



**MEHR
ERFAHREN**

NEUES ABITUR

ABITUR-TRAINING

Gymnasium

Physik 1

Elektromagnetismus

STARK

Inhalt

Vorwort

Statisches elektrisches Feld 1

	1 Elektrische Ladung	2
	2 Elektrisches Feld und elektrische Feldstärke	5
	3 Das radialsymmetrische Feld	10
	4 Überlagerung elektrischer Felder	14
	5 Der Plattenkondensator als Ladungsspeicher	16
	6 Das elektrische Feld als Energiespeicher	22
	7 Elektrisches Potenzial und elektrische Spannung	24
	8 Potenzial und Feldstärke im homogenen elektrischen Feld	28
	9 Anwendungen in Natur und Technik	32

Statisches magnetisches Feld 35

	10 Magnetismus von Dauermagneten	36
	11 Magnetfelder stromdurchflossener Leiter	40
	12 Magnetische Flussdichte	44
	13 Lorentzkraft	50
	14 Vergleich zwischen elektrostatischem und magnetostatischem Feld	52
	15 Anwendungen in Natur und Technik	55

Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern 57

	16 Bewegung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Längsfeld	58
	17 Bewegung geladener Teilchen im homogenen elektrischen Quersfeld	64
	18 Bewegung geladener Teilchen in homogenen magnetischen Feldern	69
	19 Einblick in die spezielle Relativitätstheorie	73
	20 Anwendungen in Natur und Technik	77

Elektromagnetische Induktion 81

	21 Induktion in geraden Leitern	82
	22 Magnetischer Fluss und Induktionsgesetz	84
	23 Die Lenz'sche Regel	91
	24 Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen	93
	25 Selbstinduktion	95
	26 Anwendungen in Natur und Technik	103

	Elektromagnetische Schwingungen	105
	27 Ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen	106
	28 Vergleich von mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen	114
	29 Erzeugung und Nachweis ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen	116
*	30 Gedämpfte elektromagnetische Schwingungen	119
*	31 Wechselstromkreis	121
	32 Anwendungen in der Technik	126
	Elektromagnetische Wellen	129
	33 Elektrische Dipolschwingungen	130
*	34 Dipolstrahlung	135
	35 Nachweis und Begründung von Wellenphänomenen bei der Dipolstrahlung	138
	36 Anwendungen in der Technik	145
	Licht als Welle	149
	37 Kohärenz und Interferenz	150
	38 Interferenz am Doppelspalt	153
*	39 Beugungsgitter	157
	40 Elektromagnetisches Spektrum	165
	41 Anwendungen in Natur und Technik	167
	Lösungen	169
	Stichwortverzeichnis	253

Autor: Horst Lautenschlager



Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens empfehlen wir Ihnen, dass Sie sich beim Ansehen der Lernvideos im WLAN befinden.

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

der Elektromagnetismus bildet im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe einen thematischen Schwerpunkt. Mit dem vorliegenden Trainingsband halten Sie ein Buch in Händen, das Sie bei der Vorbereitung auf Unterricht, Klausuren und die Abiturprüfung im Fach Physik unterstützt.

Das Buch ist sowohl für das **grundlegende** als auch für das **erhöhte Anforderungsniveau** (also **GK** und **LK**) geeignet. Lernabschnitte, die in der Regel nur für das erhöhte Anforderungsniveau relevant sind, wurden mit einem * markiert.

Aufgrund des modularen Aufbaus müssen Sie das Buch nicht von vorne nach hinten lesen. Beginnen Sie Ihr Training in dem Stoffgebiet, in dem Sie Probleme haben. Folgende Elemente erleichtern dabei das Lernen und Verstehen:

- **Definitionen** und **Regeln** werden klar und präzise formuliert und in blauen Kästen hervorgehoben, damit Sie die zentralen Inhalte eines Abschnitts schnell erfassen können.
- **Beispiele** verdeutlichen die Themen und helfen Ihnen, die Theorie praktisch nachzuvollziehen. 
- **Musteraufgaben** zeigen Ihnen Schritt für Schritt, wie Sie die Rechen- und Denkwege nachvollziehen und anwenden können. 
- **Lernvideos** ergänzen die Musteraufgaben und Erklärungen: Durch Scannen des QR-Codes gelangen Sie einfach und direkt zu einem Video, das Ihnen das Thema anschaulich erläutert. 
- **Übungsaufgaben** ermöglichen Ihnen, den gelernten Stoff anzuwenden und Ihre Fähigkeiten zu überprüfen. 
- **Lösungen** zu allen Übungsaufgaben finden Sie am Ende des Buches. Sie sind ausführlich erklärt, damit Sie jeden Schritt und den Lösungsansatz genau nachvollziehen können.

Viel Erfolg wünscht Ihnen



Horst Lautenschlager

1 Elektrische Ladung

Alle Phänomene der Elektrizitätslehre lassen sich auf ruhende oder bewegte elektrische Ladungen zurückführen. Ihr Training beginnt daher mit einer Zusammenfassung dessen, was Sie aus dem Mittelstufenunterricht noch über elektrische Ladungen wissen sollten.

Zahlreiche Experimente in der Vergangenheit haben immer wieder gezeigt, dass

- a) es nur zwei Arten von elektrischen Ladungen gibt: negative und positive;
- b) sich gleichnamige elektrische Ladungen abstoßen und ungleichnamige anziehen;
- c) jede in der Natur vorkommende elektrische Ladungsmenge stets nur als ganzzahliges Vielfaches einer kleinsten, Elementarladung genannten Ladung e auftritt;
- d) das kleinste langlebige Teilchen, das eine negative Elementarladung trägt, das Elektron ist;
- e) das kleinste langlebige Teilchen, das eine positive Elementarladung trägt, das Proton ist;
- f) ein Körper elektrisch neutral ist, wenn die positiven Ladungen seiner in den Atomkernen sitzenden Protonen die negative Ladungen der Elektronenhüllen ausgleichen;
- g) ein Körper positiv bzw. negativ geladen wird, indem man Elektronen entfernt bzw. zusätzlich aufbringt;
- h) geladene, metallische Leiter entladen werden, wenn man sie leitend mit der Erde verbindet;
- i) bei metallischen Leitern ruhende, elektrische Ladungen nur auf der äußeren Oberfläche sitzen, und zwar umso dichter, je stärker deren Krümmung ist.

Nach der Aussage c dieser Zusammenfassung läge es nahe, als Maßeinheit für die elektrische Ladung die **Elementarladung** e zu verwenden. Weil diese aber für alltägliche Zwecke zu klein ist, gibt es eine zweite gebräuchliche Einheit:

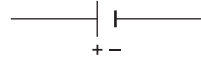
Elektrische Ladung

- Die Ladungsmenge, die aus $6,242 \cdot 10^{18}$ Elementarladungen besteht, heißt **1 Coulomb** (Einheitenzeichen C).
- Als Formelzeichen für Ladungsmengen verwendet man Q .
- Ein Proton trägt die (positive) Ladung

$$e = \frac{1\text{ C}}{6,242 \cdot 10^{18}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Ein Elektron trägt die (negative) Ladung $-e$.

Vorrichtungen, in denen die beiden Ladungsarten getrennt werden, nennt man Ladungsquellen. Die Stelle einer Ladungsquelle, die einen Überschuss an negativer Ladung aufweist, heißt **Minuspole** und wird in Schaltbildern durch einen dicken kurzen Strich symbolisiert; die Stelle mit einem Überschuss an positiver Ladung heißt **Pluspol** und wird in Schaltbildern durch einen langen dünnen Strich symbolisiert.



Beispiel

Wenn bei einer Autobatterie in jeder Sekunde 0,5 C von einem zum anderen Pol fließen, dauert es 144 h, bis sie leer ist. Für den Elektronenüberschuss, der sich anfangs auf dem Minuspol befand, gilt dann:

Da 0,5 C einer Elektronenzahl von $0,5 \cdot 6,242 \cdot 10^{18} = 3,121 \cdot 10^{18}$ entspricht und $144 \text{ h} = 144 \cdot 3\,600 \text{ s} = 518\,400 \text{ s}$ sind, befanden sich anfangs $3,121 \cdot 10^{18} \cdot 518\,400 = \mathbf{1,6 \cdot 10^{24}}$ Elektronen auf dem Minuspol.

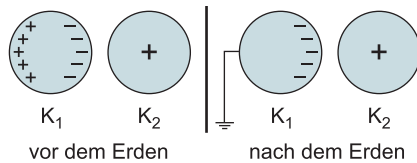


Musteraufgabe

Einer neutralen, isoliert aufgestellten Metallkugel K_1 wird eine zweite, positiv geladene Metallkugel K_2 genähert, ohne dass sich die Kugeln berühren. Dann, wenn der Abstand der beiden Kugeln am geringsten ist, wird die von K_2 abgewandte Seite von K_1 kurzfristig geerdet und anschließend K_2 wieder entfernt. Erklären Sie, warum dann K_1 eine negative Ladung trägt.

Lösung Die frei beweglichen Elektronen auf der Oberfläche von K_1 werden von der positiven Ladung der Kugel K_2 zu der Seite von K_1 gezogen, die K_2 zugewandt ist (Influenz). Dadurch lädt sich die von K_2 abgewandte Seite von K_1 positiv auf.

Während sie kurzfristig mit der Erde verbunden ist, ziehen die unbeweglichen positiven Ladungen Elektronen von der Erde auf K_1 , sodass insgesamt ein Überschuss an negativer Ladung auf K_1 entsteht.





Übungsaufgaben

- 1 Ein Gramm des radioaktiven Isotops Radium 226 emittiert in einer Sekunde $3,7 \cdot 10^{10}$ Alphateilchen. Jedes Alphateilchen trägt zwei positive Elementarladungen. 3,6 g dieses Isotops sind in eine isoliert aufgehängte Aluminiumfolie eingewickelt.
Berechnen Sie, wie lange es dauert, bis sich die Folie auf $1,0 \mu\text{C}$ aufgeladen hat.
- 2 Auf zwei gleich großen Metallkugeln K_1 und K_2 befinden sich die negative Ladung $Q_1 = -6,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ bzw. die positive Ladung $Q_2 = +3,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}$. Die Kugeln sind gegeneinander und gegen die Umgebung isoliert und werden kurzzeitig mit einem Metalldraht verbunden.
 - a) Bestimmen Sie Betrag und Vorzeichen der Ladung, die jede Kugel danach trägt.
Hinweis: Auf gleich große Kugeln verteilt sich die Gesamtladung gleichmäßig.
 - b) Berechnen Sie die Zahl der Elektronen, die beim Ladungsausgleich durch den Verbindungsdraht geflossen sind.
- 3 Im Mittelstufenunterricht haben Sie das Elektroskop als einfaches Gerät zur Bestimmung des Ladungsbetrags kennengelernt.
 - a) Beschreiben Sie den Aufbau und die Funktionsweise dieses Geräts und fertigen Sie hierfür eine beschriftete Skizze an.
Tipp:
Versuchen Sie doch mal, Ihre selbst geschriebene Lösung mithilfe eines KI-Tools (Chatbots) zu verifizieren. Geben Sie dazu Ihre Beschreibung ein und lassen sich das dazu passende Gerät ausgeben. Gibt die Maschine den richtigen Begriff aus? Wenn nicht, wie können Sie Ihre Beschreibung präzisieren? (Natürlich darf Ihre Lösung den Namen des jeweiligen Geräts nicht enthalten. Ersetzen Sie den Namen ggf. mit „das Gerät“.)
 - b) Nennen Sie wesentliche Nachteile dieses Geräts.
- 4 Eine Metallkugel ist dem Zeigersystem eines Elektroskops aufgesetzt. Ein negativ geladener Kunststoffstab wird der Kugel genähert, ohne dass er sie berührt. Begründen Sie, dass man eine Zunahme des Ausschlags des Zeigersystems beobachtet, wenn das Elektroskop ursprünglich negativ geladen war.
- 5 Beschreiben Sie, wie man mit einer Glimmlampe die Ladungsart einer größeren Ladungsmenge bestimmen kann.
- 6 Warum laden sich manche stofflich verschiedene, ursprünglich elektrisch neutrale Körper bei Reibung unterschiedlich auf?

- 1 Da 3,6 g Radium in einer Sekunde $3,6 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot 2$ Elementarladungen auf die Aluminiumfolie abstrahlen und der Ladungsbetrag einer Elementarladung $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ beträgt, nimmt die Folie Ladung mit der Rate

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{3,6 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ s}} = 4,3 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{s}}$$

auf. Die Zeit t zum Aufladen der Folie auf $Q = 1,0 \mu\text{C}$ beträgt folglich

$$t = \frac{Q}{\frac{\Delta Q}{\Delta t}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{4,3 \cdot 10^{-8} \frac{\text{C}}{\text{s}}} = \mathbf{23 \text{ s.}}$$

- 2 a) Weil sich die Gesamtladung $Q_1 + Q_2$ durch die Verbindung auf beide Kugeln gleichmäßig verteilt, befindet sich auf jeder Kugel die Ladung

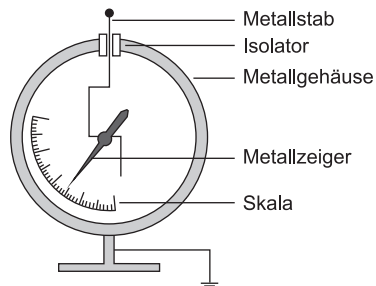
$$\frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{-6,0 \cdot 10^{-9} \text{ C} + 3,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{2} = \mathbf{-1,5 \cdot 10^{-9} \text{ C.}}$$

- b) Die negative Ladungsmenge auf K_1 hat sich von $-6,0 \text{ nC}$ auf $-1,5 \text{ nC}$ verringert. Daher ist durch den Verbindungsdraht die Ladungsmenge $Q = -6,0 \text{ nC} - (-1,5 \text{ nC}) = -4,5 \text{ nC}$ geflossen. Weil ein Elektron die Ladung $-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ trägt, sind

$$\frac{-4,5 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \mathbf{2,8 \cdot 10^{10}}$$

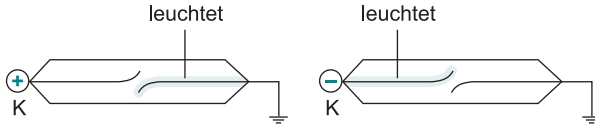
Elektronen durch den Verbindungsdraht geflossen.

- 3 a) An einem Metallstab ist ein Metallzeiger oberhalb seines Schwerpunkts drehbar befestigt. Fließen Ladungen auf Stab und Zeiger, so schlägt der Zeiger aus, weil sich gleichartig geladene Körper abstoßen. Die Größe des Ausschlags ist ein Maß für die aufgeladene Ladungsmenge.



- b) Elektroskope sind für die Messung kleinerer Ladungsbeträge zu ungenau und zeigen die Ladungsart nicht an. Außerdem fließt bei Verbindung des Zeigersystems mit dem Körper, dessen Ladung gemessen werden soll, nicht dessen gesamte Ladung auf das Elektroskop über.
- 4 Die negative Ladung des Stabes drückt, wenn dieser sich nahe genug bei der Kugel befindet, frei bewegliche Elektronen des Leitersystems Zeiger–Kugel von der Kugel weg in Richtung Zeiger. Dadurch wächst die negative Ladung auf Stab und Zeiger des Elektroskops, der Ausschlag nimmt zu.

- 5 Berührt man einen hinreichend stark geladenen Körper K mit einer einseitig geerdeten Glimmlampe, ergibt sich die Ladungsart aus dem Umstand, *welche* der beiden Elektroden aufleuchtet (siehe Skizze).



- 6 Die eigentliche Ursache für die Erzeugung von Ladung durch Reibung ist nicht der Reibungsvorgang selbst, sondern die durch die stoffliche Verschiedenheit bedingten unterschiedlichen Anziehungskräfte des einen Körpers auf die Elektronen des anderen. Zieht z. B. Körper K_1 die Elektronen von Körper K_2 stärker an als umgekehrt, so wandern bei innigem Kontakt insgesamt mehr Elektronen von K_2 zu K_1 . K_1 ist nach der Trennung negativ, K_2 positiv geladen. Die Reibung bewirkt nur, dass nacheinander mehr und mehr Stellen der beiden Körper in innige Berührung gebracht und wieder getrennt werden.

$$7 \quad E_e = \frac{\text{Kraft auf das Alphateilchen}}{\text{Ladung des Alphateilchens}} = \frac{F}{2e}$$

$$= \frac{4,6 \cdot 10^{-8} \text{ N}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \mathbf{1,4 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}}$$

Feldstärke des vom Elektron am Ort des Alphateilchens erzeugten Felds

$$E_\alpha = \frac{\text{Kraft auf das Elektron}}{\text{Ladung des Elektrons}} = \frac{F}{e}$$

$$= \frac{4,6 \cdot 10^{-8} \text{ N}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \mathbf{2,9 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}}$$

Feldstärke des vom Alphateilchen am Ort des Elektrons erzeugten Felds

$$8 \quad F_{el} = F_G$$

$$q \cdot E = m \cdot g$$

Schwebelagebedingung

Formeln für elektrische Kraft und Gewichtskraft

$$\Rightarrow q = \frac{m \cdot g}{E}$$

auf beiden Seiten durch E dividieren

$$= \frac{50 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{5,0 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}} = \mathbf{9,81 \cdot 10^{-13} \text{ C}}$$

Zahlenwerte einsetzen



© **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