MINT Lernstudio Kamm

PHYSIK | ESSENTIALS | KURSSTUFE · ELEKTRISCHES FELD

Das elektrische Feld

Coulomb-Gesetz, Feldstärke, Feldlinien, Potential und Spannung

Video auf YouTube

Spickzettel · S. 1 | **Aufgaben · S. 3** | **Lösungen · S. 5**

Zum Austeilen ohne Lösungen: vor Seite 5 aufhören.

Bildungsplan Baden-Württemberg: 3.6.2.1 Elektrisches Feld (Leistungsfach) · 3.4.2 Elektromagnetische Felder (Basisfach)

Spickzettel: Elektrisches Feld

Was du für die Klausur sicher können musst

1 Ladung und Coulomb-Gesetz

Video 0:42

- Elementarladung $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C (Elektron -e, Proton +e). Gleiche Vorzeichen stoßen sich ab, ungleiche ziehen sich an.
- $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ As/(Vm), Coulomb-Konstante $k = 1/(4\pi\varepsilon_0) \approx 9 \cdot 10^9$ Nm²/C².

MERKE

$F = 1/(4\pi\varepsilon_0) \cdot Q_1 \cdot Q_2 / r^2$ Doppelter Abstand → nur noch ein Viertel der Kraft.

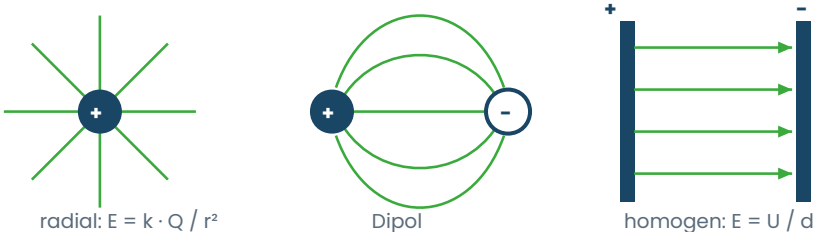
2 Feldstärke und Feldlinien

Video 1:49

MERKE

$E = F / q$ Einheit N/C = V/m. E ist ein **Vektor**: Er zeigt in die Richtung, in die eine **positive** Probeladung gedrückt wird.

1. Feldlinien beginnen auf + (Quellen) und enden auf - (Senken).
2. Sie kreuzen sich nie. Je dichter, desto stärker das Feld.
3. Sie stehen immer senkrecht auf Leiteroberflächen.



radial: $E = k \cdot Q / r^2$ | Dipol | homogen: $E = U / d$

Die drei Feldtypen fürs Abi (Video 2:51)

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

3 Superposition und Materie im Feld

Video 3:56

- Mehrere Felder addieren sich **vektoriell**: $E_{ges} = E_1 + E_2 + \dots$
- **Leiter:** Freie Elektronen verschieben sich (Influenz), bis das Feld im Inneren null ist. Faraday-Käfig.
- **Isolator:** Gebundene Ladungen richten sich aus (Polarisation). Das Feld im Inneren wird abgeschwächt, aber nicht null.

4 Potential, Spannung, Energie

Video 5:20

Das Potential φ ist die „elektrische Höhe“: Energie pro Ladung. Positive Ladungen rollen freiwillig „bergab“ zum niedrigen Potential, negative „bergauf“.

MERKE

$\varphi = E_{pot} / q$ · Punktladung: $\varphi(r) = k \cdot Q / r$ (Skalar, Potentiale einfach addieren)

$U_{AB} = \varphi_B - \varphi_A$ · $W_{AB} = q \cdot U_{AB}$ · Äquipotentiallinien stehen senkrecht auf den Feldlinien.

5 Elektrisches Feld und Gravitationsfeld

Video 7:08

Hinweis: Dieser Vergleich wurde im Bildungsplan 2016 V2 (März 2022) gestrichen. Er hilft beim Verstehen, ist aber nicht mehr prüfungsrelevant.

Eigenschaft	Elektrisches Feld	Gravitationsfeld
Quelle	Ladungen	Massen
Wirkung	Anziehung und Abstoßung	nur Anziehung
Abschirmung	ja (Faraday-Käfig)	nein
Gemeinsam	Kraft ~ $1/r^2$, konservative Felder: Die Arbeit hängt nur von Start und Ziel ab	

6 So fragt das Abitur

Zusatz zum Video

- **Äquipotenziallinien-Bild:** Die Linien haben immer dieselbe Potenzialdifferenz ΔU. Potenzial = Potenzial der Elektrode ± Anzahl der Linien · ΔU, also Linien zählen. Verschiebungsenergie: $\Delta E = q \cdot \Delta U$, nur Start und Ziel zählen, nicht der Weg.
- **Messreihe F(r):** „Untersuche den Zusammenhang“ heißt: Quotient prüfen. Ist $F \cdot r^2$ für alle Wertepaare gleich, gilt $F \sim 1/r^2$. Dann $Q = F \cdot r^2 \cdot 4\pi\varepsilon_0 / q$, bei „unter Verwendung aller Messwerte“ den Mittelwert der Einzelwerte bilden.
- **Schreibweise:** Das BW-Abitur schreibt „Potenzial“ (auch „Potential“ ist üblich).

TYPISCHE FEHLER IM ABI

- ✗ Bei negativen Ladungen das Vorzeichen vergessen: Die Kraft auf ein Elektron zeigt **entgegen** E.
- ✗ Feldstärken einfach als Zahlen addiert statt als Vektoren (Richtung!).
- ✗ Potential (Skalar) und Feldstärke (Vektor) verwechselt.
- ✗ cm nicht in m umgerechnet, bevor man in $E = U / d$ einsetzt.
- ✗ Bei einer Messreihe nur ein Wertepaar benutzt, obwohl „alle Messwerte“ verlangt sind.
- ✗ Äquipotenziallinien nicht gezählt, sondern „Pi mal Daumen“ abgelesen.

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

Übungsaufgaben: Elektrisches Feld

Sieben Aufgaben, drei Anforderungsbereiche

AFB I wiedergeben · AFB II anwenden · AFB III übertragen und beurteilen. Erst selbst lösen, dann nachsehen.

Aufgabe 1 AFB I

Zwei Ladungen von je 1 C befinden sich im Abstand 1 m. Berechne die Kraft zwischen ihnen und beurteile das Ergebnis.

Aufgabe 2 AFB I

Zwischen zwei parallelen Platten im Abstand d = 10 cm liegt U = 500 V. Berechne die Feldstärke E.

Aufgabe 3 AFB II

Zwei gleiche positive Ladungen Q haben den Abstand 2a. Begründe, an welchem Punkt der Verbindungslinie die Feldstärke null ist.

Aufgabe 4 AFB II

In einem homogenen Feld mit E = 2000 V/m wird ein Elektron 5 cm parallel zu den Feldlinien, aber **entgegen** der Feldrichtung bewegt. a) Bestimme die Spannung zwischen Start- und Zielpunkt. b) Wie ändert sich die potentielle Energie des Elektrons? c) Muss man dafür Arbeit aufwenden?

Aufgabe 5 AFB II

Eine kleine Kugel (q = 2,0 nC) wird in verschiedenen Abständen r vom Mittelpunkt einer geladenen Kugel (Ladung Q) gebracht. Gemessen wird die elektrische Kraft F:
r in cm: 10 · 20 · 30 · 50 | F in mN: 9,0 · 2,25 · 1,00 · 0,36
a) Untersuche, ob $F \sim 1/r^2$ gilt. b) Berechne Q unter Verwendung aller Messwerte.

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

Aufgabe 6 AFB III

Ein Dipol besteht aus $Q_1 = +Q$ bei $x = -a$ und $Q_2 = -Q$ bei $x = +a$ ($a = 1\,\text{cm}$, $Q = 1\,\text{nC}$). Eine Probeladung $q = 5\,\text{nC}$ wird vom Ursprung zum Punkt P (2a | 0) gebracht. Berechne die nötige Arbeit. Tipp: Berechne die Potentiale an beiden Punkten und nutze $W = q \cdot \Delta\varphi$.

Aufgabe 7 AFB III

Zwischen einer Elektrode mit 0 V und einer mit 9,0 kV sind acht Äquipotenziallinien mit jeweils gleicher Potenzialdifferenz eingezeichnet. a) Bestimme das Potenzial der 3. Linie (von der 0-V-Elektrode aus gezählt). b) Ein Proton wird von der 3. zur 7. Linie verschoben. Berechne die Energie und gib an, ob man Arbeit aufwenden muss. c) Begründe, warum es auf den gewählten Weg nicht ankommt.

SELBSTCHECK: ICH KANN …

- ☐ aus Äquipotenziallinien Potenziale und Energien bestimmen.
- ☐ eine Messreihe auf $F \sim 1/r^2$ prüfen und Q aus allen Messwerten berechnen.
- ☐ Kräfte mit dem Coulomb-Gesetz und Feldstärken mit $E = F / q$ und $E = U / d$ berechnen.
- ☐ Feldlinienbilder für Radialfeld, Dipol und Plattenkondensator zeichnen.
- ☐ Potentiale addieren und daraus Spannung und Arbeit bestimmen.
- ☐ elektrisches Feld und Gravitationsfeld vergleichen.

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell

Lösungen

Vollständige Rechenwege

Aufgabe 1: $F = k \cdot Q_1 \cdot Q_2 / r^2 = 9 \cdot 10^9\ Nm^2/C^2 \cdot 1\ C \cdot 1\ C / (1\ m)^2 =$ **$9 \cdot 10^9$ N**. Das entspricht dem Gewicht von rund einer Million Tonnen: 1 C ist eine riesige Ladungsmenge.

Aufgabe 2: $E = U / d = 500\ V / 0{,}1\ m =$ **5000 V/m** (= 5000 N/C).

Aufgabe 3: Genau in der **Mitte**. Dort sind beide Abstände gleich, also sind beide Feldstärken gleich groß. Sie zeigen aber in entgegengesetzte Richtungen (jeweils von ihrer Ladung weg) und heben sich auf.

Aufgabe 4: a) Gegen die Feldrichtung steigt das Potential: $U = E \cdot s = 2000\ V/m \cdot 0{,}05\ m =$ **+100 V**. b) $\Delta E_{pot} = q \cdot U = (-1{,}602 \cdot 10^{-19}\ C) \cdot 100\ V =$ **$-1{,}6 \cdot 10^{-17}$ J**: Die potentielle Energie **sinkt**. c) Nein. Die Kraft auf das Elektron zeigt entgegen E, also in Bewegungsrichtung: Das **Feld** verrichtet die Arbeit, das Elektron wird dabei schneller.

Aufgabe 5: a) $F \cdot r^2$: 9,0 mN · (0,10 m)² = 0,090 mN·m²; 2,25 · 0,04 = 0,090; 1,00 · 0,09 = 0,090; 0,36 · 0,25 = 0,090. Der Quotient ist konstant, also gilt $F \sim 1/r^2$. b) $k' = F \cdot r^2 = 9{,}0 \cdot 10^{-5}$ N·m² (für alle vier Wertepaare gleich). $Q = k' \cdot 4\pi\varepsilon_0 / q = 9{,}0 \cdot 10^{-5}\ N{\cdot}m^2 / (9{,}0 \cdot 10^9\ N{\cdot}m^2/C^2 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-9}\ C) =$ **5,0 µC**.

Aufgabe 6: φ(Ursprung) $= k \cdot Q/a + k \cdot (-Q)/a =$ **0 V**. Im Punkt P ist der Abstand zu +Q gleich 3a, zu -Q gleich a: $\varphi(P) = k \cdot Q \cdot (1/(3a) - 1/a) = -k \cdot Q \cdot 2/(3a) = -9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-9} \cdot 2/0{,}03\ V =$ **−600 V**. $W = q \cdot \Delta\varphi = 5 \cdot 10^{-9}\ C \cdot (-600\ V) =$ **−3 µJ**. Das negative Vorzeichen heißt: Man muss keine Arbeit aufwenden, die positive Probeladung bewegt sich freiwillig zum niedrigeren Potential, das Feld verrichtet die Arbeit.

Aufgabe 7: Acht Linien erzeugen neun Zwischenräume, $\Delta U = 9{,}0\ kV / 9 = 1{,}0\ kV$. a) 3. Linie: **3,0 kV**. b) 7. Linie: 7,0 kV. $\Delta U = 4{,}0\ kV$, $\Delta E = e \cdot \Delta U = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ C \cdot 4000\ V \approx$ **$6{,}4 \cdot 10^{-16}$ J (4,0 keV)**. Das Proton wird zu höherem Potenzial bewegt, also gegen die Feldkraft: Man muss Arbeit aufwenden. c) Das elektrische Feld ist konservativ. Die Energie hängt nur von der Potenzialdifferenz zwischen Start und Ziel ab.

Weiter geht es mit Teilchen im Feld: Was passiert, wenn man Elektronen in diese Felder schießt? Ein Beispiel ist die Braun'sche Röhre.

Mehr dazu, alle Videos und alle Blätter: mint-lernstudio.de/beitraege/elektrisches-feld

© Felix Kamm · mint-lernstudio.de · Lizenz CC BY-NC-SA 4.0: frei für Unterricht und Lernen, nicht kommerziell