	1,1	1,4	1,8
$\frac{F}{Q_2}$ in $\frac{\text{mN}}{10^{-8} \text{ C}}$	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7

Grafische Auswertung im Q_2 - F -Diagramm*Ergebnis*

$$F \sim Q_2 \quad (Q_1 = \text{konst.}, r = \text{konst.})$$

Zusammenfassung der Einzelergebnisse von a, b und c

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Coulombgesetz (1785)
(Betragsgleichung)



Charles Coulomb, (1736–1806),
französischer Physiker

Wir bestimmen den Proportionalitätsfaktor k . Aus

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

folgt:

$$k = \frac{F r^2}{Q_1 Q_2}$$

Mit den Messwerten aus Messreihe b

$$F = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ N,}$$

$$r = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m,}$$

$$Q_1 = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ C,}$$

$$Q_2 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

erhalten wir:

$$k = \frac{1,1 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot (6,0 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2}{1,6 \cdot 10^{-8} \text{ C} \cdot 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ C}}$$

$$k = 9,9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$$

Sollwert:

$$k = 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$$

Prozentuale Abweichung f_p :

$$f_p = \left| \frac{9,9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2} - 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}}{9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}} \right| \cdot 100\% = 10\%$$

Wie später theoretisch gezeigt wird, besteht zwischen dem Proportionalitätsfaktor k des Coulombgesetzes und der elektrischen Feldkonstanten (Dielektrizitätskonstante des Vakuums) ε_0 der Zusammenhang:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$$

$$\text{mit } \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V m}}$$

Damit lautet das Coulombgesetz für punktförmige Ladungen im Vakuum:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Vektorielle Darstellung des Coulombgesetzes

Entsprechend der unterschiedlichen Ladungsarten ergeben sich bei Berücksichtigung des Vorzeichens der Ladung zwei Fälle für die Richtung der Coulombkräfte:

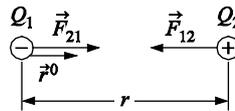
a) **Anziehung:** $Q_1 \cdot Q_2 < 0$

Fall 1: $Q_1 < 0$ und $Q_2 > 0$

\vec{F}_{12} ist die Kraft der Ladung Q_1 auf die Ladung Q_2 , \vec{F}_{21} ist die Kraft der Ladung Q_2 auf die Ladung Q_1 (Gegenkraft).

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{r}^0$$



Der Fall 2: $Q_1 > 0$ und $Q_2 < 0$ zeigt das gleiche Ergebnis wie Fall 1.

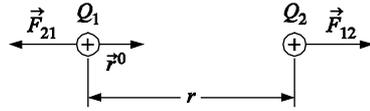
b) **Abstoßung:** $Q_1 \cdot Q_2 > 0$

Fall 1: $Q_1 > 0$ und $Q_2 > 0$

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{r}^0$$

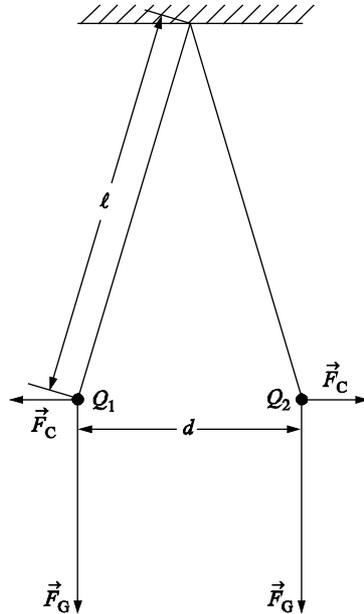
Auch hier zeigt der Fall 2: $Q_1 < 0$ und $Q_2 < 0$ das gleiche Ergebnis wie Fall 1.



- Aufgaben**
13. a) Berechnen Sie den Betrag der elektrischen Kraft F_C zwischen Atomkern und Elektron eines Wasserstoffatoms.
 b) Vergleichen Sie diesen Wert F_C mit der Gravitationskraft F_{Gr} zwischen Atomkern und Elektron.

14. Zwei als Massenpunkte zu betrachtende Körper der Masse m_1 und m_2 tragen die positiven Ladungen Q_1 und Q_2 mit $m_1 = m_2 = 1,0 \cdot 10^{-3}$ kg und $Q_1 = 1,0 \cdot 10^{-13}$ C. Wie groß muss die Ladung Q_2 sein, damit sich Gravitationskraft und Coulombkraft aufheben?

15. Zwei gleiche Kugeln mit der Gewichtskraft von je $0,5 \cdot 10^{-2}$ N sind an zwei je $l = 1,00$ m langen, oben an demselben Punkt befestigten Fäden aufgehängt und tragen gleiche Ladungen $Q_1 = Q_2 = Q$. Die Kugeln haben wegen der Abstoßung den Abstand $d = 0,20$ m. Berechnen Sie den Betrag der Ladung auf den Kugeln.



Berechnung:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 7,32 \cdot 10^{22} \text{ kg} \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{1}{1,738 \cdot 10^6 \text{ m} + 1,10 \cdot 10^5 \text{ m}} - \frac{2}{1,738 \cdot 10^6 \text{ m}} \right)$$

$$\Delta E = -1,49 \cdot 10^9 \text{ J}$$

12. Vergleichen Sie Aufgabe 6.

Für das durch K_1 im Punkt P erzeugte Gravitationspotenzial V_1 gilt:

$$V_1 = -\frac{G m}{r_1}$$

Berechnung:

$$V_1 = -\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} \cdot 10,0 \cdot 10^{25} \text{ kg}}{3,0 \cdot 10^7 \text{ m}}$$

$$V_1 = -2,22 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Für das durch K_2 im Punkt P erzeugte Gravitationspotenzial V_2 gilt:

$$V_2 = -\frac{G m}{r_2}$$

Berechnung:

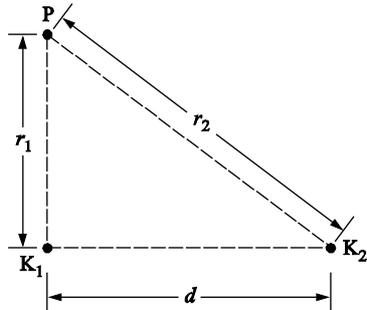
$$V_2 = -\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} \cdot 10,0 \cdot 10^{25} \text{ kg}}{5,0 \cdot 10^7 \text{ m}}$$

$$V_2 = -1,33 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Es gilt: $V_{\text{res}} = V_1 + V_2$

Somit: $V_{\text{res}} = -2,22 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{kg}} - 1,33 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

$$V_{\text{res}} = -3,55 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$



13. a) Für den Abstand r des Elektrons vom Wasserstoffkern (Proton) gilt:

$$r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m (Radius der Bohr-Grundbahn)}$$

Die Ladung Q_1 des Elektrons beträgt: $Q_1 = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Die Ladung Q_2 des Protons beträgt: $Q_2 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Für den Betrag der Coulombkraft F_C ergibt sich:

$$F_C = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{|Q_1| |Q_2|}{r^2}$$

Berechnung:

$$F_C = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}} \cdot \frac{|-1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}| \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}}{(5,3 \cdot 10^{-11} \text{m})^2}$$

$$F_C = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{N}$$

b) Die Masse m_1 des Elektrons beträgt: $m_1 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg}$

Die Masse m_2 des Protons beträgt: $m_2 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}$

Für den Betrag der Gravitationskraft F_{Gr} ergibt sich:

$$F_{\text{Gr}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Berechnung:

$$F_{\text{Gr}} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{kg} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{kg}}{(5,3 \cdot 10^{-11} \text{m})^2}$$

$$F_{\text{Gr}} = 3,6 \cdot 10^{-47} \text{N}$$

Vergleich der beiden Kräfte ergibt:

$$\frac{F_C}{F_G} = \frac{8,2 \cdot 10^{-8} \text{N}}{3,6 \cdot 10^{-47} \text{N}}$$

$$\frac{F_C}{F_G} = 2,3 \cdot 10^{39}$$

Die Gravitationskraft ist also im Vergleich zur Coulombkraft vernachlässigbar.

14. Es soll gelten:

Gravitationskraft = Coulombkraft

$$F_G = F_C$$

$$G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{1}{4 \pi \varepsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$Q_2 = 4 \pi \varepsilon_0 G \frac{m_1 m_2}{Q_1}$$

Berechnung:

$$Q_2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2} \cdot \frac{(1,0 \cdot 10^{-3} \text{kg})^2}{1,0 \cdot 10^{-13} \text{C}}$$

$$Q_2 = 7,4 \cdot 10^{-14} \text{C}$$

$$15. Q_1 = Q_2 = Q$$

$$l^2 = h^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$\vec{F} = \vec{F}_C + \vec{F}_G$$

Es gilt:

$$\frac{F_G}{F_C} = \frac{h}{\frac{d}{2}}$$

Somit:

$$F_C = \frac{d F_G}{2h} = \frac{F_G d}{2 \cdot \sqrt{l^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}}$$

Berechnung:

$$F_C = \frac{0,5 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot 0,20 \text{ m}}{2 \cdot \sqrt{(1,00 \text{ m})^2 - (0,10 \text{ m})^2}}$$

$$F_C = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Mit

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{d^2}$$

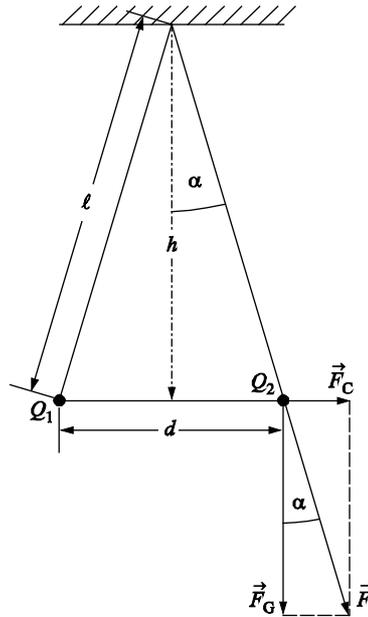
folgt:

$$Q = \sqrt{F_C d^2 4\pi\epsilon_0}$$

Berechnung:

$$Q = \sqrt{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot (0,20 \text{ m})^2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}}$$

$$Q = 4,7 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$



$$16. a) E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$E(r) = 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{r^2} = 9,0 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}} \cdot \frac{1}{r^2}$$

b) r in 10^{-2} m	4,5	9,0	13,5
E in $\frac{\text{kN}}{\text{C}}$	4,4	1,1	0,5



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de

info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

STARK



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

STARK