

Abitur

**MEHR
ERFAHREN**

Physik

Gymnasium

Baden-Württemberg

Das musst du können!

STARK

Abit **MEHR
ERFAHREN**

Physik

Gymnasium

Baden-Württemberg

Das musst du können!



STARK

Inhalt

Vorwort

Hinweise zum Prüfungsstoff

1	Statisches elektrisches Feld	1
1.1	Elektrische Feldstärke und elektrisches Potenzial	1
1.2	Homogenes elektrisches Feld – Plattenkondensator	6
2	Statisches magnetisches Feld	12
3	Bewegung geladener Teilchen in Feldern	15
3.1	Geladene Teilchen im homogenen elektrischen Feld	15
3.2	Geladene Teilchen im homogenen magnetischen Feld	18
3.3	Geladene Teilchen im E- und B-Feld	20
3.4	Relativistische Massenzunahme	21
3.5	Anwendungen	22
4	Elektromagnetische Induktion	28
4.1	Induktionsgesetz	28
4.2	Lenz'sche Regel – Selbstinduktion	30
5	Schwingungen und Wellen	34
5.1	Mechanische Schwingungen	34
5.2	Elektromagnetische Schwingungen – Schwingkreis	36
5.3	Analogien zwischen elektromagnetischer und mechanischer Schwingung.....	39
5.4	Wellenphänomene	42
5.5	Elektromagnetische Wellen	48
6	Eigenschaften von Quantenobjekten	58
6.1	Teilchencharakter von Photonen	58
6.2	Wellencharakter von Quantenobjekten	63
6.3	Verhalten von Quantenobjekten	64

7	Atomphysik	68
7.1	Linienpektren	68
7.2	Vorläufer der quantenmechanischen Atommodelle	70
7.3	Quantenmechanische Atommodelle	70
7.4	Mehrelektronensysteme	74
7.5	Experimentelle Befunde – Anwendungen	75
	Stichwortverzeichnis	79

Autor: Florian Borges

Ausführliche Erläuterungen sowie viele Übungsaufgaben finden Sie in unseren Abitur-Trainingsbänden, eine zusammenhängende Darstellung des Prüfungsstoffs in unseren Abitur-Wissensbänden:

- Abitur-Training Physik 1 und 2 inkl. Lernvideos (Bestell-Nr. 943028V bzw. 943038V)
- Abitur-Wissen Elektrodynamik (Bestell-Nr. 94331)
- Abitur-Wissen Aufbau der Materie (Bestell-Nr. 94332)

Die offiziellen Prüfungsaufgaben der letzten Jahre mit vollständigen Lösungen sowie viele nützliche und aktuelle Hinweise zu Ablauf und Anforderungen des Abiturs enthält der Abiturprüfungsband Physik Baden-Württemberg (Bestell-Nr. 85301).

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

dieses handliche Buch bietet Ihnen einen **Leitfaden**, der Sie systematisch durch den Prüfungsstoff führt, der im Physikabitur in Baden-Württemberg behandelt wird. Dabei sind mit den drei Themenbereichen *Elektrisches und magnetisches Feld*, *Schwingungen und Wellen* sowie *Grundlagen der Quanten- und Atomphysik* die für die schriftliche Prüfung (Leistungsfach) verbindlichen Sachgebiete vollständig abgedeckt. Diese liegen auch der mündlichen Prüfung (Basisfach) zugrunde; nicht behandelt wird im Buch lediglich das bei dreistündigen Kursen optionale Sachgebiet Astrophysik. Das Buch eignet sich besonders zur Auffrischung und Wiederholung des Prüfungsstoffs kurz vor dem Abitur.

- Zu Kapitelbeginn sind wichtige **Anwendungsgebiete** zu dem behandelten Stoff (Experimente, Naturphänomene, Technik) zusammengestellt, die Gegenstand von Prüfungsaufgaben sein können.
- **Definitionen** und **Regeln** sind durch einen grauen Balken am Rand gekennzeichnet, wichtige **Begriffe** durch Fettdruck hervorgehoben.
- Den jeweiligen Lerninhalt veranschaulichen viele **Abbildungen**.
- Passgenaue **Beispiele** 💡 verdeutlichen, wie sich die Theorie zur Lösung wichtiger Standardaufgaben anwenden lässt.
- Unter der Überschrift **Weitere typische Aufgabenstellungen** finden Sie zusätzliche Tipps und Lösungsskizzen zu Fragestellungen, die typischerweise in der Abiturprüfung auftauchen.
- Das **Stichwortverzeichnis** führt schnell und treffsicher zum gesuchten Lernstoff.

Viel Erfolg bei der Abiturprüfung!



Florian Borges

2 Statisches magnetisches Feld

Anwendungsgebiete:

- ❶ Technik: Elektromagnet; Gleichstromelektromotor; Drehspulinstrument; Ablenkspulen
- ❷ Natur: Erdmagnetfeld; Van-Allen-Gürtel

Magnetische Felder werden durch **Feldlinien** beschrieben, die in jedem ihrer Punkte tangential zum dortigen magnetischen Kraftvektor verlaufen. Magnetische Feldlinien

- sind stets geschlossen, haben also keinen Anfangs- oder Endpunkt;
- kreuzen und berühren sich nicht;
- verlaufen (außerhalb eines Magneten) vom Nord- zum Südpol;
- sind lokal umso dichter, je stärker dort das Magnetfeld ist.

Magnetfelder entstehen in der Gegenwart von **Dauermagneten** (bestehend aus Eisen, Kobalt, Nickel oder Legierungen daraus) oder in der Umgebung eines **stromdurchflossenen** Leiters. Die den magnetischen Feldlinien zugeordnete physikalische Größe ist die **magnetische Flussdichte** („Stärke“ des Magnetfelds). Sie ist durch die Kraft definiert, die ein stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld erfährt.

Magnetische Flussdichte

Die Flussdichte \vec{B} eines magnetischen Felds in einem Punkt P ist gegeben durch einen Vektor, der Betrag und Richtung der magnetischen Kraft \vec{F}_{mag} auf einen von einem elektrischen Strom der Stärke I durchflossenen Leiter der Länge ℓ angibt (Einheit: 1 Tesla):

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}_{\text{mag}}}{I \cdot \ell} \quad [B] = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = 1 \text{ T}$$

Überlagern sich mehrere magnetische Felder, ergibt sich die Gesamtflussdichte analog zum elektrischen Feld durch **vektorielle Addition** der Einzelflussdichten. Ebenso bezeichnet man ein Magnetfeld als **homogen**, wenn $\vec{B} = \text{konst.}$ Ein homogenes Feld liegt z. B. vor zwischen den Schenkeln eines **Hufeisenmagneten**, im Zentrum eines **Helmholtz-Spulenpaars** oder im Inneren einer langen **Zylinderspule**, durch deren Drahtwindungen ein konstanter Gleichstrom fließt.

Magnetische Flussdichte einer langen Zylinderspule

Das homogene Magnetfeld im Inneren einer stromdurchflossenen Zylinderspule besitzt die Flussdichte

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \frac{N}{\ell} \cdot \mathbf{I}.$$

N: Windungszahl

ℓ : Spulenlänge (mit $\ell \gg$ Durchmesser des Spulenquerschnitts)

I: Stärke des Spulenstroms

μ_0 : magnetische Feldkonstante ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$)

Die magnetische Flussdichte B im Inneren einer langen, stromdurchflossenen Zylinderspule hängt bei sonst gleichen Bedingungen davon ab, ob der Innenraum der Spule mit Materie gefüllt oder evakuiert ist. Die dimensionslose Verhältniszahl

$$\mu_r = \frac{B_{\text{mat}}}{B_{\text{vak}}}$$

heißt **relative Permeabilität**. Sie eignet sich zur Beschreibung der magnetischen Eigenschaften des Füllmaterials.

Das Magnetfeld der Spule ähnelt im Außenraum dem eines **Stabmagneten**. Um sich allgemein die Richtungen der Feldlinien und Kräfte in einem Magnetfeld zu verdeutlichen, verwendet man drei Handregeln:

Handregeln zur Richtungsbestimmung im Magnetfeld

- Rechte-Faust-Regel:** \vec{B} -Richtung beim stromdurchflossenen Leiter (Feldlinien: konzentrische Kreise in Ebenen senkrecht zum Leiter)
 Daumen: \vec{I} (technisch); restliche Finger: \vec{B}
- Rechte-Hand-Regel:** Polung einer stromdurchflossenen Spule
 Daumen: zeigt zum Nordpol; restliche Finger: \vec{I} (technisch)
- Drei-Finger-Regel der rechten Hand (UVW-Regel):**
 Richtung der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im homogenen Magnetfeld
 Daumen: \vec{I} (technisch) Zeigefinger: \vec{B} Mittelfinger: \vec{F}
 Ursache Vermittlung Wirkung



Das Fulleren C-60 ist ein hochsymmetrisches Kohlenstoffmolekül aus 60 Atomen (Durchmesser ca. 0,7 nm), das aufgrund seiner Struktur auch „Fußballmolekül“ genannt wird. Solche Fullerene werden auf etwa $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ beschleunigt und fliegen auf ein Gitter mit Gitterkonstante g . Mit einem Detektor 1,1 m hinter dem Gitter sind die Maxima erster Ordnung etwa $30 \mu\text{m}$ seitlich vom Hauptmaximum deutlich zu erkennen. Bestimmen Sie g .

Lösung:

Beugungsbedingung für Maximum 1. Ordnung (vgl. Kap. 5.5, S. 54):

$$\sin \alpha_1 = \frac{\lambda}{g} \quad (*)$$

Kleine-Winkel-Näherung (wegen $30 \mu\text{m} \ll 1,1 \text{ m}$):

$$\sin \alpha_1 \approx \tan \alpha_1 = \frac{30 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{1,1 \text{ m}} = 2,7 \cdot 10^{-5} \stackrel{(*)}{\Rightarrow} g = \frac{\lambda}{2,7 \cdot 10^{-5}} \quad (**)$$

De-Broglie-Wellenlänge:

$$m_{\text{C-60}} = 60 \cdot m_{\text{C}} = 60 \cdot 12 \text{ u} = 60 \cdot 12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,2 \cdot 10^{-24} \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{m_{\text{C-60}} \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{1,2 \cdot 10^{-24} \text{ kg} \cdot 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2,8 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 2,8 \text{ pm} \quad (***)$$

Gitterkonstante:

$$g = \frac{(**)}{2,7 \cdot 10^{-5}} = \frac{(***)}{2,7 \cdot 10^{-5}} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0,1 \mu\text{m}$$

6.3 Verhalten von Quantenobjekten

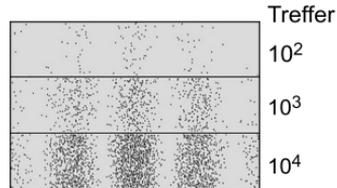
Die **Quantenmechanik** wurde in den 1920er-Jahren in zwei äquivalenten Formulierungen von Heisenberg (Matrizenmechanik, 1925) und Schrödinger (Wellenmechanik, 1926) entwickelt. In der Beschreibung von physikalischen Objekten unterscheidet sie sich grundsätzlich von der klassischen Mechanik. Ihre wesentlichen Aussagen sind (in wellenmechanischer Formulierung):

- Der Ausgang eines Experiments im Bereich von Quantenobjekten ist vom Zufall bestimmt.
- Die Quantenmechanik beschreibt nicht wie die klassische Physik das deterministische Verhalten eines einzelnen Teilchens, sondern das statistische Verhalten einer Gesamtheit von Objekten.

- Eine Gesamtheit quantenphysikalischer Objekte wird durch eine Wellenfunktion $\Psi(x, t)$ beschrieben. Die Wellenfunktion dient zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeiten, hat aber keine anschauliche Bedeutung.
- Das Quadrat des Betrags der Wellenfunktion $|\Psi(x, t)|^2$ stellt eine Wahrscheinlichkeitsdichte dar. Der Ausdruck $|\Psi(x, t)|^2 \cdot \Delta x$ beschreibt die Wahrscheinlichkeit, zum Zeitpunkt t ein Quantenobjekt aus dem Ensemble in einem Bereich Δx um den Ort x herum zu finden (Aufenthaltswahrscheinlichkeit).

Das **statistische Verhalten** einer großen Anzahl von Quantenobjekten wie Elektronen oder Photonen zeigt sich z. B. bei einer genaueren Analyse des Doppelspaltexperiments (vgl. Kap. 5.5, S. 53):

Verringert man die Strahlungsintensität so weit, dass am Schirm im Mittel pro Zeiteinheit nur ein Treffer registriert wird, ist dort zunächst nur ein zufälliges, scheinbar regelloses Punktmuster zu erkennen; nach und nach



bilden sich aber Interferenzstreifen aus. Gemäß der statistischen Interpretation der Quantenmechanik stellt dieses Interferenzmuster die **Wahrscheinlichkeitsverteilung** über die möglichen Auftrefforte der Quantenobjekte dar.

Eine zentrale Gesetzmäßigkeit der Quantenmechanik sind die Heisenberg'schen Unschärferelationen zwischen zwei sogenannten komplementären Messgrößen wie z. B. Ort und Impuls.

Heisenberg'sche Unschärferelation für Ort und Impuls

Der Ort x und der Impuls p eines Quantenobjekts zu einem bestimmten Zeitpunkt lassen sich nicht beliebig genau, sondern nur mit den Ungenauigkeiten Δx bzw. Δp_x angeben. Diese sind über eine Ungleichung mit der Planck-Konstanten h verknüpft:

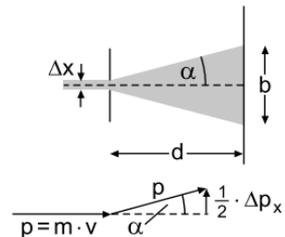
$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Folgerungen:

- **Gegensätzliches Verhalten von Ort und Impuls:** Je genauer die Ortskenntnis eines Quantenobjekts ist, desto ungenauer muss der Impuls angegeben werden, und umgekehrt.
- **Kein Bahnbegriff:** Wenn Ort und Impuls eines Quantenobjekts prinzipiell nicht gleichzeitig exakt angegeben werden können, ist der klassische Begriff der „Bahn eines Teilchens“ in der Quantenmechanik nicht mehr haltbar.
- **Kein Determinismus:** Ein klassisches Teilchen bewegt sich deterministisch, d. h.: Bei Kenntnis des Anfangszustands und der Bewegungsgleichung des Teilchens (2. Newton'sches Gesetz) kann der Zustand für alle folgenden Zeiten berechnet werden (vgl. Himmelsmechanik). Klassisch ist der Anfangszustand durch die Angabe von Ort $x(t_0)$ und Geschwindigkeit $v(t_0) = \frac{1}{m} \cdot p(t_0)$ zum Startzeitpunkt t_0 gegeben. Eine entsprechende quantenmechanische Angabe ist nach der Heisenberg'schen Unschärferelation nicht möglich.



1. Elektronen fallen in paralleler Richtung mit der Geschwindigkeit $v=0,41 c$ auf einen Spalt mit der Breite $\Delta x=0,40 \mu\text{m}$. Im Abstand $d=40 \text{ cm}$ hinter dem Spalt steht der Detektorschirm. Berechnen Sie die minimale Breite b des Strahls auf dem Schirm.



Lösung:

Relativistischer Impuls in Einfallrichtung (y-Richtung):

$$\begin{aligned}
 p &= m(v) \cdot v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot v \\
 &= \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{\sqrt{1 - 0,41^2}} \cdot 0,41 c = 1,2 \cdot 10^{-22} \text{ Ns}
 \end{aligned}$$

Minimale Impulsunschärfe quer zur Einfallrichtung (x-Richtung):

$$\Delta p_x = \frac{h}{4\pi \cdot \Delta x} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{4\pi \cdot 0,40 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 1,3 \cdot 10^{-28} \text{ Ns}$$

Minimale Strahlbreite aus Beziehungen für den Beugungswinkel α :

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{\Delta p_x}{p} = \frac{\Delta p_x}{2p} \\ \tan \alpha &= \frac{b}{d} = \frac{b}{2d} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sin \alpha \approx \tan \alpha \Rightarrow \frac{\Delta p_x}{2p} = \frac{b}{2d} \Rightarrow b = \frac{\Delta p_x}{p} \cdot d$$

$$\Rightarrow b = \frac{1,3 \cdot 10^{-28} \text{ Ns}}{1,2 \cdot 10^{-22} \text{ Ns}} \cdot 0,40 \text{ m} = 0,43 \mu\text{m}$$

2. Ein Fußballer schießt den 400 g schweren Ball durch die 1,0 m breite Lücke in der „Abwehrmauer“ mit $v = 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf das Tor und trifft. Der Torhüter behauptet, er habe den Impuls und damit die Flugrichtung nicht exakt genug abschätzen können und den Ball deswegen „unschärfebedingt“ nicht halten können. Berechnen Sie die Impulsunschärfe in diesem Fall und beurteilen Sie die Ausrede des Torhüters.

Lösung:

Heisenberg'sche Unschärferelation mit $\Delta x = 1,0 \text{ m}$; Impuls in Einfallrichtung:

$$p = m \cdot v = 0,400 \text{ kg} \cdot 35 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 14 \text{ Ns}$$

Minimale relative Impulsunschärfe quer zur Einfallrichtung:

$$\Delta p_x = \frac{h}{4\pi \cdot \Delta x} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{4\pi \cdot 1,0 \text{ m}} = 5 \cdot 10^{-35} \text{ Ns}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta p_x}{p} = \frac{5 \cdot 10^{-35}}{14} = 4 \cdot 10^{-36}$$

Die Impulsunschärfe und die damit verbundene Ablenkung ist praktisch null und damit die Ausrede des Torwarts schlecht.



© **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