

Planungsblatt Physik für die 6B

Woche 12 (von 19.11 bis 23.11)

Hausaufgaben ¹

Bis Donnerstag 22.11:

Lerne die Mitschrift von Montag und voriger Woche!

Bis Freitag 23.11:

Lerne die Mitschrift von Montag und Dienstag!

Bis Dienstag 27.11:

Lerne die Mitschrift von voriger Woche!

Kernbegriffe dieser Woche:

Ladungstransport, Spannung, Stromstärke, Widerstand, Lorentzkraft, das elektrische Feld, Kondensator,

Ungefähre Wochenplanung

Schulübungen.

- (a) **Dienstag** (5. Std): (i) HÜ-Bespr. (ii) Massenspektrometer mit E - und B -Feld, (iii) (alte) Definition von I , mittels Lorentzkraft $F = IBs$ und $F = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2 s}{r}$. (iv) Magnetfeld um stromdurchflossenen Leiter und in einer Spule $B \sim I \cdot (N/l)$
- (b) **Donnerstag** (3. Std): (i) HÜ-Bespr. (ii) Ferromagnetismus; Seite 111 gemeinsam lesen, dann die Fragen auf Seite 112 – wer will etwas über die Themen auf Seite 113 wissen/referieren?
- (c) **Freitag** (6. Std): (i) HÜ-Bespr. (ii) Neues Thema! (Seite 4 bis 6 für Interessenten) – Impuls und Impulserhaltung: $\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v}$; Seiten 8–11 durchnehmen. Stoß zwischen zwei Billiardkugeln mit Fußball (Penalty schießen; Kopfball) vergleichen!

Unterlagen auf www.mat.univie.ac.at/~westra/edu.html

¹Für manche Aufgaben wird auf Rückseite/Anhang/Buch/Arbeitsblatt verwiesen.

Einige Notizen

Atome bestehen aus einem **Atomkern** und einer **Elektronenhülle**. Im Atomkern befinden sich die **Protonen** und **Neutronen**.

Isotope: Die chemischen Eigenschaften eines Stoffes werden durch die Elektronen bestimmt. Die Anzahl der Elektronen und Protonen sind in neutralen Atomen gleich. Darum ordnet man die Atome zuerst nach der Protonenzahl – jedes chemische Element hat eine bestimmte Anzahl von Protonen: die **Ordnungszahl** (auch wohl Atomnummer). Damit hat man die Anzahl der Neutronen noch nicht bestimmt. Verschiedene Variationen eines Elements, wobei also nur die Anzahl der Neutronen unterschiedlich ist, nennt man **Isotope** eines Elements. Schreibweise: ${}^N_A X$, wobei X das chemische Element andeutet, N die Anzahl der Nukleonen (Protonen und Neutronen zusammen also) und A ist die Ordnungszahl.

Isotope Wasserstoffs: 1_1H das übliche, 2_1H Deuterium, und 3_1H Tritium.

Ein Mol ist eine Stoffmenge: ein Mol ist eine Menge von etwa $6 \cdot 10^{23}$ Atome/Moleküle/Dingsbums.

Case-Study: Geschwindigkeit der Elektronen in einem stromdurchflossenen Leiter.

Um eine Idee zu bekommen, nehmen wir einige Abschätzungen: Durch ein Kupferkabel mit einer Länge von $1m$ und eine Querfläche von $1mm^2$ läuft ein Strom $I = 1A$. Des Weiteren, die Dichte von Kupfer beträgt etwa $9000 kg/m^3$. Somit hat das Kabel eine Masse von $m = \rho V = 9000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,009kg$, also 9 Gramm. Die mittlere Atommasse von Kupfer beträgt etwa 63,6 (Nukleonen). Darum hat 1 Mol Kupfer eine Masse von 63,6 Gramm. Darum enthält das Kabel $9/63,6 \approx 0,14$ Mol, das sind somit $0,14 \cdot 6 \cdot 10^{23} \approx 8,4 \cdot 10^{22}$ Atome und somit auch genau so viele freie Elektronen. Somit enthält ein Meter Kabel $8,4 \cdot 10^{22}$ freie Elektronen. Jede Sekunde geht 1 Coulomb, also etwa $6 \cdot 10^{18}$ Elektronen, an einem Ende des Kabels vorbei. Das ist nur ein Bruchteil von den $8,4 \cdot 10^{22}$ Elektronen im Kabel, und zwar nur ein Anteil von eins auf

$$\frac{8,4 \cdot 10^{22}}{6 \cdot 10^{18}} = 1,4 \cdot 10^4 = 14000.$$

Somit gehen die Elektronen nur $1/14000$ von einem Meter pro Sekunde weiter, also mit etwa $7 \cdot 10^{-5}m = 70\mu m$ pro Sekunde. In einer Minute sind das $4200 \mu m$, also $4,2mm$. In einer Stunde kommt so ein Elektron somit etwa 25cm weiter.

Es gibt noch andere Strategien diese Geschwindigkeit abzuschätzen, sei kreativ, und finde einige; das ist eine gute Übung.

Stromstärke in einem Punkt: die Menge an Elektronen (Ladungsträger), die pro Sekunde an einem Punkt vorbeifließen. Symbol: I . Einheit: Coulomb pro Sekunde, Ampere. Achtung: Ein Coulomb ist die Ladung von etwa $6,24 \cdot 10^{18}$ Protonen.

Spannung zwischen zwei Punkten: ist die Energiemenge, die pro Ladung erforderlich ist, diese Ladung vom einen zum anderen Punkt zu bewegen. Symbol: V , Einheit: Volt, Joule pro Coulomb.

Widerstand: Das Verhältnis zwischen V und I . Symbol: R . Einheit: Ohm Ω .

Ohm'scher Widerstand: ist ein Gerät (elektrisches Element), bei dem R nicht von V und/oder I abhängt, somit gleich bleibt.

Leistung eines Geräts: Beträgt die Spannung zwischen Ein- und Ausgang V und die Stromstärke durch das Gerät I , so ist die Leistung $P = VI$ gleich. Die Leistung gibt an, wie viel Energie pro Sekunde umgewandelt wird.

Spezifischer Widerstand eines Stoffes ist der Widerstand, den ein Kabel mit einer Länge von einem Meter und einer Querschnittfläche von $1 mm^2$ hat. Es gilt die Formel $R = \rho \frac{l}{A}$ mit l Länge des Kabels und A Querschnittfläche, ρ ist der spezifische Widerstand. Einheit: $\Omega m^{-1} mm^2$.

Leitungsband: hat ein Elektron genügend Energie, das Atom zu verlassen, und sich frei durch den Stoff zu bewegen, so ist es ein freies Elektron geworden, und man sagt, das Elektron befindet sich im Leitungsband. Man könnte sagen, das Leitungsband besteht aus diejenigen Energieniveaus, die es dem Elektron ermöglichen, sich frei durch den Stoff zu bewegen. Dass dieses Band von unten beschränkt ist, ist klar; dass dieses Band von oben beschränkt ist, eigentlich auch, denn bei zu viel Energie, fliegt es aus dem Stoff raus.

Thermische Elektronen sind Elektronen, die dadurch in das Leitungsband befördert wurden, dass die Atome ihre thermische Energie (wegen der Temperatur $T > 0$ schaukeln die sich ja hin und her, also haben sie eine Art Bewegungsenergie – thermische Energie) auf das Elektron übertragen – man kann sich das so vorstellen als eine Kollision, bei dem das Elektron weggekickt wird.

Feldlinien und Richtung des Magnetfeldes: Magnetische Feldlinien sind gedachte Linien, die die Richtung eines Kompass andeuten würden. Die Richtung wird dadurch bestimmt, in welche die Nordseite eines Magneten zeigen würde. Somit laufen die Feldlinien außerhalb des Magneten von Nord zu Süd; im Magneten von Süd zu Nord. Sie sind geschlossene Linien – also Schleifen.

Lorentzkraft: ist eine Kraft, die auf sich in einem Magnetfeld bewegende Ladungen wirkt. Diese Kraft steht normal auf Geschwindigkeit und Magnetfeld. Die Größe wird durch $F = qvB \sin(\theta)$ bestimmt, wobei q die Ladung, v die Geschwindigkeit, B ein Maß für die Stärke des Magnetfeldes und θ der Winkel zwischen Geschwindigkeit und Magnetfeld ist. Genaue Richtung der Lorentzkraft ist durch zB Korkenzieherregel aka Schraubenzieherregel bestimmt.

Coulombkraft: die elektrische Kraft zwischen zwei Ladungen q_1 und q_2 auf Distanz r . Es gilt $F = f \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ wobei $f \sim 8,99 \cdot 10^9 Nm^2 C^{-2}$ die Coulomb'sche Konstante ist – ein Proportionalitätsfaktor.

Elektrische Influenz: Unter Einfluss eines elektrischen Feldes bewegen sich die freien Ladungen und erzeugen dabei dann auch wieder ein elektrisches Feld. Dieses Phänomen heißt Influenz.

Polarisation: Viele Moleküle sind Dipole, haben also zwei Polen; ein Seite die (ein bisschen) positiv geladen ist, eine andere Seite ist etwas negativ geladen. Standardbeispiel ist Wasser. Wird nun ein elektrisches Feld angelegt (also, Ladungen werden irgendwo so organisiert, dass ihre elektrische Felder auch im Wasser präsent sind), so drehen / verschieben sich diese Dipole etwas. Diese Dipole erzeugen dann auch wieder ein elektrisches Feld. Das nennt man Polarisation.

Hand-Out Woche 12 – Physik 6B – Magnetismus

Es gibt verschiedene Arten, das magnetische Feld zu definieren, das Buch wählt einen bestimmten Weg. Um den Weg klar zu machen, werde ich zuerst einige Bausteine versuchen klar zu machen, oder auf jeden Fall annehmbar.

Was wir von Freitag den 16.11.2018 noch wissen (sollten).

Wenn durch einen Leiter einen Strom I fließt, und man auf Distanz r das magnetische Feld mißt, so ist aller Wahrscheinlichkeit nach (aus geometrischen Überlegungen), das B -Feld **direkt proportional zu I** und **indirekt proportional zu r** . In Formelform

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}. \quad (1)$$

Die Konstante μ_0 hat den Namen „Permeabilität vom Vakuum“ – für die Scrabble-Fans, oder Fremdwörter-Aficionados.

Achtung B ist die Größe von \vec{B} .

Und auch noch:

Zwei stromdurchflossene Leiter (Stromstärken I_1 und I_2 , beide in dieselbe Richtung) üben eine Kraft auf einander aus, die anziehend wirkt. Hier erwartet man, dass $F \sim I_1$, $F \sim I_2$ und auch $F \sim 1/r$, aber um so länger sie sind, desto größer diese Kraft, darum auch $F \sim s$, wobei s die Länge der Kabel ist. Mit etwas Zukunftsvision sage ich euch jetzt schon, dass die Proportionalitätskonstante dieselbe ist wie in Gl.(1):

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 s}{r} \quad (2)$$

Schaut schon fast aus wie das Coulomb'sche Gesetz, nur ist noch da: eine Länge s , und kein Quadrat von r im Nenner, letzteres ist aus geometrische Überlegung; die Form des Magnetfeld um einen Leiter sind konzentrische Kreise, und die Feldlinien bei einer Punktladung gehen von der Ladung ins Unendliche, sodass die Feldliniendichte mit r^2 (also Kugeloberfläche) abnimmt.

Und eine Beziehung zwischen Ladungen und Stromstärke:

Stromstärke in einem Punkt ist wie viel Ladung pro Sekunde vorbeifließt. Wir betrachten ein Stückchen Kabel mit einem Querschnitt A . Meine Definition von n ist dann: Ladungsdichte, also n wie viel Coulomb an freien Elektronen pro m^3 vorhanden sind. Warten wir bei einem Punkt 1 Sekunde, so schieben sich alle freien Elektronen um $v \cdot 1$ weiter. Somit kommen so viele freie Elektronen an einem Querschnitt vorbei, wie in einem Volumen von $v \cdot 1 \cdot A = vA$ vorhanden sind. Mit meinem n sind das also nvA , also $I = nvA$. Aber: Das n vom Buch ist die Anzahl an Elektronen pro m^3 , also fast dasselbe, nur muss man um dann die Ladungen pro m^3 zu bekommen noch mit der Ladung eines Elektrons multiplizieren. Ersetzt man in meiner Formel n durch qn , wobei q die Ladung des Elektrons ist, also $q = 1,6 \cdot 10^{-19}C$, so bekommt dann die Formel aus dem Buch:

$$I = qnvA \quad \text{Buchversion – ab jetzt zu hantieren.} \quad (3)$$

Und dann jetzt weiter mit den Einzelteilen des magnetischen Feldes, mit der Hoffnung, alle Bauteile des Verständnis später richtig an einander anreihen zu können:

Zweite Beziehung zwischen I , v und q .

Betrachten wir die vorige Beziehung $I = nqvA$ und multiplizieren wir sie mit s , der Länge eines Kabels, dann bekommen wir $Is = nqvAs$. Schaut nicht so spannend aus, aber was bekommen wir dann? Wir wiedererkennen natürlich gleich (auch wenn dies erst nach drei Stunden passiert), dass As das Volumen des Kabelstücks ist! Somit ist dann nAs die Anzahl der freien Elektronen im Kabelstück. Aber dann – ein kleiner Schritt noch – ist $nqAs$ die gesamte Ladung der freien Elektronen im Kabelstück. Nenner wir das Q , also wir haben dann

$$I s = Q v .$$

Neue Form für Formel für Kraft auf Leiter

Wir wenden jetzt das neue Wissen auf Gleichung (2) an und formen sie zu

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1}{r} \cdot Q_2 v_2 \quad (4)$$

um, wobei Q_2 die gesamte Ladung der freien Ladungen im Kabelstück (von zweiten Kabel), und v_2 die Geschwindigkeit seiner Elektronen ist.

Verwendung vom B -Feld

Und was folgt aus all diesem jetzt? Etwas bekanntes! Denn, wir wissen, dass die magnetischen Feldlinien konzentrischen Kreise sind, wir wissen dann, dass die Stromstärke I_2 normal auf die Feldlinien vom Magnetfeld vom Kabelstück 1 stehen. Somit stehen v_2 und das Magnetfeld \vec{B}_1 von Kabelstück 1 normal auf einander. Ok, und was jetzt? Nun, Gleichung (2) sagt uns dass $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$, also mit Gl.(4) bekommen wir nun

$$F = B_1 Q_2 v_2 = Q_2 v_2 B_1 . \quad (5)$$

Aber dies ist dann nichts anderes als die Lorentzkraft: $\vec{F} = Q\vec{v} \times \vec{B}$ – wobei ich euch noch nicht verraten habe, wie das Vektorprodukt funktioniert, aber glaube mir, wenn \vec{v} und \vec{B} normal auf einander stehen, dann gilt sogar $F = QvB$.

* Aus dem ganzen Vorigen sieht man auch Folgendes: Die Kraft auf ein einzelnes Elektron ist $F = qvB$. Dies ist die Lorentzkraft auf ein einzelnes Elektron.

* Nun ist das alles sehr schön und nett, aber was passierte geschichtlich eigentlich, und wie macht das Buch das eigentlich? Meiner Vermutung nach, ist das Buch der Geschichte recht nah. Im 19. Jahrhundert konnte man einzelne Elektronen nicht zählen, also war die Definition von $1C$ als Menge von $6, \dots 10^{18}$ Elektronen nicht verfügbar. Darum war die Lorentzkraft nicht direkt anwendbar, weil man dann zuerst mal die Lorentzkraft auf einzelne Elektronen anwenden können muss. Man stellte fest, dass ein Magnetfeld (zB bei einem permanenten Magnet) eine Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter ausübte. Man definierte dann (wie im Buch) recht geschickt, das B -Feld wie folgt: Sei F die Kraft die auf ein Stückchen von einem stromdurchflossenen Kabel mit Länge s (eventuell sehr klein) von einem Magnetfeld ausgeübt wird, wobei die Feldlinien normal auf I stehen, dann wird B definiert als das Verhältnis

$$B = \frac{F}{I \cdot s} \quad (6)$$

also, wieder als **Proportionalitätskonstante** in $F = BIs$. Achtung: auch hier ist B die Größe, die Richtung von F wird mittels Rechte-Hand-Regel bestimmt. Diese Formel erfordert aber ein Wissen über I . Dies passiert erst in einem zweiten Schritt!

In einem nächsten Schritt, wird dann Gleichung (2) verwendet, um I zu definieren – eigentlich um zu definieren, was $1C/s$ ist. *Ein Ampère ist die Stromstärke I , die erforderlich ist, dass zwei Kabel mit gleicher Stromstärke I und Länge $s = 1$ auf einem Meter Distanz von einander*

eine Kraft von $F = 2 \cdot 10^{-7} \text{N}$ auf einander ausüben. Man hat dann gleich festgelegt, dass $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{N/A}^2$ ist – bitte Einheiten kontrollieren.

Nimmt man dann jetzt $B = \frac{F}{I_2 s}$ und Gleichung (2), dann sieht man, dass das magnetische Feld von Leiter 1 durch seine Kraft auf Leiter 2 gefunden wird mittels

$$B_1 = \frac{F}{I_2 s} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}.$$

Und so schließt sich der Kreis. Später konnte man dann die Ladung eines Elektrons bestimmen. Ihr müsst aber nicht die logische Kette (denn davon gibt es andere, bessere, logisch nachvollziehbarere), oder die historische Ideenkette reproduzieren können, aber die Basisideen als Einheiten kennen, und ein bisschen zwischen ihnen hin und her gehen können.

Zu Wissen also – für den jeweiligen Kontext siehe hier oben:

(1) Alte Definition von B : $B = \frac{F}{I_2 s}$.

(2) Lorentzkraft $F = qvB$ falls $\vec{v} \perp \vec{B}$

(3) B -Feld um stromdurchflossenen Leiter hat Form von konzentrischen Kreisen und $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$.

(4) Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern (parallel) $F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 s}{r}$.

(5) $I = nqvA$ – bitte mit der Herleitung!

(6) Achte auf die Rolle der Proportionalitäten!