

# Studienberechtigungsprüfung Physik

## Prüfungsvorbereitung

Prüfer: Bernd Riederer, BSc MSc

Prüfung am xx.xx.xxxx

### Inhaltsverzeichnis

<b>1. Themengebiete</b>	<b>1</b>
<b>2. Prüfungsablauf</b>	<b>2</b>
2.1. Part 1 . . . . .	2
2.2. Part 2 . . . . .	5
<b>A. Aufgaben</b>	<b>6</b>
A.1. Grundlagen der Physik . . . . .	6
A.2. Mechanik . . . . .	6
A.3. Schwingungen und Wellen, Wärmelehre, Optik . . . . .	18
A.4. Elektrizität . . . . .	31
A.5. Atom-, Kern- und Teilchenphysik . . . . .	42

### 1. Themengebiete

1. Grundlagen der Physik
  - Arbeitsweisen und Fragestellungen der Physik
  - SI-Basisgrößen und -Einheiten
  - Längen- und Zeitmessung
2. Mechanik
  - Geradlinige Bewegung
  - Kräfte und Newton'sche Axiome
  - Arbeit und Energie

- Impuls
  - Rotation
3. Schwingungen und Wellen
- Schwingungen
  - Wellen
  - Akustik
4. Wärmelehre
- Temperatur
  - Ausdehnung bei Erwärmung
  - Gasgesetze
  - Innere Energie, Wärmekapazität und Hauptsätze der Thermodynamik
  - Wärmekraftmaschinen
  - Wärmetransport
  - Wetter und Klima
5. Elektrizität und Elektrodynamik
- Elektrische Grundgrößen
  - Elektrische Ladungen und Felder
  - Stromkreise
  - Magnetfeld und Induktion
  - Elektrische Maschinen
  - Elektromagnetismus
6. Optik
- Geometrische Optik
  - Wellenoptik
7. Atom-, Kern- und Teilchenphysik
- Aufbau der Materie
  - Radioaktivität
  - Wellen-Teilchen-Dualismus

## 2. Prüfungsablauf

Da die Prüfung ursprünglich aus zwei Teilen (einem schriftlichen und einem mündlichen Teil) besteht, würde ich vorschlagen die Prüfung in zwei Parts aufzuteilen.

## 2.1. Part 1

Der erste Part besteht aus einer Hausaufgabe, welche von Ihnen daheim als Prüfungsvorbereitung zu erledigen ist und sie mir bitte bis spätestens **zwei Tage** vor der Prüfung zusenden.

Dazu hätte ich mir gedacht, dass Sie von allen Themengebieten jeweils eine sehr kurze Zusammenfassung schreiben (Rechtschreibung o.Ä. ist hierbei nicht von Belangen), wo sie in kurzen Sätzen erklären worum es sich allgemein in diesem Teilgebiet handelt und möglichst viele Aufzählungspunkte miteinbeziehen.

Als kleines Beispiel:

Die **Mechanik** ist jenes Teilgebiet welches sich mit **Bewegung** von Körpern sowie den zwischen diesen wirkenden **Kräften** beschäftigt. Der einfachste Fall einer **Bewegung** ist gegeben durch die **geradlinige Bewegung** welche beschreibt wie sich ein Objekt mit gleichbleibender Geschwindigkeit entlang einer Richtung bewegt (z.B. Auto fährt auf einer geraden Straße von A nach B mit konstanter Geschwindigkeit). Im Gegensatz hierzu steht die **Rotation**, welche beschreibt wie sich ein Objekt dreht, also sich die Bewegungsrichtung ändert (z.B. ein Kreisel). Für die Beschreibung von **Kräften**, also die äußere Einwirkung auf einen Körper, gelten die 3 **Newtownschen Axiome**. Diese legen den Grundstein für die klassische Mechanik und erlauben zuverlässige Vorhersagen über mechanisches Verhalten (z.B. Wirkung der Erdanziehungskraft auf ein massives Objekt). Weitere wichtige Aspekte der Mechanik sind **Arbeit**, welche die Kraft beschreibt die entlang einer gewissen Zeit oder entlang eines Weges verrichtet wird (z.B. schieben einer Kiste ist Arbeit), **Energie**, welche beschreibt wie viel Arbeit ein System verrichten kann (also quasi der vorhandene "Energiespeicher") und **Impuls**, welcher den Bewegungszustand eines Objekts beschreibt. Z.B. ein Auto mit Masse  $m$  und einer Geschwindigkeit  $v$  besitzt einen Impuls  $mv$ . Der Impuls steht direkt im Zusammenhang mit der Energie dieses Autos und bei einer Kollision mit einer Wand wird Arbeit verrichtet woraus eine Verformung resultiert. Diese ist wiederum bestimmt durch die Kraft die während der Kollisionszeit auf das Auto ausgeübt wird.

Dieses Beispiel ist schon eher ausführlich und ich würde sagen, dass alle 7 Themenbereiche insgesamt einen Umfang von **3-6 Seiten** haben sollten (angenommen Computerschrift natürlich). Sollte es kürzer sein ist das auch kein Problem, allerdings je mehr Sie hier schreiben um so einfacher ist dann der mündliche Part der Prüfung.

Zusätzlich zu dem allgemeinen Teil kommt noch ein "rechnerischer Teil". Dazu suchen Sie sich bitte aus jedem Themengebiet mindestens eine Aufgabe aus, welche Sie (so weit wie möglich) lösen. Die Liste der Aufgaben finden Sie im Appendix. Auch hierbei gilt, je mehr Sie daheim lösen umso einfacher wird die mündliche Nachbesprechung, da ich sehe was Sie verstanden haben und wo es noch Schwierigkeiten gibt. Bei der Lösung der Aufgaben sollten Sie alle verwendeten Formeln und Rechenschritte **begründen und erklären**. Hier ein kleines Beispiel einer Aufgabe und einer Muserlösung:

**Aufgabenstellung:** Eine Person mit  $m = 80 \text{ kg}$  befindet sich im Gravitationsfeld der Erde ( $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ ) und steht auf einer Waage. Welche Kraft (in  $N$  (Newton)) wirkt auf die Waage?

**Lösung:** Die Aufgabenstellung beinhaltet Informationen über die Masse  $m$  und die Beschleunigung (hier die Erdbeschleunigung)  $g$  und gesucht ist die daraus resultierende Kraft in  $N$ .

Da die angegebenen Einheiten bereits SI-Einheiten sind müssen wir keine Umrechnung vornehmen.

Die Beziehung zwischen den gegebenen Größen ist gegeben durch die **Grundgleichung der Mechanik**  $F = m \cdot a$ , wobei hier die Beschleunigung  $a$  durch die Fallbeschleunigung  $g$  gegeben ist.

Somit ergibt sich für die Kraft

$$F = m \cdot g = 80 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ ms}^{-2} = 784.8 \text{ kgms}^{-2} \hat{=} 784.8 \text{ N}$$

wobei im letzten Schritt verwendet wurde, dass die Einheit  $N$  eine abgeleitete Größe zusammengesetzt aus  $\text{kgms}^{-2}$  ist.

**Antwort:** Eine Person mit  $m = 80 \text{ kg}$  welche sich im Gravitationsfeld der Erde ( $g = 9.81 \text{ ms}^{-1}$ ) befindet übt einer Kraft von  $784.8 \text{ N}$  auf eine Waage aus.

## Allgemeine Hinweise zum Lösen von Aufgaben

- Schreiben Sie zunächst alle Informationen aus der Angabe heraus.
- Beachten Sie auch Informationen in der Angabe, die keine Zahlenwerte sind, aber trotzdem wichtige Informationen transportieren, wie zum Beispiel die Angabe eines Materials Aufschluss über Materialkonstanten gibt.
- Als ersten Schritt rechnen Sie alle Angaben in SI-Einheiten um, dann müssen Sie beim Rechnen keinen Gedanken mehr an Einheiten verschwenden.
- Setzen Sie erst dann Werte ein, wenn Sie die Gleichung vollständig nach der gesuchten Variablen umgeformt haben. Beim Umformen mit eingesetzten Größen ergeben sich schnell Fehler.
- Benutzen Sie so oft es geht Zehnerpotenzen, diese erleichtern das Rechnen.
- Das Ergebnis einer physikalischen Rechnung ist eine physikalische Größe, bestehend aus **Zahl und Einheit**. Einzige Ausnahme sind dimensionslose Größen.
- Heben Sie das Ergebnis hervor (zB. durch doppeltes Unterstreichen). Je nach Aufgabenstellung ist ein Aufgabensatz notwendig oder nicht. Der Vorteil vom Antwortsatz ist, dass man dabei automatisch überprüft, ob man tatsächlich das ausgerechnet hat, was gesucht war.

- Am Schluss das Ergebnis auf Hinweise auf Fehler überprüfen ("consistency-check"): Passt die Einheit, die ich herausbekommen habe zur Größe, die ich ausrechnen wollte? Ist die Größenordnung meines Ergebnisses vernünftig?
- Und zuletzt noch der vermutlich wichtigste Punkt. Sollte eine Aufgabe einmal nicht lösbar sein keinesfalls verzagen! Überlegen Sie sich genau woran es scheitert und versuchen Sie eine sinnvolle Frage zu formulieren mit deren Antwort Sie dann weiterkommen. Fehler zu machen ist normal und die Einsicht, dass man nicht alles immer alleine lösen kann/muss ist viel wichtiger als alles alleine zu erarbeiten.

## 2.2. Part 2

Bei diesem Part handelt es sich dann um den mündlichen Teil. Diesen würde ich dann so handhaben, dass wir einfach gemeinsam Ihre Ausarbeitung durchgehen und ich eventuell bei einigen Punkten nochmal nachfrage. Als kleine Anmerkung: falls bei der Ausarbeitung zu irgendeinem Themengebiet Unklarheiten auftreten **notieren Sie diese** und wir besprechen diese gemeinsam durch. Mein Grundsatz für eine mündliche Prüfung ist, dass der Geprüfte etwas aus der Prüfung mitnehmen kann (z.B. durch neue Erkenntnisse in einem Teilbereich).

Ziel dieser gesamten Prüfung ist es **nicht** Sie durchfallen zu lassen oder Ihnen möglichst viel Arbeit aufzugeben, sondern dass Sie etwas dabei lernen und hoffentlich auch Spaß und Interesse daran haben.

## A. Aufgaben

Im folgenden ein paar Übungsaufgaben zur Überprüfung des Rechenverständnisses. Bei den gesamteten Aufgaben (aus *Roman Sexl, Helmut Kühnelt, Helga Stadler, Peter Jakesch, and Eva Sattlberger. Sexl Physik. OeBV*) sind die rot markierten Beispiele jene die ich empfehlen würde zu rechnen. Die anderen sind teils etwas schwere und zur weiterführenden Übung gedacht falls Interesse besteht. Achtung: Manchmal wurde bei den kopierten Aufgaben mit  $g = 10 \text{ m/s}^{-2}$  gerechnet, um auf die angegebene Lösung zu kommen!

### A.1. Grundlagen der Physik

1. Welche der folgenden physikalischen Größen ist keine Grundgröße des SI-Systems?  
a) Masse, b) Länge, c) Kraft, d) Zeit, e) alle genannten sind physikalische Grundgrößen
2. Am Ende einer Berechnung erhalten Sie  $m/s$  im Zähler und  $m/s^2$  im Nenner. Wie lautet die endgültige Maßeinheit? a)  $m^2/s^3$ , b)  $1/s$ , c)  $s^3/m^2$ , d)  $s$ , e)  $m/s$
3. Drücken Sie die folgenden Werte mit Hilfe der von Zehnerpotenzen und Präfixen aus (Beispiel:  $10000 \text{ m} = 10 \cdot 10^3 \text{ m} = 10 \text{ km}$ ) a)  $1000000 \text{ W}$  b)  $0.002 \text{ g}$  c)  $3000000 \text{ m}$  d)  $30000 \text{ s}$
4. Drücken Sie folgende Zahlen in Exponentialschreibweise aus: a)  $3.1 \text{ GW}$  b)  $10 \text{ pm}$  c)  $2.3 \text{ fs}$  d)  $4 \mu\text{s}$

### A.2. Mechanik

1. Sie sitzen in einem fensterlosen Zug, der sich mit gleicher Geschwindigkeit, also unbeschleunigt, dahinbewegt (Abb. 1 links). Können Sie diese Bewegung irgendwie feststellen? Und wie ist das, wenn der Kasten in irgendeiner Weise beschleunigt (rechts)?
2. Ein Flugzeug legt auf einem Flug von Berlin nach Buenos Aires ungefähr  $12000 \text{ km}$  zurück. Vernachlässigt man die Start- und Landephase, kann man die Geschwindigkeit des Flugzeugs als konstant betrachten. a) Wie lange benötigt ein Flugzeug, welches sich mit durchschnittlich  $950 \text{ kmh}^{-1}$  fortbewegt? b) Aufgrund eines technischen Defekts beim Start muss ein Flugzeug etwas langsamer fliegen und erreicht Buenos Aires erst nach  $13,2 \text{ h}$ . Wie schnell ist es durchschnittlich geflogen?
3. Zwei Schnellzüge befahren die  $450 \text{ km}$  lange Strecke zwischen den zwei Städten A und B auf parallelen Gleisen. Montags morgens fährt der erste Schnellzug von A nach B mit konstanten  $150 \text{ kmh}^{-1}$ . Zur gleichen Zeit startet der andere Schnellzug von B in Richtung A. Er fährt mit derselben Geschwindigkeit. a) Nach wieviel Minuten fahren die beiden Schnellzüge aneinander vorbei? b) Aufgrund eines technischen Defekts kann der Schnellzug 1, welcher die Strecke von A in Richtung B

befährt nur mit  $100 \text{ kmh}^{-1}$  fahren. Nach wieviel Minuten fahren die beiden Schnellzüge aneinander vorbei? In welcher Entfernung zur Stadt A befindet sich die Stelle, an der sich die beiden Schnellzüge begegnen?

4. Ein Auto beschleunigt in  $8 \text{ s}$  von  $0$  auf  $100 \text{ kmh}^{-1}$ . Um welche Strecke hat sich das Auto beim Beschleunigungsvorgang fortbewegt? Welche Beschleunigung hat das Auto?

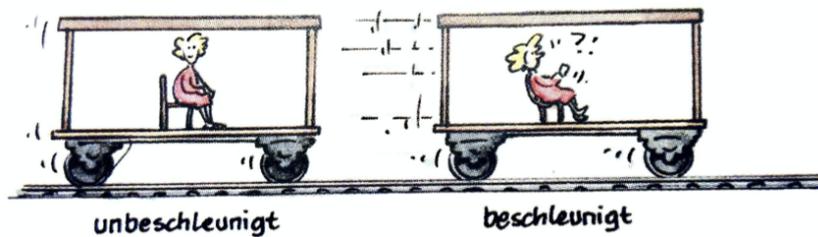


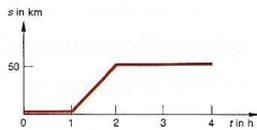
Abbildung 1: Abbildung aus *Martin Apolin. Big Bang. OeBV.*

#### Gleichförmige Bewegung

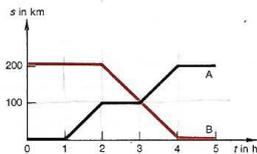
1. Von der Meeresoberfläche wird ein kurzes Schallsignal ausgesandt, das am Meeresboden reflektiert wird (Echolotverfahren). Man mißt die Zeit, die verstreicht, bis das Signal oben wieder empfangen werden kann. Wie groß war die Meerestiefe, wenn das Signal  $1,8 \text{ s}$  benötigt hat und die Schallgeschwindigkeit im Meerwasser  $1475 \text{ m/s}$  beträgt?
2. Eine Raumsonde bewegt sich im Sonnensystem mit einer Geschwindigkeit von  $v = 160\,000 \text{ km/h}$ . Welche Zeit benötigt sie, eine Strecke zu durchfliegen, die so groß wie der Sonnendurchmesser wäre? ( $d = 1,4 \cdot 10^6 \text{ km}$ )
3. Wie lange braucht das Licht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen? Die Entfernung der Erde von der Sonne beträgt  $1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$ , die Geschwindigkeit des Lichtes ist  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .
4. Wie groß ist die Zeitersparnis, die ein Autofahrer für eine Strecke von  $100 \text{ km}$  erreicht, wenn er seine übliche Durchschnittsgeschwindigkeit von  $70 \text{ km/h}$  auf  $80 \text{ km/h}$  steigert?
5. Wie lange sind Zeit und Weg, die ein Auto benötigt, wenn es ein anderes Auto überholt?  
Das 1. Auto fährt mit  $v_1 = 60 \text{ km/h}$ , das 2. Auto überholt mit  $v_2 = 90 \text{ km/h}$ . Es

Formeln

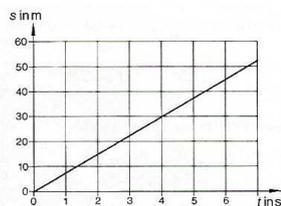
$$v = \frac{s}{t} \quad (v = \frac{\Delta s}{\Delta t})$$



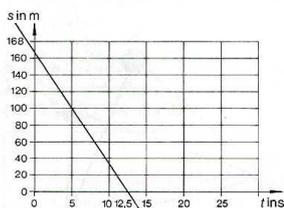
zu Aufg. 10 a



zu Aufg. 11



zu Aufg. 12



zu Aufg. 15

Formeln

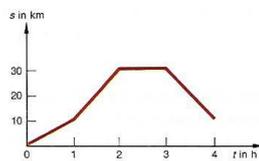
$$a = a_0 = \text{const}, v = a_0 t, s = \frac{a_0}{2} \cdot t^2,$$

wenn  $s_0 = 0, v_0 = 0$ .

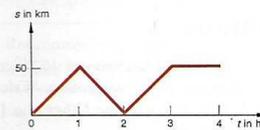
Achtung, falls  $s_0 \neq 0, v_0 \neq 0!$

setzt mit dem Überholen 60 m hinter dem 1. Auto an und landet 50 m vor diesem wieder in seiner Fahrspur. Beide Autos sind 5 m lang. (Der Fahrbahnwechsel seitlich wird nicht berücksichtigt.)

6. Die Polizei verfolgt ein Auto, das mit 160 km/h auf der Autobahn fährt und 10 Minuten Vorsprung hat. Der Polizeiwagen fährt mit 180 km/h. Wann wird er das Auto einholen?
7. Wie groß ist die mittlere Geschwindigkeit eines Düsenflugzeuges, das von Wien über Hamburg nach New York unterwegs ist?  
Flughafenauskunft: reine Flugzeit 10 h 30 min, Flugstrecke 4283 miles. (1 Flugmeile = 1,852 km)
8. Welche Geschwindigkeit hat die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne, die annähernd ein Kreis mit dem Radius 150 Mio. km ist?  
Welche Strecke legt die Erde in einem Tag zurück?
9. Zur Ermittlung der Mondentfernung hat man auf dem Mond einen Spiegel aufgestellt, der das Laserlicht von der Erde reflektiert. Die Zeit des Signallaufes hin und retour mißt man zu 2,5 s. Wie groß ist die Entfernung?
- + 10. In den drei graphischen Fahrplänen sind verschiedene Bewegungsabläufe wiedergegeben. Beschreiben Sie diese in Abhängigkeit von der Zeit.



zu Aufg. 10 b



zu Aufg. 10 c

11. Der graphische Fahrplan gibt die Bewegung zweier Züge A und B an.  
Wie bewegt sich A, wie B? Wo treffen sich beide?
12. Entnehmen Sie dem Weg-Zeit-Diagramm, welche Geschwindigkeit ein Radfahrer hat und welchen Weg er in 2 Minuten zurücklegt!
13. Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm für eine Bewegung, die mit der Geschwindigkeit  $v_0 = 5 \text{ cm/s}$  verläuft und zur Zeit  $t = 0$  eine Anfangsstrecke von  $s_0 = 20 \text{ cm}$  aufweist!
14. Welche Art von Bewegung können Sie dem Diagramm entnehmen, das Sie aus folgenden Meßwerten zeichnen sollen?

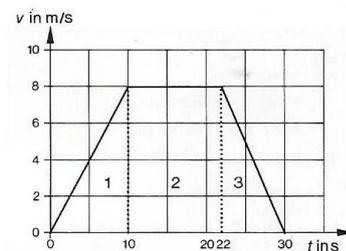
Zeit (s)	4,2	9	14
Weg (m)	12	93,6	178,6

15. Aus dem Diagramm sollen Sie die Bewegung beschreiben. Wann hat das Fahrzeug den Beobachter erreicht?  
Welchen Weg hat es insgesamt nach 1 h und 20 min zurückgelegt?

### Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

1. Ein Auto fährt mit der Beschleunigung  $a = 2 \text{ m/s}^2$  an. Welche Geschwindigkeit hat es nach 15 s? Welchen Weg legt es in dieser Zeit zurück?
2. Ein Zug fährt mit konstanter Beschleunigung an. Er erreicht in 20 s eine Geschwindigkeit von 5 m/s. Wie groß ist seine Beschleunigung und welchen Weg hat er in den 20 s zurückgelegt?
3. Ein Rennwagen soll beim Anfahren in den ersten 5 Sekunden 50 m zurücklegen. Er bewegt sich in dieser Zeit gleichmäßig beschleunigt. Wie groß muß die Beschleunigung sein? Welche Geschwindigkeit erlangt er in dieser Zeit?
4. Wenn wir annehmen, daß ein Geschöß in einem Kanonenrohr sich gleichmäßig beschleunigt, so können wir die Austrittsgeschwindigkeit berechnen. Das Rohr ist 3 m lang, die Zeit während des Rohrdurchlaufes beträgt 0,006 s.
5. Mit welcher Geschwindigkeit hebt ein Flugzeug vom Boden ab, wenn es mit gleichmäßiger Beschleunigung eine Rollstrecke von 3 km in 50 s durchläuft? Wie groß ist die Beschleunigung?
6. Ein Zug fährt mit  $v_0 = 100 \text{ km/h}$ . Jemand betätigt die Notbremse, der Zug hält nach 400 m.  
Wie lange dauert der Bremsvorgang? Welche Beschleunigung erfährt der Zug?
- + 7. Ein Autofahrer möchte aus dem Stand beschleunigen und eine Geschwindigkeit von 130 km/h erreichen. Wie lange dauert der Beschleunigungsvorgang, wenn er nach

- 4 s vom 1. in den 2. Gang, nach 5 s vom 2. in den 3. und nach 10 s vom 3. in den 4. Gang schaltet? Die Beschleunigungen der einzelnen Gänge betragen ungefähr  $3 \text{ m/s}^2$  in 1,  $2 \text{ m/s}^2$  in 2,  $1 \text{ m/s}^2$  in 3 und  $0,6 \text{ m/s}^2$  in 4.
8. Ein Auto fährt mit  $v_0 = 80 \text{ km/h}$ . Wie lange ist sein Bremsweg, wenn es mit einer Verzögerung  $a = -0,5 \text{ m/s}^2$  gebremst wird?
- + 9. In der Fahrschule lernt man folgende Faustregeln:
- (I) Der Reaktionsweg, d. h. die Strecke, welche das Auto in der »Schrecksekunde« durchfährt, ergibt sich in Meter, indem man die Geschwindigkeit in  $\text{km/h}$  durch 10 teilt und mit 3 multipliziert.  
( $v = 40 \text{ km/h} \rightarrow \text{Reaktionsweg} = 4,0 \text{ mal } 3 = 12 \text{ m}$ )
  - (II) Der Bremsweg, d. h. die Strecke, welche das Auto während des Bremsvorganges zurücklegt, ergibt sich in Meter, indem man die Geschwindigkeit in  $\text{km/h}$  durch 10 teilt und anschließend quadriert.  
( $v = 40 \text{ km/h} \rightarrow \text{Bremsweg} = 4,0 \text{ mal } 4,0 = 16 \text{ m}$ )
  - (III) Der Anhalteweg ist die Summe Reaktionsweg + Bremsweg.  
Diese Regeln gelten für eine Bremsbeschleunigung  $4 \text{ m/s}^2$ . Man begründe sie.
- + 10. Berechnen Sie mit den Faustregeln der vorhergehenden Aufgabe den Anhalteweg für  $v = 20, 40, 60, 80, 100, 120 \text{ km/h}$ , und tragen Sie ihn in einem Diagramm in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit auf. Was zeigt sich?
11. Ein Flugzeug setzt mit  $290 \text{ km/h}$  auf eine Landebahn auf, die  $2 \text{ km}$  lang ist. Wie groß muß die als konstant angenommene Verzögerung mindestens sein, damit die Piste ausreicht?
- + 12. Eine geradlinige gleichmäßig beschleunigte Bewegung erfolgt mit einer Beschleunigung  $a = 0,4 \text{ m/s}^2$ . Die Geschwindigkeit am Beginn der Bewegung war  $v_0 = 15 \text{ m/s}$ , der Weg  $s_0 = 0$ . Zeichnen Sie das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm und das Weg-Zeit-Diagramm für diese Bewegung.
- + 13. Eine geradlinige gleichmäßig verzögerte Bewegung mit  $a = -0,5 \text{ m/s}^2$  bei einer Anfangsgeschwindigkeit von  $v_0 = 40 \text{ m/s}$  und  $s_0 = 0$  soll im Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm und im Weg-Zeit-Diagramm dargestellt werden!
- + 14. Entnehmen Sie aus dem obenstehenden Diagramm, welche Bewegung ein Radfahrer ausführt, lesen Sie die Werte für Beschleunigung, Geschwindigkeit und Wegabschnitte heraus. Wie groß ist der gesamte Weg?



zu Aufg. 14

### Fall-, Wurf- und Kreisbewegung

1. Untersuchen Sie die Fallbewegung: Wie verhalten sich die zurückgelegten Fallwege in den einzelnen Sekunden (1—5)? Wie verhalten sich die Wegstücke, die in den einzelnen Sekunden durchfallen werden? Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten, die in den einzelnen Sekunden erreicht werden?
2. Ein Stein fällt vom Eiffelturm aus  $300 \text{ m}$  Höhe in die Tiefe. Wie lange dauert der Fall, wenn der Luftwiderstand nicht berücksichtigt wird? Mit welcher Geschwindigkeit schlägt der Stein auf dem Boden auf?
3. Ein Bub läßt einen Stein in eine steile Schlucht fallen und stoppt die Zeit, bis er den Aufprall hört, mit  $8 \text{ Sekunden}$ . Er will daraus auf die ungefähre Tiefe der Schlucht schließen. Wie geht dies? Welche Ungenauigkeiten könnten sich bei dieser Meßmethode eingeschlichen haben?
4. Ein Kind springt, ohne Schwung zu nehmen, vom Zehnmeterbrett. Durch das Wasser, in das es  $3,5 \text{ m}$  eintaucht, erfährt es eine Abbremsung bis auf Null. Nehmen wir an, daß diese Abbremsung gleichmäßig verläuft, wie groß ist dann der Wert der Verzögerung?
5. Ein gewaltiger Vulkanausbruch wirft Material mit Geschwindigkeiten bis zu  $200 \text{ m/s}$  aus. Wie hoch müßte dann die Lavafackel sein?
6. Eine Rakete mit meteorologischen Meßgeräten wird mit der Geschwindigkeit  $v_0 = 870 \text{ m/s}$  nach oben geschossen, um einen Meßpunkt zu erreichen, der sich  $10\,000 \text{ m}$  darüber befindet. Reicht die Anfangsgeschwindigkeit für diese Strecke aus?
7. Von der Spitze einer Kathedrale löst sich ein Mauerbrocken und liegt  $5 \text{ s}$  später auf dem Boden. Wie hoch ist der Turm?
8. Ein Fallschirmspringer, bei dem sich der Schirm nicht öffnet, wird so durch die Luft gebremst, daß er beim Durchfallen von  $400 \text{ m}$  eine gleichbleibende Geschwindigkeit von ca.  $50 \text{ m/s}$  erreicht. Welche Geschwindigkeit würde er erreichen, wenn es ein freier Fall wäre.
9. Im Jahre 1949 erzielte eine Zweistufenrakete mit  $403 \text{ km}$  Höhe den Weltrekord. Mit welcher Geschwindigkeit hätte man sie als einstufige Rakete abschießen müssen, damit sie diese Höhe erreicht? Wie lange bräuchte sie, um hinaufzukommen? Ungefähre Werte genügen, daher vernachlässigen wir den Luftwiderstand und rechnen mit  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . (Annahme: im Steilflug hat die Rakete keinen Antrieb)

#### Formeln

$$s = \frac{g}{2} t^2, v = g \cdot t, a = g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r, \quad \omega = 2\pi \cdot f = \frac{v}{r}$$

10. Eine Sylvesterrakete wird mit 60 m/s noch oben geschossen, sie explodiert im höchsten Punkt. Ein weit entfernter Zuschauer hört den Knall 6 s nachdem er das Licht gesehen hatte. Wie hoch war die Rakete und wie weit war der Zuschauer entfernt?
- + 11. Ein Stuntman muß für einen Film mit einem Motorrad in horizontaler Richtung über eine 10 m hohe Brücke hinauspringen. Seine Geschwindigkeit beträgt 100 km/h. In welcher ungefähren Entfernung vom Fußpunkt der Brücke aus kommt er im Wasser auf, wie groß ist dort seine Geschwindigkeit?
12. Ein Militärflugzeug fliegt mit einer Geschwindigkeit von 750 km/h in einer Höhe von 10 000 m und soll von dort ein angegebenes Ziel treffen. Wieviel Meter vor dem Ziel muß es die Bombe werfen? Eine ungefähre Schätzung genügt, daher vom Luftwiderstand absehen!
13. Der Mond bewegt sich annähernd auf einer Kreisbahn ( $r = 384\,000\text{ km}$ ) um die Erde und benötigt dafür ungefähr 28 Tage. Wie groß ist die Bahngeschwindigkeit und wie groß ist die Beschleunigung in radialer Richtung?
14. Eine Wäschetrommel dreht sich beim Schleudern im Schongang 420mal, im Schnellgang 840mal in der Minute. Welche Beschleunigung erfährt ein Wassertropfen am Trommelrand, der von der Drehachse 24 cm entfernt ist?

$$F = m \cdot a$$

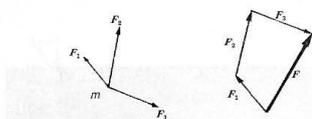
$$F_g = m \cdot g \dots \text{Gewicht,}$$

$$F_f = k \cdot x \dots \text{Federkraft,}$$

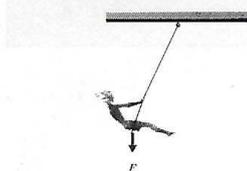
$$F_R = f \cdot N \dots \text{Reibung}$$

$$F_Z = m \cdot a_r = m \cdot \frac{v^2}{r} =$$

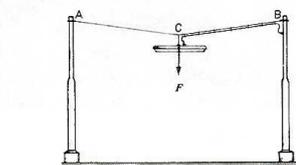
$$m \cdot \omega^2 \cdot r \dots \text{Zentripetalkraft}$$



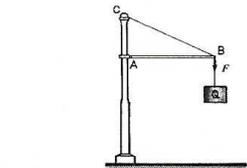
zu Aufg. 1



zu Aufg. 3



zu Aufg. 4

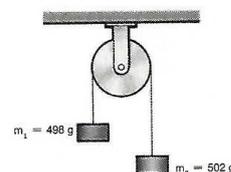
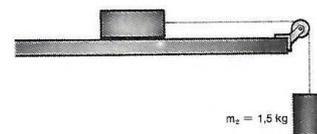
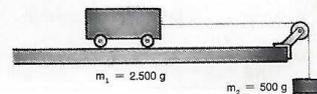


zu Aufg. 5

## Die Kraft

1. Die Resultierende mehrerer Kräfte, welche am gleichen Punkt angreifen, kann man am einfachsten folgendermaßen finden: Man setzt die einzelnen Kraftvektoren, ohne ihre Richtung zu ändern, aneinander. Die Resultierende zeigt dann von Anfang des ersten Kraftvektors zur Spitze des letzten (siehe Abbildung).
  - a) Man beweise diese Regel, indem man sie zunächst für zwei Kräfte überprüft und dann schrittweise auf drei und mehr Kräfte verallgemeinert.
  - b) Es kann vorkommen, daß sich das »Kräftepolygon« von selbst schließt. Was bedeutet das physikalisch?
2. Wie bewegt sich ein materieller Punkt, wenn sich die angreifenden Kräfte gegenseitig im Gleichgewicht halten?
3. Zerlegen Sie das Gewicht des schaukelnden Kindes in zwei Komponenten, welche parallel und senkrecht zur Bewegungsrichtung stehen (siehe Abbildung). Welches ist die treibende und welches die spannende Komponente?
4. Eine Lampe C ist mit zwei gleich langen Seilen AC und BC an zwei gleich hoch liegenden Verankerungspunkten A und B aufgehängt (siehe Abbildung).
  - a) Zerlegen Sie das Gewicht der Lampe in zwei Komponenten, welche die Richtung der Aufhängeseile haben!
  - b) Wann ist die Spannung in den Seilen größer als das Gewicht der Lampe?
5. Zerlegen Sie das Gewicht der Last Q in zwei Komponenten, welche die Richtung der Stange AB und die Richtung des Seiles BC haben (siehe Abbildung).
- + 6. In einem Aufzug steht eine Person mit 70 kg Masse. Wie groß ist die Kraft, die gesamt auf sie wirkt, wenn sich der Aufzug mit  $a = 2,5\text{ m/s}^2$  nach oben bewegt?
7. Wieviel Masse hätte jene Menge Wasser, die am Mond ein Gewicht von 10 N hätte? (Die Fallbeschleunigung auf dem Mond beträgt  $1,65\text{ m/s}^2$ ) Vergleichen Sie die Zahl mit jener auf der Erde!
8. An eine Schraubenfeder mit der Federkonstante  $k = 10\text{ N/m}$  wird ein Körper der Masse  $m = 60\text{ g}$  angehängt. Um wieviel wird die Feder gedehnt
  - a) auf der Erde,
  - b) auf dem Mond?
9. Hängt man an eine Schraubenfeder 50 g, so wird sie um 5 cm länger.
  - a) Um wieviel dehnt sich die Feder, wenn man 80 g anhängt?
  - b) Wie viele Gramm hängen an der Feder, wenn sie um 3 cm gedehnt ist?
10. Ein Auto der Masse  $m = 900\text{ kg}$  wird durch Blockieren aller Räder gebremst. Die Gleitreibungszahl zwischen Auto und Straße beträgt  $f = 0,4$ . Wie groß ist die bremsende Reibungskraft?
11. Ein Auto ( $m = 900\text{ kg}$ ) benötigt 22 Sekunden, um aus dem Stand auf 80 km/h zu kommen.
  - a) Wie groß ist die durchschnittliche Beschleunigung?
  - b) Wie groß ist die durchschnittliche Kraft des Motors?

12. Eine Gewehr­kugel ( $m = 10\text{ g}$ ) führt im Gewehr­lauf eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus. Sie wird im  $80\text{ cm}$  langen Lauf auf  $800\text{ m/s}$  beschleunigt.
- Wie groß ist die Beschleunigung der Kugel?
  - Wie groß ist die Kraft, welche im Gewehr auf die Kugel einwirkt?
13. Eine Uhr ( $m = 150\text{ g}$ ) fällt aus  $1,5\text{ m}$  Höhe zu Boden. Sie wird beim Auffallen abgebremst und auf einer Strecke von  $0,5\text{ mm}$  zur Ruhe gebracht.
- Mit welcher Geschwindigkeit fällt die Uhr am Boden auf?
  - Welche Beschleunigung erfährt die Uhr beim Auffallen?
  - Welche Bremskraft wirkt auf die Uhr beim Auffallen?
- (Bei stoßgesicherten Uhren wird der Bremsweg der Unruhe durch eine Federaufhängung etwas vergrößert. Wie wirkt sich das auf die Bremskraft aus, welche beim Auffallen auf die Unruhe wirkt?)
14. Ein Auto fährt mit  $60\text{ km/h}$  gegen ein Hindernis und wird plötzlich zum Stehen gebracht. Der Fahrer ist angegurtet. Der Gurt dehnt sich und bringt den Oberkörper des Fahrers auf einem Weg von  $30\text{ cm}$  zur Ruhe.
- Welche durchschnittliche Beschleunigung erfährt der Oberkörper des Fahrers?
  - Mit welcher Kraft wirkt der Gurt auf den Oberkörper des Fahrers ( $m = 50\text{ kg}$ )?
  - Warum darf sich der Gurt nach der Dehnung nicht wie eine Feder zusammenziehen?
15. Ein Schlitten ( $m = 100\text{ kg}$ ) läßt sich längs einer waagrechten Eisfläche reibungsfrei verschieben. Am Schlitten greift die Zugkraft  $F = 50\text{ N}$  an, die waagrecht in Fahr­richtung wirkt.
- Wie lautet die Bewegungsgleichung?
  - Mit welcher Beschleunigung setzt sich der Schlitten in Bewegung?
  - Wie groß ist die Geschwindigkeit des Schlittens nach  $10\text{ s}$ ?
  - Welchen Weg legt der Schlitten in dieser Zeit zurück?
16. Mit einem Seil, dessen Zugfestigkeit  $1000\text{ N}$  beträgt, soll eine  $50\text{ kg}$  große Masse lotrecht in die Höhe gehoben werden.
- Wie lautet die Bewegungsgleichung der Masse?
  - Mit welcher Maximalbeschleunigung könnte die Masse gehoben werden?
  - Welche Geschwindigkeit hätte sie dann nach  $3\text{ s}$  erreicht?
  - Welchen Weg würde sie in diesen  $3\text{ s}$  zurücklegen?
- + 17. Ein Wagen ( $m_1 = 2500\text{ g}$ ) kann sich auf einer waagrechten Fahrbahn reibungsfrei bewegen. Am Wagen ist eine Schnur befestigt. Diese führt über eine leicht drehbare Rolle und hat an ihrem Ende ein Gewichtsstück ( $m_2 = 500\text{ g}$ ) hängen (siehe Abbildung).
- Wie lautet die Bewegungsgleichung?
  - Mit welcher Beschleunigung setzt sich die Anordnung in Bewegung?
  - Welche Geschwindigkeit erreicht der Wagen nach  $6\text{ s}$ ?
  - Welchen Weg legt er in dieser Zeit zurück?
- + 18. Ein Klotz kann sich längs einer waagrechten, rauhen Unterlage bewegen. Am Klotz ist eine Schnur befestigt. Diese führt über eine leicht drehbare Rolle und hat an ihrem Ende ein Gewichtsstück hängen. Die Masse des Klotzes betrage  $m_1 = 2\text{ kg}$ , die Masse des Gewichtsstückes  $m_2 = 1,5\text{ kg}$  und die Gleitreibungszahl  $f = 0,4$  (siehe Abbildung).
- Wie lautet die Bewegungsgleichung?
  - Mit welcher Beschleunigung setzt sich die Anordnung in Bewegung?
  - Welche Geschwindigkeit würde der Klotz nach  $5\text{ s}$  erreichen, und welchen Weg hätte er in dieser Zeit zurückgelegt?
- + 19. Über eine sehr leichte, reibungsfrei drehbare Rolle ist eine Schnur gelegt. An einem Ende hängt die Masse  $m_1 = 498\text{ g}$ , am anderen Ende die Masse  $m_2 = 502\text{ g}$  (siehe Abbildung).
- Wie lautet die Bewegungsgleichung?
  - Mit welcher Beschleunigung setzt sich die Anordnung in Bewegung?
  - Welche Geschwindigkeit erreichen die Massen nach  $10\text{ s}$ ?
  - Welchen Weg hat jede Masse in dieser Zeit zurückgelegt?
20. Die Trommel einer Wäscheschleuder hat den Radius  $r = 30\text{ cm}$  und rotiert mit  $1200$  Umdrehungen pro Minute.
- Mit welcher Geschwindigkeit läuft die Trommelwand um?
  - Wie groß ist die Zentripetalbeschleunigung an der Wand?
  - Mit welcher Kraft müßte ein Wasserteilchen ( $m = 1\text{ g}$ ) vom Stoffgewebe an der Trommelwand mindestens festgehalten werden, um haftenzubleiben?
21. Die Erde benötigt für eine Achs­drehung ca.  $24$  Stunden.
- Wie rasch bewegt sich ein Punkt am Äquator?
  - Wie groß ist die Beschleunigung dieses Punktes?
  - Welche Zentripetalkraft wird benötigt, um am Äquator  $1\text{ kg}$  festzuhalten?



22. Einer Weltraumstation möchte man die Form von einem riesigen, hohlen Rad geben. In der »Radnabe« sollen die Raketenanlegestellen und der Kontrollraum untergebracht werden. Die Wohnräume für die Mannschaft würden sich in der »Radfelge« befinden. Um dort eine Gravitationskraft vorzutauschen, will man das »Rad« in Rotation versetzen. Wir nehmen den Radius der Weltraumstation mit 90 m an.
- Mit welcher Geschwindigkeit muß die Felge umlaufen, damit dort die Bahnbeschleunigung  $10 \text{ m/s}^2$  beträgt?
  - Wie lange benötigt die Weltraumstation für eine Umdrehung?
- + 23. Ein Stein ( $m = 0,3 \text{ kg}$ ) ist an eine 50 cm lange Schnur gebunden und wird mit wachsender Geschwindigkeit in einer waagrecht Ebene im Kreis herumgeschleudert.
- Bei welcher Geschwindigkeit reißt die Schnur, wenn sie 15 N aushält?
  - Wie weit fliegt der Stein, wenn die Kreisebene 1,6 m über dem Boden liegt?
- + 24. Eine Milchkanne ( $m = 0,5 \text{ kg}$ ) wird in einem lotrechten Kreis mit dem Radius  $r = 1 \text{ m}$  geschwungen.
- Wie groß muß die Geschwindigkeit im höchsten Punkt mindestens sein, damit keine Milch ausfließt?
  - Welche Kraft muß man bei dieser Geschwindigkeit im tiefsten Punkt auf die Kanne ausüben?
- Anleitung: Im höchsten Punkt der Bahn wird die nötige Zentripetalkraft allein von der Schwerkraft aufgebracht.
- + 25. Ein Auto durchfährt eine nicht überhöhte, ebene Kurve von 100 m Radius. Die Masse des Autos beträgt 900 kg, und die Haftreibungszahl zwischen Auto und Straße ist 0,6.
- Mit welcher Geschwindigkeit darf das Auto höchstens fahren, wenn es in der Kurve nicht ins Rutschen kommen soll?
  - Ist diese Geschwindigkeit von der Masse des Autos abhängig?

Formeln	
$W = F_{\parallel} \cdot s$	$P = \frac{W}{t}$
$W = mgh$ .....	Hubarbeit
$W = \frac{mv^2}{2}$ .....	Beschleunigungsarbeit
$W = \frac{k \cdot x^2}{2}$ .....	Dehnungsarbeit

## Arbeit und Leistung

- Im Hochsprung liegt der Schwerpunkt des Sportlers bei Rückenlage etwa 15 cm über der Latte. Welche Hubarbeit verrichtet der Springer, wenn er die Latte 1,50 m hoch setzt und selbst die Masse von 75 kg hat? Sein Körperschwerpunkt befindet sich 90 cm über dem Erdboden.
- Wie groß ist die Arbeit einer Pumpe, die  $1000 \text{ m}^3$  Wasser 200 m hoch befördert?
- Ein Auto mit der Masse von ca. 900 kg beschleunigt von 50 km/h auf 100 km/h. Welche Beschleunigungsarbeit muß der Motor aufbringen? (Von einem Einfluß durch Reibung soll abgesehen werden!)
- Eine Feder wird mit einem Arbeitsaufwand von 10 J 30 cm gedehnt. Wie groß ist die Federkraft?
- Ein Wagen wird mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h auf einer horizontalen Straße zwei Stunden lang gezogen. Die Zugkraft in Richtung der waagrecht liegenden Deichsel beträgt 40 N.
  - Wie groß ist die verrichtete Arbeit?
  - Was geschieht mit der übertragenen Energie?
- Ein Bergsteiger ( $m = 70 \text{ kg}$ ) besteigt von Heiligenblut (1279 m) aus den Großglockner (3798 m). Wie groß ist die dabei verrichtete Arbeit?
- Eine Kugel durchläuft eine in sich geschlossene Bahn beliebiger Form. Es wird angenommen, daß die Kugel mit der Startgeschwindigkeit an den Startpunkt zurückkehrt und daß während der Bewegung keine Energie in innere Energie umgewandelt wird. Wie groß ist die gesamte von den äußeren Kräften verrichtete Arbeit?
- Die Leistung wird heute noch manchmal in PS angegeben. Unter einem PS (Pferdestärke) verstand man jene Leistung, die man aufbringen muß, um in einer Sekunde 75 kg einen Meter hochzuheben. Welcher Zusammenhang besteht zwischen PS und kW?
- Ein Mann ( $m = 75 \text{ kg}$ ) eilt eine Treppe hinauf. Er gewinnt dabei 1 m Höhe pro Sekunde.
  - Wie groß ist seine mittlere Leistung?
  - Welche Arbeit würde der Mann in 10 s verrichten?
- Über den Niagarafall fließen pro Sekunde  $2 \cdot 10^7 \text{ kg}$  Wasser und stürzen ca. 50 m in die Tiefe. Wieviel Leistung (in kW) wird dabei frei?
- Ein Auto ( $m = 900 \text{ kg}$ ) soll innerhalb von 26 Sekunden eine Geschwindigkeit von 90 km/h erreichen.
  - Mit welcher Beschleunigung muß es anfahren?
  - Welche Kraft muß der Motor dabei aufbringen?
  - Welche Leistung gibt der Motor ab, wenn beim Beschleunigungsvorgang folgende Geschwindigkeiten durchlaufen werden: 18 km/h, 36 km/h, 72 km/h?
  - Welche Spitzenleistung muß der Motor abgeben?  
(Der Einfluß von Reibung und Luftwiderstand soll außer Betracht bleiben.)

12. Wenn Sie eine Hantel mit 50 kg in 2 Sekunden dreimal 2 m hoch stemmen, wie groß ist dann Ihre Leistung?
13. Der Reibungswiderstand eines Autos betrage etwa 900 N bei einer Fahrgeschwindigkeit von 40 km/h. Welche Leistung muß das Auto aufbringen?
14. Welche Leistung vollbringt ein Radfahrer, der zur Bewältigung einer Bergstrecke mit 1000 m Höhendifferenz 1 h 10 min braucht. Das Rad wiegt 50 N, der Mann 700 N.

### Das Energieprinzip

1. Wie groß ist der Energiegehalt eines Stausees, der 900 m über den Turbinen liegt und ca.  $10^7 \text{ m}^3$  Wasser enthält?
2. Mit welcher durchschnittlichen Geschwindigkeit bewegen sich die Luftmoleküle, wenn die gesamte Bewegungsenergie für  $1 \text{ m}^3$  Luft mit der Dichte  $1,3 \text{ kg/m}^3$  ungefähr  $1,5 \cdot 10^5 \text{ J}$  beträgt?
3. Eine Regenwolke befindet sich 1000 m über dem Erdboden. Ein Platzregen hinterließ in einem Glas mit dem Durchmesser von 10 cm eine Wassermenge mit der Höhe von 2 cm. Welche potentielle Energie hatte diese Regenmenge?
4. Wie hoch steigt ein senkrecht in die Höhe geschossener Pfeil mit Masse 100 g, wenn die Wucht vom Bogen 250 J vermittelte? Welche Anfangsgeschwindigkeit erhält der Pfeil?
5. Ist es in der Energiebilanz gleichgültig, ob man ein Auto von 0 auf 50 km/h oder von 50 auf 100 km/h beschleunigt?
6. Der Hochstrahlbrunnen am Schwarzenbergplatz in Wien sendet seinen Wasserstrahl 30 m hoch.
  - a) Mit welcher Geschwindigkeit schießt das Wasser aus der Düse?
  - b) Welche Geschwindigkeit hat das Wasser in 15 m Höhe?  
(Geben Sie die Geschwindigkeit in m/s und in km/h an.)
7. Ein Radfahrer kommt mit 10 m/s an eine abschüssige Straße. Er fährt, ohne zu bremsen, hinunter, wobei er 5 m Höhe verliert. Unten stößt er auf ein Hindernis. Von Reibung und Luftwiderstand werde abgesehen.
  - a) Mit welcher Geschwindigkeit prallt er auf das Hindernis?
  - b) Aus welcher Höhe hätte der Radfahrer frei herabfallen müssen, um mit der gleichen Geschwindigkeit aufzutreffen?
8. Ein Artist wiegt 60 kg. Er hält in jeder Hand ein Gewichtsstück von 30 kg und springt damit aus 3 m Höhe auf ein Federsprungbrett. Im Augenblick, als dieses den tiefsten Punkt erreicht hat, läßt er die Gewichtsstücke fallen. Wie hoch wird er geschleudert? (Von Reibung und Luftwiderstand soll abgesehen werden.)
9. Eine Schraubenfeder ( $m = 20 \text{ g}$ ) besitzt die Federkonstante  $k = 2000 \text{ N/m}$ . Sie wird senkrecht auf einen Tisch gesetzt und um 2 cm zusammengedrückt.
  - a) Wie groß ist die Spannungsenergie der Feder?
  - b) Wie hoch springt die Feder beim Loslassen?
10. Ein Fußball ( $m = 0,5 \text{ kg}$ ) wird mit 15 m/s abgeschossen.
  - a) Welche Arbeit ist dazu erforderlich?
  - b) Wie hoch hätte man den Ball mit dieser Arbeit heben können?
11. Ein Körper ( $m = 10 \text{ kg}$ ) soll aus dem Zustand der Ruhe auf die Geschwindigkeit  $v = 20 \text{ m/s}$  gebracht werden, und zwar mit der Kraft  $F = 10 \text{ N}$ .
  - a) Welche kinetische Energie muß dem Körper erteilt werden?
  - b) Welche Arbeit ist hierzu erforderlich?
  - c) Längs welcher Wegstrecke muß die beschleunigende Kraft wirken?
  - d) Wie lange muß die Kraft auf den Körper einwirken?
- + 12. Ein Körper der Masse  $m$  gleitet mit der Geschwindigkeit  $v_0$  auf einer waagrechten, rauhen Unterlage entlang. Die Gleitreibungszahl sei  $f$ .
  - a) Wie groß ist der Bremsweg?
  - b) Um wieviel ändert sich der Bremsweg, wenn die Geschwindigkeit verdoppelt wird? Hat die Masse einen Einfluß?
  - c) Wie kann die Polizei nach einem Verkehrsunfall aus der Länge einer Bremsspur die Geschwindigkeit vor dem Bremsen ermitteln?
13. Ein Knabe ( $m = 50 \text{ kg}$ ) klettert 3 m an einer hohen Kletterstange empor.
  - a) Welche Arbeit verrichtet er dabei?
  - b) Welche Energie wird in innere Energie verwandelt, wenn der Knabe 3 m mit der Geschwindigkeit von 2 m/s herabgleitet?
  - c) Bemerkt der Knabe etwas von dieser Energie?
14. Ein Mann ( $m = 60 \text{ kg}$ ) vermag auf der Erde 1 m hoch zu springen.
  - a) Berechnen Sie das Gewicht des Mannes auf der Erde und am Mond.
  - b) Welche Arbeit verrichtet der Mann bei seinem Sprung?
  - c) Welche Sprunghöhe könnte er auf dem Mond erreichen?

#### Formeln

$$E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} + U = E = \text{const}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} \dots \dots \dots \text{kinetische Energie}$$

$$E_{\text{pot}} = mgh \dots \dots \dots \text{potentielle Energie im Erdfeld}$$

$$E_{\text{pot}} = \frac{kx^2}{2} \dots \dots \dots \text{für die Feder}$$

$$U \dots \dots \dots \text{innere Energie}$$

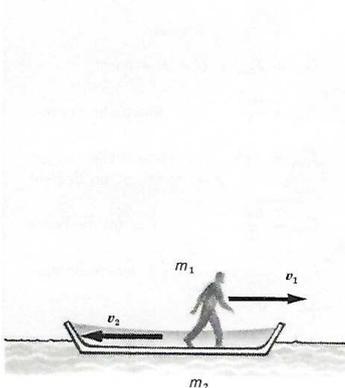
$$\Delta E = W = F_{\parallel} \cdot s$$

Formeln

$$p = m \cdot v$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 \dots = p = \text{const}$$

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F = m \cdot a$$



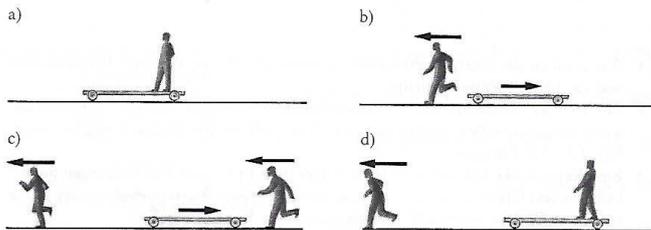
zu Aufg. 3

### Der Impulssatz

1. Betrachten Sie die abgedruckte Bilderfolge, und erklären Sie die dargestellten Verhältnisse mit dem Impulssatz.



2. Betrachten Sie die abgedruckte Bilderfolge, und erklären Sie die dargestellten Verhältnisse mit dem Impulssatz.



3. Der Mann im Boot:

- Was geschieht mit dem Boot, wenn der Mann stehenbleibt?
- Welche Arbeit verrichtet der Mann, wenn er sich nach rückwärts in Bewegung setzt, so daß das Boot mit der Geschwindigkeit  $v_2$  nach vorwärts fährt?

+ 4. Lösen Sie die beiden Gleichungen, welche den geraden elastischen Stoß beschreiben, nach den Unbekannten  $v'_1$  und  $v'_2$  auf:

$$\left. \begin{aligned} m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 &= m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2 \\ m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1' + m_2 v_2' \end{aligned} \right\} \text{ Stoß auf ruhenden Körper}$$

5. Eine Kugel der Masse  $m_1$  stößt zentral und elastisch auf eine ruhende Kugel der Masse  $m_2$ . In welcher Richtung bewegt sich die stoßende Kugel nach dem Stoß, a) wenn  $m_1 > m_2$  ist, b) wenn  $m_1 < m_2$  ist?

+ 6. Ein Güterwagen (Masse  $m_1$ , Geschwindigkeit  $v_1$ ) stößt elastisch gegen einen ruhenden Güterwagen der Masse  $m_2 = 14$  t. Die Geschwindigkeiten der beiden Wagen nach dem Stoß betragen  $v'_1 = 0,2$  m/s und  $v'_2 = 2$  m/s.

- Welche Masse hat der stoßende Güterwagen?
- Wie groß war die Geschwindigkeit dieses Wagens vor dem Stoß?

+ 7. Lösen Sie die beiden Gleichungen, welche den geraden unelastischen Stoß beschreiben, nach den Unbekannten  $v'$  und  $U'$  auf:

$$\left. \begin{aligned} (m_1 + m_2)v'^2 + 2U' &= m_1 v_1^2 + 2U \\ (m_1 + m_2)v' &= m_1 v_1 \end{aligned} \right\} \text{ Stoß auf ruhenden Körper}$$

8. Ein Straßenbahnwagen von 4,5 t Masse fährt mit  $v_1 = 2$  m/s gegen einen ruhenden Wagen von 2,5 t Masse, wobei die Kupplung sofort einklinkt. Mit welcher gemeinsamen Geschwindigkeit fahren die Wagen weiter, wenn die Bremsen geöffnet sind?

9. Zwei Fahrzeuge von gleicher Masse  $m$  prallen gegeneinander in der Weise, daß a) beide Fahrzeuge mit der gleichen Geschwindigkeit aufeinanderfahren, b) ein Fahrzeug mit der Geschwindigkeit  $2v$  gegen ein ruhendes fährt.

Die Fahrzeuge sollen sich während des Stoßes ineinander verkeilen. Stellen Sie für beide Fälle den Impulssatz und den Energiesatz auf, und berechnen Sie die Geschwindigkeit der Fahrzeuge nach dem Stoß sowie die Zunahme der inneren Energie.

+ 10. Warum läßt sich ein Gashahn plötzlich, ein Wasserhahn nur allmählich zudrehen? Anleitung:

Was würde beim plötzlichen Zudrehen eines Wasserhahns geschehen?

11. Ein Ball ( $m_1 = 0,5$  kg) fliegt mit  $v_1 = 20$  m/s in die Arme des in lotrechter Richtung hochgesprungenen Torwartes ( $m_2 = 75$  kg).

- Welcher Impuls wird dadurch auf den Torwart übertragen?
- Mit welcher Geschwindigkeit fliegt der Torwart nach rückwärts?
- Welche Kraft wirkt auf den Torwart, wenn er den Ball innerhalb einer Zehntelsekunde abfängt?

12. Welcher Rückstoßkraft muß ein Feuerwehrmann standhalten, wenn er ein Rohr hält, aus dem in der Sekunde 8 l Wasser mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s strömen?

+ 13. Ein Astronaut ( $m_1 = 75$  kg) besitzt eine Rückstoßpistole, deren Treibgase mit 150 m/s ausströmen. In der Sekunde werden 50 g Treibgas ausgestoßen.

- Welche Kraft wirkt auf den Astronauten?
- Welche Beschleunigung erfährt der Astronaut?
- Welche Geschwindigkeit erreicht er nach 2 s?



zu Aufg. 11

## Die Rotationsbewegung

1. Klassifizieren Sie die in der Abbildung dargestellten Bewegungsformen.
2. Zwischen dem Gradmaß und dem Bogenmaß besteht der Zusammenhang

$$\varphi = \frac{2\pi}{360} \cdot \varphi.$$

- a) Beweisen Sie diese Umrechnungsformel.
  - b) Wieviel Radiant hat ein Winkel von einem Grad?
  - c) Wieviel Grad hat ein Winkel von einem Radiant?
3. Wie groß sind die Winkelgeschwindigkeiten des Sekundenzeigers, des Minutenzeigers und des Stundenzeigers einer Uhr?
  4. Die Erde rotiert in ca. 24 Stunden um ihre Achse und läuft in ca. 365 Tagen um die Sonne.
    - a) Mit welcher Winkelgeschwindigkeit rotiert die Erde?
    - b) Mit welcher Winkelgeschwindigkeit läuft sie um die Sonne?
    - c) Mit welcher Bahngeschwindigkeit bewegt sich der Erdmittelpunkt?
  5. Welcher Zusammenhang besteht bei der gleichförmigen Rotationsbewegung zwischen der Winkelgeschwindigkeit und der Umlaufzeit?
  6. Eine Turbine erreicht bei gleichmäßiger Beschleunigung zwei Minuten nach dem Anlaufen eine Drehzahl von 8000 Umdrehungen pro Minute.
    - a) Mit welcher Winkelgeschwindigkeit läuft die Turbine?
    - b) Welche Winkelbeschleunigung besaß die Turbine während der Anlaufzeit?

Formeln

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{v}{r}$$

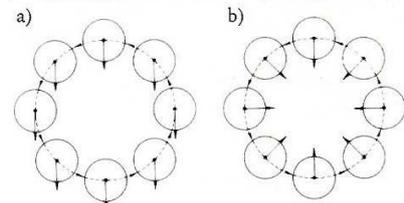
$$\alpha = \alpha_0 \rightarrow \omega = \alpha_0 \cdot t \rightarrow \varphi = \frac{1}{2} \alpha_0 \cdot t^2$$

$$a_s = \frac{m_1 a_1 + m_2 a_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots}$$

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots$$

$$E_R = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$M = I \cdot \alpha$$



zu Aufg. 1

## Lösungen zu den Übungsbeispielen

### Die Materie

- Atom  
Apfel  
Jupiter  $\approx$
- $1,6 \cdot 10^5$
- 0,5 m
- a)  $10^{21}$  b) 100 Mio km
- $1 \text{ cm}^3$
- $M = 17, m = 2,8 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
- a)  $7,6 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  b)  $10^{22}$
- $m_H = 4 \text{ g}, m_{O_2} = 32 \text{ g}$
- 160 kg
- $N_2O, NO, N_2O_3, NO_2, N_2O_5$

### Gleichförmige Bewegung

- 1327,5 m
- 8 h 45 min
- 8 min 20 s
- 10 min 43 s
- 14,4 s und 360 m
- 80 min
- 755 km/h
- ca. 30 km/s; ca. 2,6 Mio km
- $3,75 \cdot 10^8 \text{ m}$
- Nach 3 h in der Mitte
- 7,5 m/s und 900 m
- $v = 17,5 \text{ m/s}$  ...  
gleichförmige Bewegung
- $v = -13,4 \text{ m/s}$   
 $t = 12,5 \text{ s}$   
 $s = 64,32 \text{ km}$

### Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

- 30 m/s; 225 m
- $0,25 \text{ m/s}^2$ ; 50 m
- $4 \text{ m/s}^2$ ; 72 km/h
- 1000 m/s
- 432 km/h und  $2,4 \text{ m/s}^2$
- 28,8 s und  $0,96 \text{ m/s}^2$
- 25,83 s
- 493,84 m

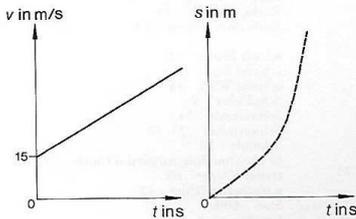
$$9. s_R = v \cdot t = v \text{ (km/h)} \cdot \frac{1000}{3600} \cdot 1 = \frac{3}{10} \cdot v \text{ (km/h)}$$

$$s_B = v^2/2a = \frac{1}{8} \left( \frac{3}{10} \cdot v \text{ (km/h)} \right)^2 = \left( \frac{1}{10} \cdot v \text{ (km/h)} \right)^2$$

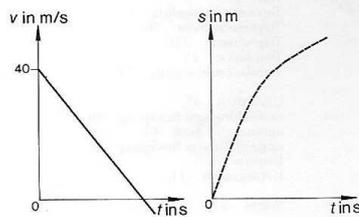
10. Der Anhalteweg wächst sehr viel rascher als die Geschwindigkeit.

$$11. 1,62 \text{ m/s}^2$$

$$12. v = 0,4 \cdot t + 15 \text{ (m/s)} \quad s = 0,2 \cdot t^2 + 15 \cdot t \text{ (m)}$$



$$13. v = -0,5 \cdot t + 40 \text{ (m/s)} \quad s = -0,25 \cdot t^2 + 40 \cdot t \text{ (m)}$$



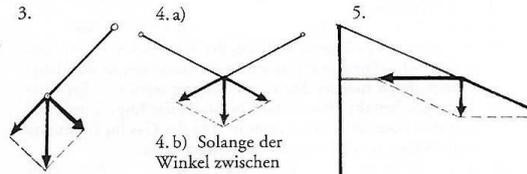
$$14. 168 \text{ m}$$

### Fall, Wurf- und Kreis-Bewegung

- d) 1 : 4 : 9 : 16 : 25 b) 1 : 3 : 5 : 7 : 9 c) 1 : 2 : 3 : 4 : 5
- 7,7 s; 279 km/h
- 320 m; Luftwiderstand und Schallausbreitung vernachlässigt
- $28 \text{ m/s}^2$
- 2000 m
- 37 845 m; reicht
- 125 m
- 322 km/h
- 2,8 km/s und 5 min
- 180 m, ca. 2 km
- 38,89 m; 112 km/h
- 9317 m
- 1000 m/s;  $0,0026 \text{ m/s}^2$
- $464,2 \text{ m/s}^2$ ;  $1857 \text{ m/s}^2$

### Die Kraft

- Wenn sich das Kräftepolygon von selbst schließt, verschwindet die Resultierende aller Kräfte. Die Kräfte halten einander das Gleichgewicht.
- Er bewegt sich nicht, oder mit gleichbleibender Geschwindigkeit.



- 875 N
- $G = 10 \text{ N}$   $m_E = 1 \text{ kg}$   
 $m_M = 6 \text{ kg}$

- $x_E = 60 \text{ mm}; x_M = 10 \text{ mm}$
- $k = 10 \text{ N/m}; x = 8 \text{ cm}; m = 30 \text{ g}$
- 3600 N
- $1 \text{ m/s}^2; 900 \text{ N}$
- $4 \cdot 10^5 \text{ m/s}^2; 4000 \text{ N}$
- 5,48 m/s;  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}^2; 4500 \text{ N}$
- $463 \text{ m/s}^2; 23 \text{ 150 N}$
- $F = m \cdot a; 0,5 \text{ m/s}^2; 5 \text{ m/s}; 25 \text{ m}$
- $m \cdot a = F - m \cdot g; 10 \text{ m/s}^2; 30 \text{ m/s}; 45 \text{ m}$
- $(m_1 + m_2) \cdot a = m_2 \cdot g - 1,67 \text{ m/s}^2; 10 \text{ m/s}; 30 \text{ m}$
- $(m_1 + m_2) \cdot a = m_2 \cdot g - f \cdot m_1 \cdot g; 2 \text{ m/s}^2; 10 \text{ m/s}; 25 \text{ m}$
- $(m_1 + m_2) \cdot a = (m_2 - m_1) \cdot g; 0,04 \text{ m/s}^2; 0,4 \text{ m/s}; 2 \text{ m}$
- $v = 12 \pi \text{ m/s}; a = 480 \pi^2 \text{ m/s}^2; F = 0,48 \pi^2 \text{ N}$
- $v = 463,2 \text{ m/s}; a = 0,034 \text{ m/s}^2; F = 0,034 \text{ N}$
- $v = 30 \text{ m/s}; T = 6 \pi \text{ s}$
- $v = 5 \text{ m/s}; t = 2,8 \text{ m}$
- $v = 3,16 \text{ m/s}; F = 10 \text{ N}$
- $v = 24,5 \text{ m/s}; \text{nein}$

### Arbeit und Leistung

- 562,5 J
- $2 \cdot 10^9 \text{ J}$
- $2 \cdot 6 \cdot 10^5 \text{ J}$
- 66,67 N
- 320 000 J wird abgegeben an Wagen u. Umgebung
- $1,76 \cdot 10^6 \text{ J}$
- 0
- 1 PS = 750 W
- 750 W; 7500 J
- $10^7 \text{ kW}$
- a)  $0,96 \text{ m/s}^2$  b) 864 N c) 4,3 kW; 8,7 kW  
und 17,3 kW d) 21,6 kW
- 1500 W
- 10 kW
- 178,6 W

### Das Energieprinzip

- $9 \cdot 10^{13} \text{ J}$
- 480 m/s
- 1570,8 J
- 250 m; 70,7 m/s
- nein; 1 : 3
- a) 88 km/h b) 62 km/h
- a) 50 km/h b) 10 m
- 6 m
- a) 0,4 J b) 2 m
- 56,25 J; 11,25 m
- a) 2000 J b) 2000 J c) 200 m d) 20 s
- a)  $s_b = \frac{v_0^2}{2fg}$  b) 1 : 4; nein c)  $v_0 = \sqrt{2fg s_b}$
- a) 1500 J b)  $U = 1400 \text{ J}$  c) Hände werden heiß
- a)  $F_E = 600 \text{ N}, F_M = 100 \text{ N}$  b) 600 J c) 6 m

### Der Impulssatz

1. Impuls des Mannes ist konstant
2. Impuls des Wagens = Impuls des Mannes 2
3. a)  $v_2 = 0$       b)  $W = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 (1 + m_2 / m_1)$
4. Siehe Buch Seite 61!
5. a) gleiche Richtung      b) entgegengesetzt
6.  $m_1 = 17\,500 \text{ kg}$ ;  $v_1 = 1,8 \text{ m/s}$
7. Siehe Buch Seite 62!
8.  $v' = 1,28 \text{ m/s}$
9. a)  $v' = 0$ ,  $U' - U = mv^2$       b)  $v' = v$ ,  $U' - U = mv^2$
10. Die schlagartige Impulsänderung des Wassers bei einer plötzlichen Schließung des Wasserhahnes würde wegen der dabei entstehenden riesigen Kräfte die Leitung zerstören. Bei Gasleitungen besteht diese Gefahr nicht, da der Impuls des strömenden Gases sehr viel kleiner ist und das Gas im Gegensatz zum Wasser zusammengedrückt werden kann.
11. a)  $p_1 = 10 \text{ kg m/s}$       b)  $v' = 0,13 \text{ m/s}$       c)  $F = 97,5 \text{ N}$
12.  $160 \text{ N}$
13. a)  $7,5 \text{ N}$       b)  $0,1 \text{ m/s}^2$       c)  $0,2 \text{ m/s}$
14. a)  $100 \text{ kg/s}$       b)  $20 \text{ m/s}^2$       c)  $50 \text{ s}$

### Das Gleichgewicht

1.  $800 \text{ N}$
2.  $50\,000 \cdot \pi \text{ N}$
3.  $200 \text{ N}$
4.  $240 \text{ N}$
5.  $400 \text{ N}$
6.  $F = G \cdot r / 2 \cdot R \cdot z$
7. a)  $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$       b)  $M_1 / M_2 = r / R$

### Die Rotationsbewegung

1. a) Translations      b) Rotation um den Kreismittelpunkt
2. b)  $1^\circ = 0,0175 \text{ rad}$       c)  $1 \text{ rad} = 57,29^\circ$
3.  $0,1 \text{ rad/s}$ ;  $0,0017 \text{ rad/s}$ ;  $0,000145 \text{ rad/s}$

4. a)  $7,27 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$       b)  $0,02 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$       c)  $30 \text{ km/s}$
6. a)  $838 \text{ rad/s}$       b)  $7 \text{ rad/s}^2$
7. a)  $419 \text{ rad/s}$       b)  $-52 \text{ rad/s}^2$       c) 267 Umdrehungen
9. a)  $8 \text{ kg m}^2$       b)  $2 \text{ kg m}^2$       c)  $1,6 \text{ kg m}^2$       d)  $2,5 \text{ kg m}^2$
10. a)  $0,5 \text{ rad/s}^2$       b)  $10 \text{ rad/s}$
12. a)  $2,7 \cdot 10^{33} \text{ J}$       b)  $2,6 \cdot 10^{29} \text{ J}$
13.  $1,14 \cdot 10^{36} \text{ J}$
14. c)  $10 \text{ rad/s}$       d)  $2 \text{ m/s}$

### Der Drehimpulssatz

1. Nach Einleitung der Pirouette die Arme anziehen.
2. Um eine größere Winkelgeschwindigkeit zu bekommen.
3. a) Der Schemel bleibt in Ruhe.  
b) Der Schemel setzt sich relativ zur Erde in Rotation und rotiert in derselben Richtung, wie die Erde umläuft.
4. a)  $\omega' = \frac{I_1}{I_1 + I_2} \cdot \omega_1$       b)  $U' - U = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{I_1 + I_2} \cdot \omega_1^2$
5.  $L = I \cdot \omega$       Einheit:  $(\text{kg} \cdot \text{m}^2) \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $M = r \times F$   
Einheit:  $\text{m} \cdot (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
6. a) Weil der Drehimpuls erhalten bleiben muß, rotiert der Schemel nach der Kippbewegung in der Richtung wie der Kreisel vor der Kippbewegung.  
b) Der Drehimpuls des Kreisels sucht sich während der Kippbewegung zum angreifenden Drehmoment parallel zu stellen und setzt dadurch den Schemel in Rotation.
7. Die Regel vom gleichsinnigen Parallelismus führt zu folgendem Resultat:  
a) Weil der Kreisel durch sein Gewicht nach unten gezogen wird, erfolgt die Präzessionsbewegung im Gegenuhrzeigersinn.  
b) Weil der Kreisel durch die Kraft des Magneten aufgerichtet wird, erfolgt die Präzessionsbewegung im Uhrzeigersinn.

# A.3. Schwingungen und Wellen, Wärmelehre, Optik

## Teilchenbewegung und Gasgesetze

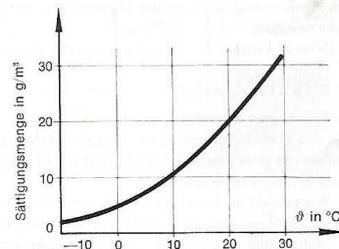
Formeln	
$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta T$ ..... Längen- ausdehnung	$p = \frac{T}{T_0} \cdot p_0$ ..... Gay-Lussac
$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \cdot \Delta T$ ..... Volums- ausdehnung	$p \cdot V = N \cdot k \cdot T$ ... Zustands- gleichung
$p = \frac{F}{A}$	$E_k = \frac{3}{2} N k T$
	rel. Feuchtigk. = $\frac{\text{abs. Feuchtigk.}}{\text{Sättigungsmenge}}$

- Die Tabelle gibt die Längenänderung 1 m langer Stäbe bei einer Erwärmung um 1 °C an.
  - Warum armiert (verstärkt) man Beton mit Eisenstäben und nicht mit Kupferstäben?
  - Warum stellt man genaue Bandmaße aus der Speziallegierung »Invar« her?

Material	Längenänderung in mm
Aluminium	0,024
Messing	0,019
Kupfer	0,017
Eisen	0,012
Beton	0,012
Glas	0,009
Platin	0,009
Invar	0,002
Quarzglas	0,001

- Jemand behauptet, daß der Eiffelturm genau 300,137 m hoch ist. Kann diese Angabe sowohl im Sommer wie auch im Winter korrekt sein? Um wieviel verändert sich die Höhe des aus Eisen gebauten Eiffelturmes, wenn die Temperatur um 50 °C ansteigt?
- Zwischen benachbarten Masten einer Überlandleitung liegt ein Abstand von 100 m. Wie lang muß der Aluminiumdraht zwischen den Masten im Sommer sein, damit er im Winter nicht reißt? Die höchste im Sommer auftretende Temperatur sei 40 °C, die tiefste Temperatur im Winter -30 °C.
- Unter dem Volumenausdehnungskoeffizienten  $\gamma$  einer Substanz versteht man das Verhältnis der Volumenzunahme  $\Delta V$ , die bei einer Erwärmung um  $\Delta T = 1$  °C auftritt zum ursprünglichen Volumen  $V$ . Versuchen Sie diese Definition durch eine Formel darzustellen.
- Ein Quecksilberthermometer enthält bei 0 °C eine Quecksilbermenge von 0,4 cm<sup>3</sup>. Welchen Durchmesser muß die Kapillare haben, damit ein Temperaturanstieg um 1 °C ein Ansteigen der Quecksilbersäule um 1 mm entspricht? (Für Quecksilber ist  $\gamma = 2 \cdot 10^{-4}$  /°C; die Ausdehnung des Glases darf vernachlässigt werden.)
- Der Benzin tank eines Autos faßt 120 l. Er wird an einem kalten Morgen bei einer Temperatur von 2 °C bis zum Rand gefüllt. Wieviel Benzin fließt aus, wenn die Temperatur tagsüber auf 30 °C ansteigt? (Für Benzin ist  $\gamma = 8 \cdot 10^{-4}$  /°C.)
- Während einer Unterrichtsstunde steigt die Temperatur im Klassenraum von 18 °C auf 21 °C. Die Abmessungen des Raumes seien 12 m x 5 m x 4 m. Wieviel Luft erwärmt?

- Ein Autoreifen weist einen Überdruck (gegenüber dem äußeren Luftdruck) von 2 bar auf.
  - Wie groß ist die Dichte der Luft im Reifen? (Normale Luftdichte 1,3 kg/m<sup>3</sup>.)
  - Die Auflagefläche der vier Reifen eines Autos auf der Straßenoberfläche sei 0,05 m<sup>2</sup>. Wie hoch darf die Masse des von diesen Reifen getragenen Autos sein?
- Der Überdruck in einem Autoreifen beträgt an einem kühlen Morgen (Außentemperatur 0 °C) 2 bar. Nach einer raschen Fahrt erhitzt sich der Reifen auf 50 °C.
  - Welcher Überdruck herrscht bei dieser Temperatur?
  - Ohne die Abkühlung des Reifens abzuwarten wird der Überdruck wieder auf 2 bar reduziert. Welcher Druck stellt sich nach der Abkühlung des Reifens ein?
- Eine zylindrische Gasflasche mit einem Innendurchmesser von 20 cm und einer Höhe von 1 m enthält Stickstoff mit einem Druck von 100 bar.
  - Wie groß ist die Kraft auf die Bodenfläche der Flasche?
  - Welcher Druck herrscht in der Flasche, nachdem die Hälfte des Stickstoffes ausgeströmt ist?
- Eine Gasflasche mit einem Innendurchmesser von 20 cm und einer Höhe von 1 m enthält bei einer Temperatur von 273 K Stickstoff mit einem Druck von 100 bar.
  - Wieviele Stickstoffmoleküle enthält die Flasche?
  - Wie groß ist die Masse dieses Gases? (Die relative Molekülmasse von Stickstoff ist 28.)
- Wir betrachten Luft mit einer Temperatur 273 K und einem Druck 1 bar.
  - Wieviele Moleküle enthält 1 m<sup>3</sup> Luft bei diesen Normalverhältnissen?
  - Wie groß ist die gesamte kinetische Energie der in einem Kubikmeter enthaltenen Luftmoleküle?
- Eine 10 cm dicke Eisschicht auf einem See wird durch Sonnenstrahlung geschmolzen. Die an einem sonnigen Wintertag einfallende Sonnenenergie betrage 4 kWh/m<sup>2</sup>. Davon werden 20% von der Eisfläche absorbiert, der Rest wird zurückgestrahlt. Wie viele Sonnentage sind erforderlich, um das Eis zu schmelzen (Dichte von Eis 900 kg/m<sup>3</sup>).
- Bei einer Außentemperatur von 0 °C beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 50%.
  - Entnehmen Sie dem Diagramm die absolute Feuchtigkeit.
  - Welche relative Feuchtigkeit herrscht in einem geheizten Zimmer mit einer Temperatur von 20 °C, falls der Außenluft unter den obigen Verhältnissen keine zusätzliche Feuchtigkeit zugeführt wird?
  - Wieviel Wasser muß in dem geheizten Raum mit den Ausmaßen 4 m x 5 m x 3 m verdunsten, um die relative Feuchtigkeit wieder auf 50% anzuheben?



## Wärme und Energie

Formeln	
spez. Wärme = Wärmemenge, die 1 kg des Stoffes um 1 Grad erwärmt. Tabelle siehe Text!	$W = p \cdot \Delta V$
$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$ (Druck sei konstant!)	$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \eta = \frac{W}{Q}$
Heizwert = Energie pro Kilogramm Substanz bei Verbrennung abgegeben. Tabelle siehe Text!	$\Delta U = W + Q$

- In einem Haushalt werden täglich 200 l Warmwasser benötigt. Dieses Wasser muß im Mittel um 30 °C erwärmt werden. Wieviel Energie ist dazu monatlich erforderlich?
- Der Golfstrom transportiert in jeder Sekunde rund  $10^9 \text{ m}^3$  Wasser an die Küsten Europas. Seine Temperatur ist im Winter um ungefähr 10 °C höher als die Temperatur des übrigen Meerwassers.
  - Wieviel zusätzliche Energie transportiert der Golfstrom sekundlich nach Europa?
  - Wie viele Großkraftwerke mit jeweils 1 GW wären erforderlich, um die gleiche Leistung zu erbringen?
- Ein Schwimmbad mit der Grundfläche 4 m x 8 m und der Tiefe 2 m kühlt in jeder Nacht um 1 °C ab und wird tagsüber wieder aufgeheizt.
  - Wie viele Kilowattstunden elektrischer Energie sind dazu erforderlich?
  - Wieviel Wasser muß in einem Wasserwerk eine Höhe  $h = 100 \text{ m}$  durchfallen, um die täglich für die Schwimmbadheizung benötigte Energie bereitzustellen?
- Ein Eisentopf mit 1 l Inhalt hat eine Masse von 0,5 kg. Der wassergefüllte Topf wird erhitzt. Welcher Bruchteil der aufgewendeten Energie ist dabei zur Erwärmung des Topfes bzw. des Wassers erforderlich?
- Ein Radfahrer durchfährt einen Höhenunterschied von 200 m.
  - Welche innere Energie wird dabei der Bremse zugeführt, wenn die Masse des Radfahrers 100 kg beträgt?
  - Wie heiß wird die Bremse (Masse 1 kg), wenn nur 50% der inneren Energie als Wärme an die Umgebung abgeführt werden können?
- In einem Wasserfall stürzt das Wasser über eine Höhendifferenz von 20 m. Welche Temperaturerhöhung zeigt das Wasser, wenn seine gesamte Bewegungsenergie beim Aufprall in innere Energie umgewandelt wird?
- Vergleichen Sie die Preise von Braunkohle, Steinkohle, Heizöl und Benzin mit dem Heizwert dieser Brennstoffe.
  - Wie hoch sind die Kosten einer Kilowattstunde in jedem Fall?
  - Wie hoch sind diese Kosten im Vergleich zu elektrischer Energie?
  - Wie hoch sind die Kosten von Nahrungsmitteln, wenn Sie diese ebenfalls pro Kilowattstunde berechnen?
- Ein Großraumflugzeug mit der Masse  $m = 2 \cdot 10^5 \text{ kg}$  steigt auf seine Reiseflughöhe  $h = 10\,000 \text{ m}$ .
  - Wieviel Energie ist erforderlich, um das Flugzeug in diese Höhe zu heben?
  - Wieviel Benzin wird dazu benötigt?
- Im Kessel einer Dampfmaschine herrscht bei einer Temperatur von 230 °C ein Druck von 30 bar. Bei jedem Arbeitstakt wird ein Kolben mit einer Fläche  $0,2 \text{ m}^2$  durch die Wirkung des Dampfdruckes um 0,4 m verschoben.
  - Wie groß ist die bei einem Arbeitstakt verrichtete Arbeit?
  - Welche Leistung weist die Dampfmaschine auf, wenn pro Minute (nicht pro Sekunde!) 600 Arbeitstakte erfolgen?
- Im Typenschein eines Kraftwagens ist zumindest der »Hubraum« angegeben. Man versteht darunter das Volumen, das die Kolben des Motors bei einem Arbeitstakt zusammengenommen überstreichen. Welche Bedeutung hat diese Angabe?
- Ein Kraftwagen weist einen Hubraum von  $2\,000 \text{ cm}^3$  auf. Während des Arbeitstaktes herrschte im Zylinder ein mittlerer Druck von 15 bar.
  - Welche Arbeit verrichtet der Motor bei einer Umdrehung?
  - Welche Leistung vollbringt der Motor bei 3 000 Umdrehungen pro Minute?
- Um eine Höchstgeschwindigkeit 150 km/h zu erzielen, ist die volle Motorleistung von 10 kW eines Kraftwagens erforderlich. Wieviel Benzin (Heizwert 12 kWh/kg) werden für 100 km benötigt, wenn der Motor einen Wirkungsgrad von 25% aufweist?
- Der Temperaturunterschied zwischen den oberen (25 °C) und tieferen (4 °C) Schichten des Meerwassers soll zur Erzeugung elektrischer Energie verwendet werden.
  - Wie hoch ist der thermodynamische Wirkungsgrad bei dieser Energiezeugung?
  - Wieviel Kubikmeter Wasser werden pro Sekunde benötigt, um eine elektrische Leistung von 1 GW zu erreichen?
- Jemand behauptet, daß es nicht sinnvoll sei, Gas mit einer Flammentemperatur von 1 500 °C zur Erzeugung von Warmwasser mit einer Temperatur von 40 °C zu verwenden. Nehmen Sie dazu Stellung!
- Mit Sonnenenergie kann man Wasser ohne Schwierigkeiten auf 40 °C erwärmen. Jemand schlägt vor, dieses Warmwasser zum Betrieb einer Wärmekraftmaschine zu verwenden. Welchen Wirkungsgrad könnte man dabei bestenfalls erreichen, wenn die Umgebungstemperatur 20 °C beträgt?
- Ein Wärmekraftwerk benützt Dampfturbinen zur Erzeugung elektrischer Energie. Die Arbeitstemperatur beträgt 500 °C, die Abgastemperatur 30 °C.
  - Welchen thermodynamischen Wirkungsgrad weist dieses Kraftwerk auf?
  - Um wieviel verschlechtert sich der Wirkungsgrad, wenn die Abgastemperatur auf 70 °C hinaufgesetzt wird?
- Ein Wärmekraftwerk habe den Wirkungsgrad 0,30 und eine Nutzleistung von 1 GW.
  - Welche Abwärme wird an die Umwelt abgegeben?
  - Diese Abwärme soll von einem Fluß aufgenommen werden, dessen Wasser um nicht mehr als 2 °C erwärmt werden darf. Welche Wasserführung (in  $\text{m}^3/\text{s}$ ) muß der Fluß zumindest aufweisen?
- Jemand schlägt vor, die Abwärmtemperatur des im vorigen Beispiel betrachteten Kraftwerks auf 70 °C hinaufzusetzen. Dadurch verringert sich der Wirkungsgrad des Kraftwerks um rund 5%. Die entstehende Abwärme kann nun aber in ein Fernheiznetz eingespeist werden. Erscheint Ihnen die Verringerung der Erzeugung elektrischer Energie oder die Möglichkeit der Nutzung von Abwärme wesentlicher?
- Um 1 kg Wasser zu verdunsten, sind rund 0,5 kWh erforderlich.
  - Wieviel Wasser kann jährlich pro Quadratmeter der Erdoberfläche verdunstet werden, wenn dazu 23% der eingestrahelten Sonnenenergie aufgewendet werden?
  - Welcher Bruchteil der zur Verdunstung erforderlichen Energie wird benötigt, um das Wasser in eine Wolkenhöhe von 5 000 m zu heben?
- Welche kinetische Energie weist das Windsystem der Erde etwa auf? Nehmen Sie dazu an, daß die Erdatmosphäre eine Höhe von 10 000 m und eine einheitliche Dichte von  $1,3 \text{ kg/m}^3$  aufweist. Die mittlere Windgeschwindigkeit sei 10 m/s.
- Der Nährwert des Getreides, das jährlich auf 1  $\text{m}^2$  guten Ackerbodens gewonnen werden kann, beträgt 2 kWh. Welcher Bruchteil der einfallenden Sonnenstrahlen wird in nutzbare Energie der Nahrungsmittel umgesetzt? Nehmen Sie dazu an, daß in Mitteleuropa während des Sommers täglich rund 5 kWh eingestrahlt werden. Nehmen Sie an, dass die Zeit, in der das Getreide wächst, 5 Monate im Jahr sind.

22. In hochindustrialisierten Staaten liegt der tägliche Energiebedarf einer Person bei rund 250 kWh. Diese Energie wird fast vollständig in Abwärme umgewandelt. Wie viele Menschen dürfen höchstens auf einem Quadratkilometer Landfläche leben, damit die von ihnen erzeugte Abwärme nicht mehr als 3% der eingestrahelten Sonnenenergie beträgt? Legen Sie Ihrer Rechnung die mittlere tägliche Sonneneinstrahlung für Mitteleuropa von 5 kWh im Sommer und 1 kWh im Winter zugrunde.
23. Ein Schwimmbecken mit den Maßen 3 m x 8 m x 1 m soll mit Sonnenenergie geheizt werden. Um die Energieverluste durch Wasserverdunstung und Wärmeabgabe an die Umgebung auszugleichen, muß das Wasser täglich zumindest um 0,5 °C erwärmt werden. Welche Fläche an Sonnenkollektoren ist erforderlich, um dies zu erreichen? Legen Sie Ihrer Rechnung eine mittlere tägliche Sonneneinstrahlung von 5 kWh und einen Wirkungsgrad von 20% des Heizsystems zugrunde.
24. In einem mit Sonnenenergie geheizten Haus wird ein Schwimmbecken mit den Maßen 3 m x 8 m x 1 m als Energiespeicher benützt, um die Heizung auch während kürzerer Schlechtwetterperioden aufrecht erhalten zu können.
- Wieviel Energie wird gespeichert, wenn das Wasser um 20 °C erwärmt wird?
  - Wie lange reicht diese Energie zur Heizung des Hauses aus, wenn die erforderliche Heizleistung 20 kW beträgt?
25. Ein Windkraftwerk weist einen Rotor mit einem Durchmesser von 20 m auf.
- Welche Luftmenge trifft auf die gesamte vom Rotor aufgespannte Fläche pro Sekunde, wenn die Windgeschwindigkeit 10 m/s beträgt? (Dichte der Luft 1,3 kg/m<sup>3</sup>.)
  - Der Rotor entziehe dem Wind 10% seiner kinetischen Energie. Wie groß ist die Leistung des Windkraftwerkes?
26. Der Energiebedarf der Welt steigt pro Jahr um rund 4%. Es wird manchmal behauptet, daß ein derartiger Anstieg erforderlich ist, um eine Wirtschaftskrise abzuwenden. Berechnen Sie, auf das Wievielfache der Energiebedarf nach 20, 50, 100, 200 Jahren ansteigt, falls diese Steigerungsrate aufrecht bleibt. Welche Schlüsse ziehen Sie aus diesen Ergebnissen?

### Hydro- und Aerostatik

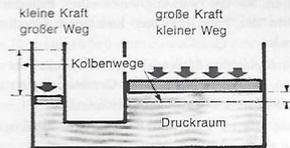
Formeln	
$p = \frac{F}{A}$	
$p = p_b + \rho g h$	..... Gesamtdruck
$p = \rho g h$	..... Gewichtsdruk
$F_A = \rho \cdot V_k \cdot g$	..... Auftrieb

- Der Kopf eines Reißnagels hat eine Fläche von 1 cm<sup>2</sup>. Der Querschnitt der Reißnagelspitze beträgt 0,1 mm<sup>2</sup>. Der Nagel werde mit einer Kraft von 10 N in ein Brett gepreßt.

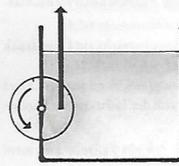
  - Wie groß ist der Druck am Kopf, wie groß an der Spitze des Nagels?
  - Wieso könnte man den Reißnagel als »Drucktransformator« bezeichnen?

- Die beiden Kolben einer hydraulischen Presse haben die Flächen A<sub>1</sub> = 5 cm<sup>2</sup> bzw. A<sub>2</sub> = 100 cm<sup>2</sup>.

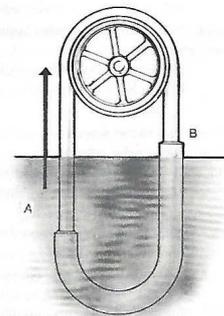
  - In welchem Verhältnis stehen die Kräfte F<sub>1</sub> und F<sub>2</sub>?
  - Ist die hydraulische Presse ein »Drucktransformator«?



- Welcher Druck herrscht in 10 000 m Meerestiefe? (Wasserdichte  $\rho = 1 025 \text{ kg/m}^3$ )
  - Welchen Gesamtdruck hat die Luft in der Schwimmblase eines Fisches, der im Meereswasser in 50 m Tiefe schwimmt? (Wasserdichte  $\rho = 1 025 \text{ kg/m}^3$ )
  - Unter welchem Druck muß die Preßluft eines Unterseebootes zumindest stehen, wenn sie noch in 200 m Tiefe das Wasser aus den Tauchtanks pressen soll?
  - Welche Dicke hätte die Lufthülle der Erde, wenn sie bei einem Druck von 1 bar am Meeresniveau überall die Dichte  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$  besäße?
  - Warum muß man mit Füllfederhaltern vorsichtig sein, wenn man sie auf hohe Berge mitnimmt?
  - Der innere Durchmesser eines Einsiedeglasses beträgt 90 mm. Mit welcher Kraft wird der Deckel auf das Glas gepreßt, wenn von innen der Dampfdruck des Wassers mit 0,02 bar und von außen der normale Luftdruck auf den Deckel drückt?
  - Otto von Guericke ließ für seine Versuche einen Kupferzylinder anfertigen, der sich mit einem beweglichen Kolben von 20 cm Radius dicht verschließen ließ. Beim Auspumpen wurde der Kolben von der Luft mit großer Kraft in den Zylinder gepreßt, so daß sich mit dieser Anordnung schwere Lasten heben ließen. Welche Kraft besaß die Anlage?
- ++10. a) Wie kommt die Zugwirkung eines hohen Schornsteins zustande?
- b) Weshalb weht im Sommer aus einer Eishöhle, die über einem langen Kamin noch einen zweiten Ausgang hat, ein heftiger, kalter Wind?
- Anleitung zu a)  
Die warme Luft im Schornstein hat eine geringere Dichte als die kalte Außenluft.  
Welchen Einfluß hat dies auf die Druckverhältnisse?
- Das Archimedische Prinzip gilt auch für Flüssigkeiten. Welche Beziehung muß zwischen den Dichten zweier Flüssigkeiten bestehen,
    - wenn die erste Flüssigkeit in der zweiten schweben soll,
    - wenn die erste Flüssigkeit in der zweiten aufsteigen soll?  - Ein Mann wiegt  $F = 700 \text{ N}$ . Die Luftdichte beträgt 1 kg/m<sup>3</sup>, und die Dichte des menschlichen Körpers liegt bei 1 000 kg/m<sup>3</sup>. Wie groß sind das Volumen, der Auftrieb und das wahre Gewicht des Mannes?
  - Gibt es im schwerelosen Weltraum einen hydrostatischen Auftrieb?
  - Die Abbildung zeigt ein Perpetuum mobile 1. Art. Ein Holzzyylinder kann sich in der Gefäßwand um eine waagrechte Achse drehen. Die Zwischenräume zwischen Wand und Zylinder sind gut abgedichtet. Füllt man in das Gefäß Wasser ein, so erfährt der Zylinder rechts einen Auftrieb, was zu einer ständigen Rotation Anlaß geben müßte. Warum rotiert er dennoch nicht?



Zu Aufgabe 14



Zu Aufgabe 15

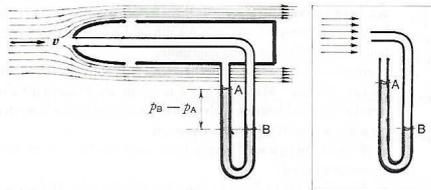
- +15. Die Abbildung auf S. 197 zeigt ein Perpetuum mobile 1. Art. Ein endloser Schlauch ist um das Rad gelegt und durchläuft ein U-Rohr, das bei A und B gut abgedichtet ist, so daß kein Wasser eindringen kann. Da der Schlauch nur auf der linken Seite einen Auftrieb erfährt, müßte er dort dauernd nach oben steigen und das Rad drehen. Wo liegt der Denkfehler?
16. Zwei gleich große Bechergläser sind bis zum Rand mit Wasser gefüllt. In einem Glas schwimmt ein Stück Holz. Was läßt sich über das Gewicht der gefüllten Gläser sagen?
- +17. In einem Wasserbecken schwimmt ein Kahn. Auf ihm befinden sich ein Mann, eine Korkkugel und ein Stein. Wie ändert sich der Wasserspiegel im Becken,  
a) wenn der Mann die Korkkugel ins Wasser wirft,  
b) wenn der Mann den Stein ins Wasser wirft?
18. Wie groß muß eine 5 cm dicke Eisscholle ( $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ) sein, damit sie einen Jungen von 40 kg gerade noch tragen kann? ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1025 \text{ kg/m}^3$ )
19. Warum schwimmt man im Meerwasser leichter als im Süßwasser?
- +20. Die Dichte von Eis beträgt ca.  $900 \text{ kg/m}^3$ . Wieviel Prozent vom Volumen eines Eisberges ragen etwa aus dem Wasser? ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1025 \text{ kg/m}^3$ )

### Strömungen

	Formeln
	$A_1 v_1 = A_2 v_2$
	$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h + p = \text{constant}$ ..... Bernoulli-Gleichung
	$v = \sqrt{2 \cdot \frac{p_1 - p_2}{\rho}}$ ( $\Delta p \gg \rho g h$ ) ..... Bunsensches Gesetz
	$v = \sqrt{2 g h}$ ( $\Delta p \ll \rho g h$ ) ..... Toricellisches Gesetz
	$v = \sqrt{2 g h + 2 \frac{p_1 - p_2}{\rho}}$
	allgemeines Gesetz für Strömung durch lotrecht Rohr

- Eine Wasserleitung mit einem Durchmesser von 6 cm leitet das Wasser mit ca. 8 m/s weiter. Durch Vorsetzen einer Düse soll die Ausströmgeschwindigkeit ca. 14 mal höher werden. Wie groß muß der Durchmesser der Düse sein?
- In einem Kessel befindet sich heißes Wasser und darüber Dampf von 100 bar. Mit welcher Geschwindigkeit strömt das Wasser aus, wenn plötzlich ein seitlicher Hahn mit waagrecht Rohrstück geöffnet wird? (Die Höhe des Wasserspiegels über dem Ausfluß kann vernachlässigt werden.)
- In der Rohrleitung eines Springbrunnens herrscht ein Überdruck von 5 bar.  
a) Mit welcher Geschwindigkeit strömt das Wasser aus der Düse?  
b) Wie hoch steigt das Wasser, wenn von der Luftreibung abgesehen wird?
- Von einem Stausee strömt Wasser durch ein Fallrohr zu einem 100 m tiefer gelegenen Kraftwerk hinab.  
a) Mit welcher Geschwindigkeit verläßt das Wasser die Leitung?  
b) Welche Wassermenge fließt bei einem Rohrdurchmesser von 0,5 m pro Sekunde aus?  
c) Welche Leistung kann daraus im günstigsten Fall gewonnen werden?
- Im Tauernkraftwerk Glockner-Kaprun wird dem Krafthaus Kaprun (781 m ü.d.M.) das Wasser über eine Druckrohrleitung aus dem Speicher Wasserfallboden (1600 m ü. d. M.) zugeleitet.

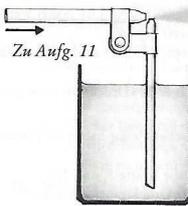
- Wie groß ist die potentielle Energie, die  $1 \text{ m}^3$  Wasser im Speicher Wasserfallboden relativ zum Krafthaus Kaprun besitzt?
  - Wieviel Wasser muß in einer Sekunde zum Krafthaus Kaprun hinunterfließen, damit dort die Turbinen eine Leistung von 220 MW haben?
6. Die Abbildung zeigt ein Prandtl'sches Staurohr.  
a) Beweisen Sie, daß bei A der Druck  $p_A = p$  und bei B der Druck  $p_B = \frac{1}{2} \rho v^2 + p$  auf die Wassersäule wirkt.  
b) Wie läßt sich mit dieser Vorrichtung die Strömungsgeschwindigkeit messen, wenn die Dichte des Mediums bekannt ist?



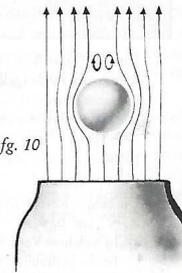
- Der Luftstrom eines Haartrockners ruft in einem Prandtl'schen Staurohr einen Druckunterschied von 5 mm Wassersäule hervor. Die Luftdichte beträgt  $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ . Welche Strömungsgeschwindigkeit hat die eintretende Luft?
- In einer Gasleitung ist ein Prandtl'sches Staurohr eingebaut. Es zeigt eine Druckdifferenz von 5 mm Wassersäule an. Die Gasdichte beträgt  $\rho = 0,6 \text{ kg/m}^3$ . Die Gasleitung hat einen freien Querschnitt von  $1 \text{ dm}^2$ .  
a) Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit des Gasstromes?  
b) Welche Gasmenge fließt pro Stunde durch das Rohr?
- Die Abbildung zeigt einen Ball, der von einem Luftstrom in Schwebe gehalten wird. Wieso ist das möglich?
- Die Abbildung zeigt einen Luftballon, der in einem lotrechten Luftstrom schwebt. Was geschieht, wenn man dem Ballon einen kleinen seitlichen Stoß versetzt?
- Die Abbildung zeigt einen Zerstäuber. Erklären Sie seine Wirkungsweise.
- Wieso wird der Vorhang einer Duschkabine nach innen gezogen, wenn die Brause läuft?



Zu Aufg. 9



Zu Aufg. 11



Zu Aufg. 10

- Erklären Sie die Wirkungsweise eines Fallschirms. Warum schwebt der Fallschirm mit konstanter Geschwindigkeit zu Boden?
- Regentropfen durchfallen häufig eine Strecke von vielen hundert Metern. Trotzdem beträgt ihre Geschwindigkeit in Bodennähe nur 2 bis 7 m/s. Wie ist das zu erklären?
- Warum fällt im luftgefüllten Raum eine Bleikugel rascher zu Boden als ein gleich großer Tischtennisball?



## Schallwellen und Akustik

Formeln	
$\lambda = c \cdot T = c/f$	
$f_B = f_Q (1 + v_B/c)$	Schallquelle ruht
$f_B = f_Q \cdot \frac{1}{1 - v_Q/c}$	Beobachter ruht
$f_k = c/\lambda_k$	Eigenfrequenzen ( $k = 0, 1, 2, \dots$ )

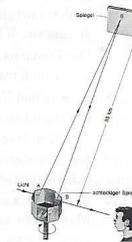
- Ein Arbeiter schlägt schräg von oben mit dem Hammer auf das Ende einer langen Eisenschiene. Wieviele Schläge hört ein am anderen Ende stehender Arbeiter, wenn ein eventuelles Echo außer Betracht bleibt?
- Wie kann man an der Zeit, die zwischen Blitz und Donner liegt, die Entfernung eines Gewitters abschätzen?
- Auf der Meeresoberfläche wird eine Sprengladung gezündet. Wie weit ist der Beobachter vom Explosionszentrum entfernt, wenn sich die Laufzeiten des Schalles in Luft und Wasser um 12 Sekunden unterscheiden?
- Die Schallwellen, die durch Sprache oder Musik hervorgerufen werden, liegen in einem Frequenzbereich von 50 bis 5 000 Hz. Welchem Wellenlängenbereich entspricht dies  
a) in Luft ( $c = 340 \text{ m/s}$ ), b) in Wasser ( $c = 1 480 \text{ m/s}$ )?  
Welche Wellenlängen ergeben sich insbesondere für 440 Hz?
- Eine Lochscheibe hat 30 Löcher in einer Reihe und macht 12 bzw. 15 bzw. 18 Umdrehungen pro Sekunde. Welche Frequenzen haben die entstehenden Töne, und welche Intervalle bilden sie?
- Das Ohr kann bei 3 000 Hz noch eine Schallintensität von ca.  $10^{-11} \text{ W/m}^2$  wahrnehmen. Wie weit könnte man demnach eine Schallquelle dieser Frequenz hören, wenn die Quelle mit 1,26 Watt Leistung Kugelwellen aussendet und der Schall von der Luft nicht absorbiert würde?
- Wie schnell muß sich ein Beobachter zur ruhenden Schallquelle hinbewegen, um eine Frequenzverdopplung festzustellen? Wie schnell muß sich die Quelle auf den ruhenden Beobachter zu bewegen, damit derselbe Effekt eintritt?
- Wie rasch müßte sich eine Schallquelle bewegen, damit für einen ruhenden Beobachter der Ton beim Vorbeifahren um eine Oktav tiefer wird?
- Am Rande einer Kreisscheibe ( $r = 40 \text{ cm}$ ) ist eine Schallquelle befestigt, die einen Ton der Frequenz  $f_Q = 440 \text{ Hz}$  aussendet. Zwischen welchen Frequenzen schwankt er für einen in der Scheibenebene in großer Entfernung sitzenden Beobachter, wenn die Scheibe mit 5 Umdrehungen pro Minute umläuft?
- Ein Zug fährt mit 72 km/h auf einen Tunnel zu und pfeift mit der Frequenz  $f_Q = 500 \text{ Hz}$ . Der Schall wird am Tunnelportal reflektiert.  
a) Welche Höhe hat der direkte Ton, und welche Höhe hat das Echo für einen zwischen Zug und Tunnel stehenden Beobachter?  
b) Welche Höhe hat der direkte Ton für diesen Beobachter, wenn der Zug vorbeigefahren ist?  
c) Welche Höhe hat das Echo für einen Reisenden im Zug?  
Anleitung:  
Man kann das Echo als Pfeifton einer mit 500 Hz pfeifenden und mit 72 km/h entgegenfahrenden Lokomotive auffassen. (Pfeifton des Spiegelbildes!)
- Eine Schallplatte dreht sich mit 33 Umdrehungen pro Minute. Die inneren Rillen haben einen Durchmesser von ca. 10 cm. Um eine befriedigende Klangwiedergabe zu erzielen, muß die Platte alle Frequenzen zwischen 20 und 16 000 Hz wiedergeben können. Wie lange sind die dazugehörigen harmonischen Wellen auf der Platte?
- Wie tief ist an einer Stelle das Meer, wenn dort bei der Echolotung 4 s nach Aussendung des Knalls das Echo empfangen wurde? ( $c = 1 480 \text{ m/s}$ )

- Das Ohr kann Schallempfindungen nur dann deutlich trennen, wenn ihr zeitlicher Abstand nicht unter einer Zehntelsekunde liegt. Wie weit muß eine Felswand mindestens entfernt sein, damit man ein deutliches Echo hören kann?
- Ein Blauwal ( $m = 120 000 \text{ kg}$ ) wird bis zu 30 m lang. Er kann mit einer Geschwindigkeit von ca. 20 km/h schwimmen. Die Sichtweite unter Wasser beträgt aber nur etwa 3 m.  
a) Man berechne die kinetische Energie des schwimmenden Wals.  
b) Mit welcher Geschwindigkeit müßte ein Auto ( $m = 900 \text{ kg}$ ) fahren, damit seine kinetische Energie die gleiche wäre?  
c) Welchen Schluß muß man ziehen, wenn man die geringe Sichtweite beachtet?
- Die Abmessungen eines Badezimmers betragen  $a = 2,35 \text{ m}$ ,  $b = 1,55 \text{ m}$  und  $b = 2,60 \text{ m}$ . Man betrachte jene stehenden Wellen, die sich parallel zu den Badezimmerkanten ausbilden können, und berechne die Frequenzen der Grundschwingung und der ersten fünf Oberschwingungen. Warum ist das Badezimmer ein guter Resonanzkörper für eine Männerstimme?
- Eine 1 m lange Stahlsaiten führt Transversalschwingungen aus. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit betrage 6 000 m/s. Man berechne die Frequenz der Grundschwingung und die Frequenz der 1. Oberschwingung.
- Eine Violine scheidet mit 440 Hz und wird in der Mitte angezupft.  
a) Welche Oberschwingungen fehlen in ihrem Klang?  
b) Welche Frequenz hat der 4. Oberton?
- Eine Violine scheidet hat eine Länge von 50 cm und schwingt mit 440 Hz. Wo muß die Saite niedergedrückt werden, damit die Frequenz auf 550 Hz ansteigt?

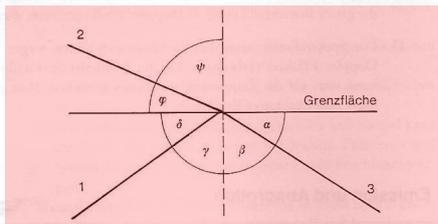
## Reflexion und Brechung

Formeln	
$\alpha = \alpha'$	Reflexion,
$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = n$	Brechung
$\frac{\sin \alpha_G}{\sin 90^\circ} = \frac{n_{\text{DUNN}}}{n_{\text{DICHT}}}$	Totalreflexion
$\sin \alpha_G = \frac{1}{n}$	(Übergang in Luft)

- Bei Fizeaus Zahnradmethode beträgt der Abstand zwischen Zahnrad und Spiegel  $L$  Meter. Das Zahnrad hat  $Z$  Zähne (also auch  $Z$  Lücken) und macht  $N$  Umdrehungen pro Sekunde, wenn die Lichtquelle das erste Mal unsichtbar wird.  
a) Wie läßt sich aus diesen Daten die Lichtgeschwindigkeit berechnen?  
b) Welcher Wert ergibt sich, wenn man folgende von Fizeau gemessene Zahlenwerte einsetzt?  
 $L = 8 633 \text{ m}$ ,  $Z = 720$  Zähne,  $N = 12,6$  Umdrehungen/s.
- Michelson ersetzte in der Fizeauschen Meßanordnung das Zahnrad durch einen achtseitigen Drehspiegel. Der gesamte Laufweg des Lichtes betrug  $ASB = 70 \text{ km}$ . Wie viele Umdrehungen muß der Drehspiegel pro Sekunde mindestens ausführen, damit Helligkeit beobachtet werden kann?



3. Zum Zweck einer geologischen Untersuchung wird an der Erdoberfläche eine Explosion ausgelöst. Die an der Erdoberfläche entlanglaufenden Druckwellen erreichen einen 2 km entfernten Beobachter nach 3 s. Eine zweite Druckwelle läuft in die Erde hinein und wird an der waagrecht Grenzfläche zu einer andersartigen, tiefer liegenden Schicht reflektiert. Sie erreicht den Beobachter um 0,6 s später. Wie dick ist die oberste Schicht?



4. Die Abbildung zeigt den Weg eines Lichtstrahls beim Übergang von Glas in Luft.
- Auf welcher Seite der Grenzfläche befindet sich das Glas?
  - Wo ist der einfallende, wo der reflektierte und wo der gebrochene Strahl?
  - Wo liegen Einfallswinkel, Reflexionswinkel und Brechungswinkel?
5. Wenn ein Beobachter durch ein kompliziertes Spiegelsystem die Augen einer anderen Person sieht, kann dann diese Person die Augen des Beobachters sehen?
6. Um welchen Winkel wird der Lichtzeiger eines Spiegelgalvanometers abgelenkt, wenn sich der Spiegel um den Winkel  $\alpha$  dreht?
7. Ein schmales Lichtbündel trifft die Wasseroberfläche eines Aquariums unter dem Einfallswinkel von  $45^\circ$ . Der gebrochene Strahl fällt auf den Boden des Aquariums, trifft dort auf einen horizontal liegenden Spiegel, wird zurück zur Oberfläche reflektiert und an der Grenzfläche zur Luft gebrochen. Der Brechungsquotient des Wassers beträgt  $n = 1,33$ .
- Wie groß ist der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Richtung, unter der das Licht die Wasseroberfläche wieder verläßt?
  - Wie groß ist der Abstand zwischen den beiden Punkten, in welchen der einfallende und der reflektierte Lichtstrahl durch die Wasseroberfläche stoßen, wenn das Wasser 15 cm tief ist?
8. Wir legen eine Münze auf den Boden einer Schüssel und schauen so über den Schüsselrand, daß die Münze gerade nicht mehr zu sehen ist. Wenn wir nun vorsichtig Wasser eingießen, ohne dabei unsere Stellung zu verändern, wird die Münze wieder sichtbar. Außerdem scheint die Schüssel weniger tief als im leeren Zustand zu sein. Wie ist das zu erklären? (Skizze!)
- +9. Ein Fisch befindet sich 50 cm unter einer ruhigen Wasseroberfläche ( $n = 1,33$ ). Welche Gebiete außerhalb des Wassers kann er direkt sehen, und welche Gebiete im Wasser kann er über eine Reflexion sehen? (Skizze!)
10. Taucht man ein leeres Proberöhrchen in Wasser, so kann man bei bestimmter Stellung des Glases nicht hindurchsehen. Das Glas erscheint silberglänzend. Erst wenn man Wasser ins Glas einfüllt, kann man wieder hindurchsehen. Wie ist das zu erklären?
11. In einer Wellenwanne ist ein seichtes Gebiet von einem Gebiet mit tieferem Wasser geradlinig abgegrenzt. Eine ebene Welle läuft vom seichten Wasser ins tiefe Wasser. Der Einfallswinkel beträgt  $45^\circ$ , der Brechungswinkel mißt  $60^\circ$ .
- In welchem Verhältnis stehen die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Welle in den beiden Gebieten?
  - In welchem Verhältnis stehen die Wellenlängen?
- +12. Die Brechungsquotienten von Wasser bzw. Glas betragen  $\frac{4}{3}$  bzw.  $\frac{3}{2}$ .
- Wie lautet das Brechungsgesetz beim Übergang vom Wasser ins Glas?
  - Wie lautet das Brechungsgesetz beim Übergang vom Glas ins Wasser?
  - Wie groß ist der Grenzwinkel der Totalreflexion?

- +13. Ein Lichtstrahl trifft unter dem Winkel  $\alpha = 60^\circ$  auf eine planparallele Glasplatte von 5 cm Dicke. Der Brechungsquotient der Platte beträgt  $n = 1,5$ . Die Platte ist von Luft umgeben. Welche Parallelverschiebung erleidet der durchgehende Strahl?
- +14. Ein Glasprisma ist von Luft umgeben. Es hat den Brechungsquotienten  $n = 1,7$ . Sein brechender Winkel beträgt  $\gamma = 60^\circ$ . Ein Lichtstrahl fällt senkrecht zur brechenden Kante auf das Prisma.
- Unter welchem Winkel muß der Lichtstrahl auffallen, damit  $\beta_1 = \beta_2$  gilt, und wie groß ist dann der Ablenkwinkel?
  - Unter welchem Winkel muß der Lichtstrahl auffallen, damit er schiefend aus dem Prisma tritt, und was geschieht, wenn der Einfallswinkel noch kleiner wird?
- +15. Ein Flintglasprisma mit dem brechenden Winkel  $\gamma = 60^\circ$  ist von Luft umgeben. Sein Brechungsquotient beträgt für rotes Licht  $n_r = 1,6064$  und für blaues Licht  $n_b = 1,6355$ .
- Mit welchen Geschwindigkeiten pflanzen sich die beiden Lichtsorten im Prisma fort?
  - Unter welchen Winkeln treten die beiden Lichtsorten aus dem Prisma, wenn der Einfallswinkel  $\alpha_r = 45^\circ$  beträgt?

**Die Lichtwelle**

Formeln

$\lambda = c/f$

$\sin \hat{\varphi} = \frac{k \cdot \lambda}{d}$  Beugung

$(k = 1 \Rightarrow \lambda = d \cdot \sin \varphi \approx d \cdot \tan \varphi)$

$2d = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$  Schichtdicke

$\lambda = \frac{r^2}{k \cdot R}$  Newtonsches Farbenglas

$\frac{\sin \alpha_p}{\sin \beta} = n = \frac{\sin \alpha_p}{\sin (90^\circ - \alpha_p)} = \tan \alpha_p$  Polarisation

$f_B = f_Q \left( 1 \pm \frac{v_B}{c} \right)$  bewegter B. Doppler-Effekt

$f_B = f_Q \left( \frac{1}{1 \mp \frac{v_Q}{c}} \right)$  bewegte Q.

- Eine Lautsprechermembran hat 34 cm Durchmesser und ist in eine feste Wand eingebaut. Die Schallgeschwindigkeit beträgt  $c = 340 \text{ m/s}$ .
  - Welche Frequenz hat eine Schallwelle mit 34 cm Wellenlänge?
  - In welcher Richtung werden Schallwellen abgestrahlt, (1) deren Wellenlänge  $\lambda \ll d$ , (2) deren Wellenlänge  $\lambda \gg d$  ist?
  - Hört man die hohen oder die tiefen Töne besser, wenn man seitwärts vom Lautsprecher sitzt?
- Ebene Lichtwellen treffen auf einen Doppelspalt. Die Spaltöffnungen haben 0,1 mm Abstand. 5 m hinter dem Doppelspalt sind an der Wand helle Interferenzstreifen zu sehen. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Streifen beträgt 3,25 cm. Wie groß ist die Wellenlänge des Lichtes?
- Ebene Lichtwellen treffen auf ein Gitter. (Gitterkonstante  $d = 0,01 \text{ mm}$ .)
  - Wie groß ist für das Beugungsmaximum 1. Ordnung der Beugungswinkel für rotes Licht ( $\lambda = 700 \text{ nm}$ ) und für violettes Licht ( $\lambda = 400 \text{ nm}$ )?
  - Kann sich irgendeine Farbe des Spektrums 1. Ordnung mit irgendeiner Farbe des Spektrums 2. Ordnung überdecken?

4. Auf ein Beugungsgitter fällt gelbes Licht der Wellenlänge  $\lambda = 600 \text{ nm}$ . 2 m hinter dem Gitter steht ein Schirm, auf dem das Interferenzmuster zu sehen ist. Das Beugungsmaximum 2. Ordnung hat vom Beugungsmaximum 0. Ordnung einen Abstand von 24 cm. Wie groß ist die Gitterkonstante?

- +5. Der Brechungsquotient des Wassers beträgt  $\frac{4}{3}$ , derjenige des Glases  $\frac{3}{2}$ .

a) Man vervollständige die folgende Tabelle.

Farbe	Rot	Gelb	Grün	Violett
$\lambda$ in Luft	700 nm	600 nm	500 nm	400 nm
$\lambda$ in Wasser				
$\lambda$ in Glas				

- b) Welche Dicke muß eine Luftschicht bzw. eine Glasschicht mindestens haben, damit Gelb bei senkrechtem Einfall im reflektierten Licht durch Interferenz ausgelöscht wird? (Die Glasschicht sei von Luft umgeben.)

6. Eine Seifenwassermembran mit dem Brechungsquotienten  $n = \frac{3}{2}$  wird mit gelbem Licht senkrecht beleuchtet. Die im Vakuum gemessene Wellenlänge des Lichtes beträgt  $\lambda = 540 \text{ nm}$ . Wie dick muß die Seifenlamelle mindestens sein, damit das reflektierte Licht durch Interferenz verstärkt wird?

7. Ein Newtonsches Farbenglas hat einen Radius von 15 m. Im reflektierten Licht beträgt der Radius des zehnten dunklen Ringes  $r = 10 \text{ mm}$ .

a) Welche Wellenlänge hat das verwendete Licht?

b) Welchen Radius hätte der Ring, wenn man das Farbenglas mit Wasser füllen würde?

8. Ein dünner Quarzfaden liegt auf einem ebenen Spiegel. Darauf liegt eine planparallele Glasplatte, die 10 cm entfernt den Spiegel berührt. Die Anordnung wird senkrecht von oben mit Natriumlicht ( $\lambda = 589 \text{ nm}$ ) beleuchtet.

a) Wie dick ist der Quarzfaden, wenn am Luftkeil zwischen Faden und Berührungsstelle der Glasplatte 20 dunkle Streifen liegen?

b) Wie viele Streifen wären zu sehen, wenn man die Anordnung mit blauem Licht ( $\lambda = 480 \text{ nm}$ ) beleuchtet?

c) Befindet sich am Ende des Luftkeils, wo die Platte den Spiegel berührt, ein heller oder ein dunkler Streifen?

- +9. Wenn man zwischen zwei gekreuzte Polarisationsfilter ein drittes Polarisationsfilter einschleibt und um die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes dreht, so wird das Gesichtsfeld aufgehellt. Wie ist das zu erklären, und wann ist die Aufhellung am stärksten?

- +10. Der Polarisationswinkel läßt sich mit folgender Formel berechnen

$$\tan \alpha_p = n.$$

Beweisen Sie diese Beziehung und ermitteln Sie die Größe von  $\alpha_p$

a) für Wasser ( $n = 1,33$ ),

b) für einen Diamanten ( $n = 2,42$ ),

c) für einen Diamanten, der mit Wasser bedeckt ist.

11. Warum kann man mit einer Polaroidbrille die Fische besser sehen, wenn man schräg auf die Wasseroberfläche blickt? Muß die Durchlaßrichtung der Brille senkrecht oder parallel zur Wasseroberfläche orientiert sein?

12. Eines Abends blickte Malus in Paris durch einen Kalkspatkristall nach den Fenstern des Palais Luxembourg, als diese gerade das Licht der untergehenden Sonne reflektierten. Als er den Kristall um die Richtung des einfallenden Lichtstrahls drehte, wechselten die vom ordentlichen und vom außerordentlichen Strahl hervorgerufenen Bilder ihre Helligkeit. Wie ist das zu erklären?

13. Wie schnell müßte ein Autofahrer auf eine Verkehrsampel zufahren, damit ihm das rote Licht grün erscheint?

Wellenlänge des roten Lichtes:  $\lambda = 650 \text{ nm}$ ,

Wellenlänge des grünen Lichtes:  $\lambda = 550 \text{ nm}$ .

14. Das Spektrum ferner Spiralnebel erscheint rot verschoben. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich ein Spiralnebel von uns weg, wenn seine Natriumlinie ( $\lambda = 589 \text{ nm}$ ) bei 736 nm liegt und die ganze Rotverschiebung als Doppler-Effekt gedeutet wird?

15. Die Spektrallinien eines heißen Gases erscheinen wegen des Doppler-Effektes verbreitert. Aus der Breite der Spektrallinien kann man auf die Temperatur des Gases schließen. Man gebe dafür eine qualitative Erklärung.

### Emission und Absorption

Formeln

$$E_2 - E_1 = h \cdot f \quad h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

1. Berechnen Sie die Energiedifferenzen, die in einem Atom auftreten müssen, damit rotes, gelbes und violette Licht abgestrahlt werden kann.

$$(f_r = 4,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}, f_g = 5,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}, f_v = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz})$$

2. Welche Frequenz hätte eine elektromagnetische Welle, wenn sie durch 3,5 eV Energiedifferenz entsteht? Liegt sie im sichtbaren Bereich?

$$(1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J})$$

3. Mit welchen Lichtarten muß man einen Farbstoff beleuchten, damit er in seiner natürlichen Farbe erscheint?

4. Der Gegenstand A erscheint im weißen Licht weiß, der Gegenstand B im selben Licht rot. Wie sehen die beiden Gegenstände bei Beleuchtung mit grünem Licht aus?

5. Wann sieht ein durchsichtiger Körper im durchscheinenden Licht gelb aus?

6. Das Licht einer Lichtquelle wird mit einem Spektralapparat untersucht. Es treten folgende Spektrallinien auf:

$$\lambda_1 = 621 \text{ nm}, \lambda_2 = 582 \text{ nm}, \lambda_3 = 548 \text{ nm}, \lambda_4 = 437 \text{ nm},$$

$$\lambda_5 = 405 \text{ nm}.$$

Aus welchen chemischen Elementen besteht die Lichtquelle?

Anleitung: Man verwende die Spektraltafel auf S.188.

Die  $\lambda$ -Werte bezeichnen die Wellenlängen, die den einzelnen Spektralfarben zugeordnet sind. Mit ihrer Hilfe lassen sich die Spektralfarben leicht kennzeichnen.

7. Welche Farbe entsteht, wenn man folgende farbige Gläser hintereinander in einen weißen Lichtkegel hält?

a) blau-grün und purpur, b) purpur und gelb, c) gelb und blau-grün.

8. Warum wird gelblicher Zucker vor dem Verkauf »gebläut«, und warum fügten die Hausfrauen früher dem letzten Waschwasser etwas blauen Farbstoff zu, um das »Vergilben« der Wäsche zu verhindern?

9. Wenn man in der Schwarzweißphotographie vor das Objektiv ein »Gelbfilter« setzt, erscheint der blaue Himmel auf dem Bild dunkler, und die weißen Wolken heben sich besser ab. Wie ist das zu erklären?

Anleitung: Das »Gelbfilter« absorbiert die violetten Strahlen und schwächt die blauen.

Daher rührt auch seine gelbe Farbe.

## Lösungen der Übungsaufgaben

### Bewegung der Erde und der Planeten

- Die Ekliptik geht in guter Näherung durch Sonne, Erde und Mond.
- Die Planeten laufen annähernd in der Ekliptik.
- a) Geographische Breiten:  $60,5^\circ \text{ N}$ ;  $23,5^\circ \text{ N}$ ;  $0^\circ$ ;  $23,5^\circ \text{ S}$ ;  $66,5^\circ \text{ S}$ .  
b) Die Sonne steht im Zenit:  
am 21. 3. über dem Äquator, am 21. 6. über dem nördlichen Wendekreis,  
am 23. 9. über dem Äquator, am 21. 12. über dem südlichen Wendekreis.
- Das Gebiet zwischen südlichem Polarkreis und Südpol kann am 21. 6., das Gebiet zwischen nördlichem Polarkreis und Nordpol kann am 21. 12. von der Sonne nicht beschienen werden.
- Wenn die nördliche Halbkugel Winter hat, läuft die Erde in geringerer Entfernung um die Sonne als ein halbes Jahr später. Sie bewegt sich daher nach dem 2. Keplerschen Gesetz in diesem Zeitraum rascher.
- Die Jahreszeiten werden durch die Neigung der Erdachse hervorgerufen.
- Es ergeben sich für die einzelnen Planeten folgende Zahlen:  
0,058; 0,378; 1,000; 3,54; 140,7; 867,9.

### Das Gravitationsgesetz und die Kepler-Gesetze

- $F_1 = \frac{1}{4} F_1 = GM/R^2 : GM/(R+H)^2 \rightarrow H = R$ .
- $F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = 4,3 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ .
- a)  $s = 9,5 \cdot 10^{14} \text{ m}$ . b)  $t = 4,3 \cdot s/v = 128 \text{ 900 Jahre}$ . c)  $F = 3,22 \cdot 10^{17} \text{ N}$ .
- a)  $F = mg = 800 \text{ N}$ . b) Erdmasse =  $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ .

Jupitermond	Io	Europa	Ganymed	Callisto
$v \text{ (m/s)}$	17,3	13,7	10,9	8,2
$T^2/r^3 \text{ (s}^2/\text{m}^3)$	$3,11 \cdot 10^{-16}$	$3,11 \cdot 10^{-16}$	$3,11 \cdot 10^{-16}$	$3,11 \cdot 10^{-16}$

$$\text{Jupitermasse: } M = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r^3}{T^2} = 1 \text{ 903} \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

- a)  $M_5 : M_4 = (r_5^3/T_5^2) : (r_4^3/T_4^2) = T_4^2 : T_5^2$ .  
b)  $M_5 = 100 M_4 = 600 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ .
- a)  $g = 0$  b)  $g \approx \frac{10}{4} \text{ m/s}^2$  c)  $g \approx \frac{10}{9} \text{ m/s}^2$
- $G \cdot M_E / x^2 = G \cdot M_M / (r-x)^2 \rightarrow x = r \sqrt{M_E} / (\sqrt{M_E} + \sqrt{M_M})$   
a)  $x = 345 \text{ 600 km}$ . b)  $r-x = 38 \text{ 400 km}$ .
- a)  $\rho = m/V = m / \frac{4\pi}{3} r^3 = 1,4 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$ . b)  $R \approx 15 \text{ km}$ .
- a)  $g = GM/R^2 = 276 \text{ m/s}^2$ . b)  $g = GM/r^2 = 0,006 \text{ m/s}^2$ .
- a)  $F = 3,56 \cdot 10^{22} \text{ N}$ . b)  $F = 2 \cdot 10^{20} \text{ N}$ . c)  $F = 4,33 \cdot 10^{20} \text{ N}$ .
- Erde und Mond fallen in guter Näherung mit der gleichen Beschleunigung um die Sonne. Daher kommt zwischen Erde und Mond nur die wechselseitige Gravitationskraft zur Geltung.

Planet	Merkur	Venus	Mars	Jupiter	Saturn
$r \text{ (km)}$	$0,58 \cdot 10^8$	$1,08 \cdot 10^8$	$2,28 \cdot 10^8$	$7,79 \cdot 10^8$	$14,29 \cdot 10^8$
$v \text{ (km/s)}$	47,93	35,07	24,17	13,08	9,66
$F \text{ (N)}$	$1,2 \cdot 10^{22}$	$5,7 \cdot 10^{22}$	$0,1 \cdot 10^{22}$	$41,7 \cdot 10^{22}$	$3,7 \cdot 10^{22}$
$\rho \text{ (kg/m}^3)$	5 053	5 008	3 644	1 246	617
$g \text{ (m/s}^2)$	3,42	8,68	3,46	24,86	10,42

(Wegen der gerundeten Angaben ergeben sich nur grobe Werte!)

### Berechnung von Energie und Bahngeschwindigkeit

- a)  $E_1 = -GM/R = -6,28 \cdot 10^7 \text{ J}$ .  
b)  $E_2 = -GM/2R = -3,14 \cdot 10^7 \text{ J}$ . c)  $W = E_2 - E_1 = 3,14 \cdot 10^7 \text{ J}$ .
- a)  $v = 2\pi r/T = 1 \text{ km/s}$ .  
b)  $E_k = mv^2/2 = 3,82 \cdot 10^{28} \text{ J}$ . c)  $E_p = -GMm/r = -7,60 \cdot 10^{28} \text{ J}$ .
- $\Delta E_k = W = GMm \left( \frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_A} \right) = 1,07 \cdot 10^{12} \text{ J}$ .
- a)  $W = 0$ . b) Nein, denn es wird keine Energie gewonnen.
- a)  $E_k = mv^2/2 = 2,67 \cdot 10^9 \text{ J}$ . b)  $E_p = -GMm/r = -5,05 \cdot 10^9 \text{ J}$ .  
c) Der Energiesatz liefert:  $v = 0,26 \text{ m/s}$ .  
d)  $W = (E_k + E_p) - (-GMm/R) = 2,87 \cdot 10^9 \text{ J}$ .  
e) Auf diese Weise wird die Geschwindigkeit der rotierenden Erde auf den Satelliten übertragen und so eine Energieeinsparung ermöglicht.
- a)  $v_1 = \sqrt{GM/R} = 1,67 \text{ km/s}$ ,  $v_2 = \sqrt{2} \cdot v_1 = 2,36 \text{ km/s}$ ,  
b)  $v_1 = \sqrt{GM/R} = 438 \text{ km/s}$ ,  $v_2 = \sqrt{2} \cdot v_1 = 619 \text{ km/s}$ .
- Eine frei fliegende Rakete führt im allgemeinen zugleich eine unbeschleunigte Bewegung und eine Fallbewegung aus. Da alle Körper mit der gleichen Beschleunigung fallen, fühlt sich ein Astronaut in der fallenden Rakete gewichtslos.
- a)  $r = \sqrt[3]{GM T^2/4\pi^2} = 42 \text{ 200 km}$ ,  $h = r - R = 35 \text{ 830 km}$ .  
b)  $v = 2\pi r/T = 3 \text{ 077 m/s}$ .  
c) Ein Satellit kann nur über einem Punkt des Äquators stillstehen.
- a)  $M = \rho \cdot \frac{4\pi}{3} R^3 = 2,6 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ . b)  $g = GM/R^2 = 0,07 \text{ m/s}^2$ .  
c)  $F = mg = 5,58 \text{ N}$ . d)  $v_1 = \sqrt{GM/R} = 59 \text{ m/s}$ .
- $r = 6954 \text{ km}$ ;  $v = 7,58 \text{ km/s}$ .

### Teilchenbewegung und Gasgesetze

- a) Eisen und Beton dehnen sich bei Temperaturschwankungen in gleicher Weise aus. Dadurch werden innere Spannungen im Baumaterial vermieden.  
b) Die Maße dieser Bänder ändern sich bei Temperaturveränderungen nur wenig.
- Ein 1 m langer Eisenstab dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung um  $50^\circ \text{ C}$  um  $50 \cdot 0,012 \text{ mm} = 0,6 \text{ mm}$  aus. Der rund 300 m hohe Eiffelturm dehnt sich daher um  $300 \cdot 0,6 \text{ mm} = 18 \text{ cm}$ . Im Sommer ist der Eiffelturm deshalb etwas höher.
- Der Draht schrumpft im Winter um  $100 \cdot 70 \cdot 0,024 \text{ mm} = 17 \text{ cm}$ .
- $\gamma = \frac{1}{\Delta T} \frac{\Delta V}{V}$ .
- $\Delta V = \gamma V \Delta T = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4 \text{ cm}^3 \cdot 1 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3 = r^2 \pi \cdot 0,1 \text{ cm} \rightarrow r = 0,016 \text{ cm}$ .
- $\Delta V = \gamma \Delta T = 2,4 \text{ l}$ .
- $\Delta V = \gamma V \Delta T = (1/273^\circ \text{ C}) \cdot (240 \text{ m}^3) (3^\circ \text{ C}) = 2,64 \text{ m}^3$ .
- a)  $p = 3 \text{ bar} \rightarrow \rho = 3,9 \text{ kg/m}^3$ ,  
b)  $F = (2 \text{ bar}) (0,05 \text{ m}^2) = (2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2) (0,05 \text{ m}^2) = 10^4 \text{ N} \rightarrow 10^3 \text{ kg}$ .
- a)  $p = 3 \text{ bar}$  bei  $273 \text{ K} \rightarrow p = \frac{273 + 50}{273} \cdot 3 \text{ bar} = 3,5 \text{ bar} \rightarrow$  Überdruck 2,5 bar,  
b)  $p = \frac{273}{273 + 50} \cdot 3 \text{ bar} = 2,5 \text{ bar} \rightarrow$  Überdruck 1,5 bar.
- a)  $A = r^2 \pi = 0,03 \text{ m}^2$ ,  $F = (99 \text{ bar}) (0,03 \text{ m}^2) = 3 \cdot 10^5 \text{ N}$ .

11. a)  $pV = NkT$ ,  $V = 0,031 \text{ m}^3$ ,  $p = 100 \text{ bar} = 10^7 \text{ N} \rightarrow N = 8,2 \cdot 10^{25}$ .  
 b)  $M = N(1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}) \cdot 28 = 3,9 \text{ kg}$ .
12. a)  $pV = NkT$ ,  $p = 10^5 \text{ N} \rightarrow N = 2,6 \cdot 10^{25}$ ,  
 b)  $E_k = \frac{3}{2} NkT = 1,5 \cdot 10^7 \text{ J} = 0,04 \text{ kWh}$ .
13. Um  $90 \text{ kg/m}^2$  zu schmelzen, sind  $(335 \text{ kJ/kg}) (90 \text{ kg/m}^2) = 3 \cdot 10^7 \text{ J} = 8,4 \text{ kWh}$  erforderlich. Das entspricht der Einstrahlung von 2 Tagen.
14. a)  $1,5 \text{ g/m}^3$ ,    b)  $9\%$ ,    c)  $0,6 \text{ kg}$ .

### Wärme und Energie

1.  $Q = 7,5 \cdot 10^8 \text{ J} = 210 \text{ kWh}$
2. a)  $Q = (10^{11} \text{ kg}) (4 \text{ 190 J/kg}^\circ\text{C}) (10^\circ\text{C}) = 4,2 \cdot 10^{15} \text{ J}$ .  
 b) Leistung  $P = 4,2 \cdot 10^{15} \text{ J/s} = (4,2 \cdot 10^7) (10^9 \text{ W}) \rightarrow 42 \text{ Millionen Kraftwerke}$ .
3. a)  $Q = (32 \text{ 000 kg}) (4 \text{ 190 J/kg}^\circ\text{C}) (1^\circ\text{C}) = 1,3 \cdot 10^8 \text{ J} = 45 \text{ kWh}$ .  
 b)  $mgh = 1,3 \cdot 10^8 \text{ J} \rightarrow m = 1,3 \cdot 10^5 \text{ kg}$ .
4. Wassererwärmung  $4 \text{ 190 J}^\circ\text{C}$ , Topf  $0,5 \cdot 450 \text{ J}^\circ\text{C}$ ,  
 → Wasser  $95\%$ , Topf  $5\%$ .
5. a)  $U = mgh = 2 \cdot 10^6 \text{ J}$ .  
 b)  $10^6 \text{ J} = (450 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) (\Delta T) (1 \text{ kg}) \rightarrow \Delta T = 2 \text{ 200}^\circ\text{C}$ . Die Bremse würde schmelzen!
6.  $mgh = m (4 \text{ 190 J/kg}^\circ\text{C}) \Delta T \rightarrow \Delta T = 0,05^\circ\text{C}$ .
8. a)  $E_p = mgh = 2 \cdot 10^{10} \text{ J} = 5 \text{ 600 kWh}$ .
8. b) Bei einem Heizwert von  $12 \text{ kWh/kg}$  werden  $460 \text{ kg}$  benötigt.
9. a)  $W = p \Delta V = (30 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2) (0,2 \text{ m}^2 \cdot 0,4 \text{ m}) = 2,4 \cdot 10^5 \text{ J}$ ,  
 b)  $P = W/t = 2,4 \cdot 10^5 \text{ J}/0,1 \text{ s} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ W} = 2 \text{ 400 kW}$ .
10.  $W = p \Delta V$ , wobei  $p \approx 15 \text{ bar}$ ,  $\Delta V = \text{Hubraum}$ ; die Motorleistung ist dem Hubraum annähernd proportional.
11. a)  $W = p \Delta V = (15 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2) (2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) = 3 \text{ 000 J}$ ,  
 b)  $P = W/t = 3 \text{ 000 J}/0,02 \text{ s} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ W} = 150 \text{ kW}$ .
12. In einer Stunde legt der Wagen  $150 \text{ km}$  zurück. Die vom Motor verrichtete Arbeit ist  $100 \text{ kWh}$ , dazu werden bei  $25\%$  Wirkungsgrad  $400 \text{ kWh}$  an Energie benötigt, die in  $33 \text{ kg}$  Benzin enthalten sind. Der Verbrauch für  $100 \text{ km}$  ist also  $22 \text{ kg}$  Benzin.
13. a)  $\eta = 1 - T_2/T_1 = 1 - 277/298 = 7,05\%$ ,  
 b)  $1 \text{ m}^3$  Wasser ergibt  $21 \cdot 4 \text{ 190 J} = 88 \text{ 000 J}$  an Wärme, bei  $7,05\%$  Wirkungsgrad also  $6 \text{ 200 J}$  an nutzbarer Energie. Für  $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ J/s}$  werden  $10^6/6 \text{ 200} = 1,6 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  Wasser je Sekunde benötigt.
14. Hochtemperaturwärme könnte mit hohem Wirkungsgrad in andere Energieformen umgewandelt werden. Es ist nicht sinnvoll, sie zur Erzeugung von Warmwasser zu verwenden.  
 $\eta = 1 - 293/313 = 6,4\%$ .
16. a)  $\eta = 1 - 303/773 = 61\%$ ,  
 b)  $\eta = 1 - 343/773 = 56\%$ . Der Wirkungsgrad verschlechtert sich um  $5\%$ .
17. a) In  $1 \text{ s}$  gilt  $W = \eta Q_1$ ,  $Q_2 = (1 - \eta) Q_1 = \frac{1 - \eta}{\eta} W \rightarrow Q_2 = 2,33 W = 2,33 \text{ GJ}$ ,  
 b)  $Q_2 = 2,33 \text{ GJ} = (4 \text{ 190 J/kg}^\circ\text{C}) (2^\circ\text{C}) \cdot m$   
 ( $m = \text{je Sekunde benötigte Wassermasse}$ )  $\rightarrow m = 2,78 \cdot 10^5 \text{ kg} \rightarrow \text{Wasserführung } 278 \text{ m}^3/\text{s}$ .
19. a) Verfügbare Leistung  $0,23 \cdot \frac{1}{4} \cdot 1,4 \text{ kW/m}^2 = 0,08 \text{ kW/m}^2$ .  
 (Der Faktor  $\frac{1}{4}$  entsteht dadurch, daß die Erdoberfläche  $4 \pi R^2$  beträgt, der Querschnitt der Erde aber nur  $\pi R^2$  ist.)  $0,08 \text{ kW/m}^2 \cdot 24 \text{ h} = 1,93 \text{ kWh} \rightarrow 4 \text{ kg Wasser/m}^2$  verdunsten an einem Tag.  
 b)  $mgh = 2 \cdot 10^5 \text{ J} = 0,06 \text{ kWh}$  sind erforderlich, um diese Wassermenge zu heben.
20.  $M = 4 \pi R^2 h \rho = 6,6 \cdot 10^{18} \text{ kg}$  ist die Masse der Atmosphäre,  
 $\rightarrow Mv^2/2 = 3,3 \cdot 10^{20} \text{ J}$ .

21. Sonneneinstrahlung in 5 Sommermonaten:  $750 \text{ kWh/m}^2 \rightarrow \eta = 2/750 = 0,3\%$ .
22. Ein Quadratkilometer empfängt im Winter täglich  $10^6 \text{ kWh}$ . Es dürfen  $120$  Menschen auf einem Quadratkilometer leben.
23. Nutzbar täglich  $1 \text{ kWh/m}^2$ . Benötigt werden  $(0,5^\circ\text{C}) (4 \text{ 190 J/kg}^\circ\text{C}) (2,4 \cdot 10^4 \text{ kg}) = 5 \cdot 10^7 \text{ J} = 14 \text{ kWh} \rightarrow \text{Kollektorfläche } 14 \text{ m}^2$ .
24. a)  $Q = (4 \text{ 190 J/kg}^\circ\text{C}) (20^\circ\text{C}) (2,4 \cdot 10^4 \text{ kg}) = 2 \cdot 10^9 \text{ J} = 560 \text{ kWh}$ ,  
 b) Für  $28$  Stunden.
25. a)  $Q (\pi R^2) v = 4 \text{ 080 kg/s}$ ,  
 b)  $0,1 \cdot (4 \text{ 080 kg/s}) (10 \text{ m/s})^2/2 = 20,4 \text{ kW}$ .
26. Die Steigerungsfaktoren betragen  $2,19; 7,11; 50,5; 2 \text{ 551}$ .

### Hydro- und Aerostatik

1. Druck am Reißnagelkopf:  $p_1 = F/A_1 = 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ bar}$ ,  
 Druck an der Spitze:  $p_2 = F/A_2 = 10^9 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ 000 bar}$ .
2. a)  $p_2 = p_1 \rightarrow F_2/A_2 = F_1/A_1 \rightarrow F_2/F_1 = A_2/A_1 = 20$ .  
 b) Nein, denn der Druck in der Presse ist überall gleich groß.
3.  $p = p_0 + \rho g h = 1 \text{ 026 bar}$ .
4.  $p = p_0 + \rho g h = 6 \text{ bar}$ .
5.  $p = p_0 + \rho g h = 21 \text{ bar}$ .
6.  $p = \rho g h \rightarrow h = 10^4 \text{ m} = 10 \text{ km}$ .
7. Die Luft im Füllfederhalter preßt wegen des geringeren Außendrucks die Tinte aus der Feder.
8.  $F = r^2 \pi (p_2 - p_1) = 625 \text{ N}$ . **632**
9.  $F = r^2 \pi p = 12,56 \cdot 10^3 \text{ N}$ .
10. An der oberen Schornsteinöffnung ist der Luftdruck innen und außen annähernd gleich groß. Weil die Dichte der warmen Schornsteinluft kleiner ist als die Dichte der kalten Außenluft, nimmt der Druck im Innern des Schornsteins mit abnehmender Höhe langsamer zu als außen. Die Luft strömt daher unten von außen in den Schornstein hinein. Analog liegen die Verhältnisse bei der Eishöhle.
11. a)  $q_1 = q_2$ ,    b)  $q_1 < q_2$ .
12. Volumen =  $F/\rho_k g = 0,07 \text{ m}^3 = 70 \text{ dm}^3$ ,  
 Auftrieb =  $q_1 g V = 0,7 \text{ N}$ ,    Wahres Gewicht =  $700 \text{ N}$ .
13. Nein, Der Auftrieb rührt vom Gewichtsdruck her.
14. Die Seitenkraft ist an der Unterseite des Rades größer als an der Oberseite und kompensiert die Wirkung des Auftriebes.
15. Der Schlauch erfährt links keinen Auftrieb, da das Wasser dort nur von der Seite her auf den Schlauch drückt.
16. Beide Bechergläser sind gleich schwer, da das schwimmende Holzstück gerade so viel Wasser verdrängt hat, wie es selber wiegt.
17. a) Der Wasserspiegel bleibt auf gleicher Höhe, da in beiden Fällen das Gewicht der verdrängten Wassermasse gleich groß sein muß wie das Gewicht der schwimmenden Gegenstände.  
 b) Während die Wassermenge, die der Stein verdrängt, früher das gleiche Gewicht wie der Stein besaß, hat sie jetzt nur noch das gleiche Volumen. Der Wasserspiegel sinkt daher ein wenig.
18. Gewicht des Knaben + Gewicht der Scholle = Auftrieb der Scholle  $\rightarrow A = 6,4 \text{ m}^2$ .
19. Weil die Dichte des Meerwassers größer ist als die Dichte des Süßwassers, ist der Auftrieb im Meerwasser größer.
20.  $12 \text{ Prozent}$  vom Volumen eines Eisberges ragen aus dem Meerwasser.

### Strömungen

1.  $1,6 \text{ cm}$ .
2.  $v = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho} = 140 \text{ m/s}$ .
3. a)  $v = \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho} = 31,6 \text{ m/s}$ ,    b)  $h = v^2/2g = 50 \text{ m}$ .
4. a)  $v = \sqrt{2gh} = 44,7 \text{ m/s}$ .  
 b)  $m/t = \rho^2 \pi v = 8 \text{ 781 kg/s}$ .  
 c)  $P = mv^2/2t = 8 \text{ 772 kW}$ .

5. a)  $mg\dot{b} = 8 \cdot 10^3 \cdot 10^2 \text{ J}$ , b)  $m/t = P/g\dot{b} = 27 \cdot 000 \text{ kg/s}$ .
6. a) Die Bernoullische Gleichung liefert  
an der Stelle A:  $p + \rho v^2/2 = p_A + \rho v^2/2$ ,  
an der Stelle B:  $p + \rho v^2/2 = p_B$ .
- b) Eliminiert man aus diesen beiden Gleichungen den Druck,  
so erhält man:  $v = \sqrt{2(p_B - p_A)/\rho}$ .
7.  $v = \sqrt{2(p_B - p_A)/\rho_L} = \sqrt{2(\rho_w g h)/\rho_L} = 10 \text{ m/s}$ .
8. a)  $v = \sqrt{2(p_B - p_A)/\rho_G} = \sqrt{2(\rho_w g h)/\rho_G} = 12,9 \text{ m/s}$ .  
b)  $m/t = \rho_G (v^2 \pi) v = 0,078 \text{ kg/s} \approx 279 \text{ kg/h}$ .
9. Wie das Stromlinienbild zeigt, wird der Ball an der Oberseite rascher umströmt als an der Unterseite. Er erfährt daher einen hydrodynamischen Auftrieb, der bei günstigen Verhältnissen zu einem Schweben führen kann.
10. Der Ballon wird zur Mitte gezogen und pendelt um die Gleichgewichtslage hin und her.
11. Durch den Luftstrom wird ein starker Unterdruck erzeugt. Dadurch steigt die Flüssigkeit im Steigrohr in die Höhe und wird vom Luftstrom mitgerissen.
12. Der Wasserstrahl der Brause reißt die Luft mit. Dadurch entsteht in der Duschkabine ein schwacher Unterdruck.
13. Anfangs fällt der Fallschirm schneller und schneller. Dadurch wächst der Strömungswiderstand immer mehr an und wird schließlich gleich groß wie das Gewicht. Von da an bewegt sich der Fallschirm gleichförmig wie ein kräftefreier Körper.
14. Es liegen dieselben Verhältnisse vor wie beim vorhergehenden Übungsbeispiel. Es ist nun auch einzusehen, warum Staubkörnchen oder die Wassertropfen der Wolken schon nach einer winzigen Fallstrecke gleichförmig fallen müssen, warum sie sich also so außerordentlich langsam bewegen.
15. Der Tischtennisball fällt langsamer als die Bleikugel zu Boden, da er vom Gegenwind, den er beim Fallen verspürt, wegen seiner geringen Trägheit stärker zurückgetrieben wird als die Bleikugel. Die Bleikugel fällt also rascher zu Boden, weil sie träger ist, und nicht, weil sie schwerer ist!
16. Weil sich der Strömungswiderstand bei einer Verdopplung der Geschwindigkeit vervierfacht, ist die vierfache Antriebskraft und die achtfache Motorleistung erforderlich.
17. a) Auf den fliegenden Bumerang wirken die Schwerkraft, der hydrostatische Auftrieb, der hydrodynamische Auftrieb und der Strömungswiderstand.  
b) Nein! Der Massenmittelpunkt des Bumerangs würde sich nach dem Trägheitssatz unbeschleunigt fortbewegen, sofern keine Schwerkraft angreifen.

### Schwingungen und Wellen

- Die Geschwindigkeit ist am größten beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage. Die Beschleunigung hat ihren größten Wert in den Umkehrpunkten.
- $y = -0,095 \text{ m}$ ,  $v_y = -3,883 \text{ N/m}$ .  
 $a_y = 1 \cdot 501,759 \text{ m/s}^2$ .
- a)  $T = 2\pi \sqrt{m/k} \rightarrow k = 98,69 \text{ N/m}$ .  
b)  $T \rightarrow T/2$  für  $m \rightarrow m/4$ .
- a)  $v = 0,38 \text{ m/s}$  b)  $T = 2,43 \text{ s}$
- a)  $k = F/x = 150 \cdot 000 \text{ N/m}$ . b)  $T_0 = 0,88 \text{ s}$ ,  $T_v = 1,09 \text{ s}$ .
- $E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} k x^2 \sin^2 \sqrt{k/m} \cdot t$ ,  
 $E_p = \frac{1}{2} k y^2 = \frac{1}{2} k x^2 \cos^2 \sqrt{k/m} \cdot t$ .
- $T = 2\pi \sqrt{L/g} \rightarrow L = gT^2/4\pi^2 = 0,25 \text{ m}$ .
- $f_1 : f_2 = 1:2 \rightarrow L_1 : L_2 = 4:1$ .
- $T = 2\pi = 6,28 \text{ s}$ ,  $E = 2 \cdot 500 \text{ J}$ .
- $T = 16,26 \text{ s}$ .

- a) Die Wellenlänge geht auf die Hälfte zurück.  
b) Die Wellenlänge wird doppelt so groß.
- $c = \lambda / T = 20 \text{ m/s}$ .
- $f = c / \lambda = 10 \text{ Hz}$ .
- $\lambda = 3,39 \text{ m}$ , UKW

$$18. r = \sqrt{r_1^2 + 2 r_1 r_2 \cos \frac{2\pi}{\lambda} (d_1 - d_2) + r_2^2}$$

$$\cos \frac{2\pi}{\lambda} d = \frac{r_1}{r} \cos \frac{2\pi}{\lambda} d_1 + \frac{r_2}{r} \cos \frac{2\pi}{\lambda} d_2$$

$$\sin \frac{2\pi}{\lambda} d = \frac{r_1}{r} \sin \frac{2\pi}{\lambda} d_1 + \frac{r_2}{r} \sin \frac{2\pi}{\lambda} d_2$$

$$19. r = 5, \quad \cos \delta = (4\sqrt{3} - 3) / 10,$$

$$\sin \delta = (4 + 3\sqrt{3}) / 10, \quad \delta = 66,8^\circ$$

$$20. a) \lambda = 3,2 \text{ m}, \quad b) c = 12,8 \text{ m/s}$$

### Schallwellen und Akustik

- Weil die longitudinale Schallwelle schneller läuft als die transversale Schallwelle, hört man am Ende der Eisenschiene zwei Schläge. Hinzu kommt noch der Schall durch die Luft.
- $c = \frac{1}{3} \text{ km/s} \rightarrow$  Entfernung in km = Zahl der Sekunden dividiert durch drei.
- $t_L \cdot t_W = c_W \cdot t_W \rightarrow \begin{cases} t_L = c_W \cdot \Delta t / (c_W - c_L) \\ t_W - t_L = \Delta t \end{cases} \rightarrow \begin{cases} t_L = c_W \cdot \Delta t / (c_W - c_L) \\ t_W = c_L \cdot \Delta t / (c_W - c_L) \end{cases}$

$$s = \frac{c_W \cdot c_L}{c_W - c_L} \cdot \Delta t \approx 5 \cdot 300 \text{ m}$$

	50 Hz	440 Hz	5 000 Hz
$\lambda$ (Luft)	6,8 m	0,73 m	0,068 m = 6,8 cm
$\lambda$ (Wasser)	29,6 m	3,36 m	0,296 m = 29,6 cm

- $f_1 = 360 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 450 \text{ Hz}$ ,  $f_3 = 540 \text{ Hz}$ ,  
 $f_2/f_1 = 5/4$  (Terz),  $f_3/f_1 = 3/2$  (Quint).  
Die Töne bilden einen Dur-Dreiklang.
- $1,26 \text{ W} = 4 \pi R^2 \cdot 10^{-11} \text{ W/m}^2 \rightarrow R = 100 \text{ km}$ .
- Ruhende Quelle – bewegter Beobachter:  
 $2f_Q = f_Q \cdot (1 + v_B/c) \rightarrow v_B = c$ .  
Ruhender Beobachter – bewegte Quelle:  
 $2f_Q = f_Q / (1 - v_Q/c) \rightarrow v_Q = c/2$ .
- Annäherung:  $f_B' = f_Q / (1 - v_Q/c) = 2 \rightarrow v_Q = c/3$ .  
Entfernung:  $f_B'' = f_Q / (1 + v_Q/c)$
- Annäherung:  $f_B' = f_Q / (1 - \omega r/c) = 456,9 \text{ Hz}$ ,  
Entfernung:  $f_B'' = f_Q / (1 + \omega r/c) = 424,3 \text{ Hz}$ .

Direkter Ton	Echo
Annäherung: $f_B' = f_Q / (1 - v_Q/c) = 531,25 \text{ Hz}$	$\bar{f}_B' = f_Q / (1 - v_Q/c) = 531,25 \text{ Hz}$
Entfernung: $f_B'' = f_Q / (1 + v_Q/c) = 472,22 \text{ Hz}$	$\bar{f}_B'' = f_Q / (1 - v_Q/c) = 531,25 \text{ Hz}$

$$\text{Echo für den Reisenden: } \bar{f} = f_Q \frac{1 + v_B/c}{1 - v_B/c} = 562,50 \text{ Hz}$$

- Weg pro Sekunde:  $s = 2\pi \cdot 5 \cdot 33/60 = 5,5\pi \text{ cm}$ .  
 $\lambda_1 = s/20 = 0,8639 \text{ cm}$ ,  $\lambda_2 = s/16 \cdot 000 = 0,0011 \text{ cm}$ .

12.  $b = c_W \cdot \Delta t / 2 = 2960 \text{ m}$ .  
 13.  $s = c_L \cdot \Delta t / 2 = 17 \text{ m}$ .  
 14.  $E_k = 1,85 \cdot 10^6 \text{ J}$ ,  $v_A = v_W \sqrt{m_W / m_A} \approx 64 \text{ m/s} \approx 230 \text{ km/h}$ .

Der Blauwal benötigt wegen seiner hohen kinetischen Energie und der geringen Sichtweite noch eine andere Orientierungshilfe. Wie sich zeigte, vermag er Ultraschallwellen hervorzubringen und orientiert sich ähnlich wie die Fledermäuse mit dem Echoverfahren.

$f = n \frac{c}{2L}$	n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6
$L = a$	72,34	144,68	217,02	289,36	361,70	434,04
$L = b$	109,68	219,36	329,04	438,72	548,40	658,08
$L = b$	65,38	130,76	196,14	261,52	326,90	392,28

(Alle Frequenzen sind in Hz angegeben).

16.  $f_0 = \frac{c}{2L} = 3000 \text{ Hz}$ ,  $f_1 = 2 \cdot \frac{c}{2L} = 6000 \text{ Hz}$ .  
 17. a) Es fehlen alle Obertöne der Frequenz  $f = 2n \cdot \frac{c}{2L}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), denn jene Eigenschwingungen haben in der Mitte der Saite einen Knoten.  
 b)  $f = c\lambda = 9 \cdot c/2L = 9 \cdot 440 = 3960 \text{ Hz}$ .  
 18.  $c = \lambda \cdot f = 2L \cdot f = 440 \text{ m/s}$ ,  $f' = c/2L' \rightarrow L' = 40 \text{ cm}$ .

### Reflexion und Brechung

1.  $c = 2L/t = 4L \cdot N \cdot Z = 313\,274\,305 \text{ m/s}$ .  
 2. Der Spiegel benötigt für eine Umdrehung  $T = 8s/c = 8 \cdot 70/300\,000 \text{ s}$ .  
 Er führt daher  $1/T = 535,7$  Umdrehungen pro Sekunde aus.  
 3.  $c = 2000/3 \text{ m/s}$ ,  $d = \sqrt{c^2(1,8)^2 - 1000^2} = 663 \text{ m}$ .  
 4. a) Das Glas befindet sich unterhalb der Grenzfläche.  
 b) 3 = einfallender Strahl, 1 = reflektierter Strahl, 2 = gebrochener Strahl.  
 c)  $\beta$  = Einfallswinkel,  $\gamma$  = Reflexionswinkel,  $\psi$  = Brechungswinkel.  
 5. Dies ist möglich, weil das Licht den Weg in beiden Richtungen durchlaufen kann.  
 6. Der Lichtzeiger dreht sich um  $2\alpha$  (Steigerung der Meßgenauigkeit!)  
 7. a)  $d = 90^\circ$ , b)  $d = 2 \cdot 15 \cdot \tan \beta \approx 19 \text{ cm}$ .  
 8. Der Effekt wird durch die Brechung des Lichtes verursacht.  
 9. Der Fisch kann alles außerhalb und innerhalb des Wassers sehen. Außerdem sieht er jenen Bereich im Wasser, der über eine Totalreflexion an der Wasseroberfläche zu erreichen ist, als Spiegelbild außerhalb des Wassers.  
 10. Das Licht erleidet an der Grenzfläche Glas-Luft eine Totalreflexion. Diese verschwindet, wenn man in das Proberöhrchen Wasser gießt. Hätte das Proberöhrchen den gleichen Brechungsquotienten wie das Wasser, so wäre es völlig unsichtbar!  
 11. a)  $\sin \alpha : \sin \beta = c_1 : c_2 \rightarrow c_1 : c_2 = \sqrt{2} : \sqrt{3}$ ,  
 b)  $f = c_1/\lambda_1 = c_2/\lambda_2 \rightarrow \lambda_1 : \lambda_2 = \sqrt{2} : \sqrt{3}$ .  
 12. a)  $\sin \alpha / \sin \beta = c_W / c_G = n_G / n_W = 9/8$ .  
 b)  $\sin \alpha / \sin \beta = c_G / c_W = n_W / n_G = 8/9$ .  
 c)  $\sin \alpha_G / \sin 90^\circ = 8/9 \rightarrow \alpha_G = 62^\circ 44'$ .  
 13.  $\sin \beta = \sin \alpha / n = 1/\sqrt{3}$ ,  $l = b/\cos \beta = 5\sqrt{3}/2$ ,  
 $d = l \cdot \sin(\alpha - \beta) = b \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \beta) = 2,5 \text{ cm}$ .

14. a)  $\sin \alpha_1 = n \cdot \sin \beta_1$ ,  $\beta_1 = \beta_2 = \gamma/2 = 30^\circ$ ,  $\alpha_1 = 58^\circ 12'$ ,  
 b)  $\sin \beta_2 = 1/n \rightarrow \beta_2 = 36^\circ 02'$ ,  
 $\sin \alpha_1 = n \cdot \sin \beta_1 \rightarrow \alpha_1 = 43^\circ 40'$ , ( $\beta_1 = \gamma - \alpha_2 = 23^\circ 58'$ )  
 Für  $\alpha_1 < 43^\circ 40'$  wird der Strahl an der zweiten Prismenfläche total reflektiert.  
 15. a)  $n = c/c_m \rightarrow c = 186\,753 \text{ km/s}$  und  $c_b = 183\,430 \text{ km/s}$ .  
 b)  $\sin \alpha_1 / \sin \beta_1 = n \rightarrow \beta_1 = \dots \rightarrow \alpha_2$  (rot) =  $63^\circ 35'$ ,  
 $\sin \alpha_2 / \sin \beta_2 = n \rightarrow \beta_2 = \dots \rightarrow \alpha_2$  (blau) =  $67^\circ 28'$ .  
 (Da  $\beta_1 + \beta_2 = \gamma$ )

### Die Lichtwelle

1. a)  $f = c\lambda = 1000 \text{ Hz}$ .  
 b)  $\lambda < d$ : Die Abstrahlung erfolgt senkrecht zur Wand.  
 $\lambda > d$ : Die Abstrahlung erfolgt in Halbkugelwellen, denn die Membran kann als »punktförmige« Schallquelle angesehen werden.  
 c) Man hört seitwärts die tiefen Töne besser.  
 2.  $\lambda = d \cdot \sin \varphi \approx d \cdot \tan \varphi = d \cdot s/D = 650 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ .  
 3. a) Rotes Licht:  $\varphi_1 = \sin \varphi_1 = \lambda_1/d = 7 \cdot 10^{-2} \text{ rad} \approx 4^\circ$ .  
 Violette Licht:  $\varphi_2 = \sin \varphi_2 = \lambda_2/d = 4 \cdot 10^{-2} \text{ rad} \approx 2^\circ 17'$ .  
 b) Spektrum 1. Ordnung:  $0,04 \text{ rad} \leq \varphi \leq 0,07 \text{ rad}$ ,  
 Spektrum 2. Ordnung:  $0,08 \text{ rad} \leq \varphi \leq 0,14 \text{ rad}$ .  
 4.  $2\lambda = d \cdot \sin \varphi \approx d \cdot \tan \varphi = d \cdot s/D \rightarrow d = 0,01 \text{ mm}$ .

$\lambda$ (nm)	Rot	Gelb	Grün	Violett
in Wasser	525	450	375	300
in Glas	467	400	333	267

- b) Dicke der Luftschicht:  $2d = 2k \cdot \lambda / 2 \rightarrow d = \lambda / 2 = 300 \text{ nm}$ .  
 Dicke der Glasschicht:  $2d = 2k \cdot \lambda_G / 2 \rightarrow d = \lambda_G / 2 = 200 \text{ nm}$ .  
 (Für  $k = 0$  ergibt sich  $d = 0$ . Dieser Fall wird ausgeschlossen.)  
 6. Dicke der Seifenlamelle:  $d = \lambda_W / 4 = \lambda / 4n = 101,25 \text{ nm}$ .  
 7. a)  $\lambda = r^2/k \cdot R = 666 \text{ nm}$ , b)  $r = \sqrt{\lambda \cdot k \cdot R/n} = 8,65 \text{ mm}$ .  
 8. a)  $2d = 2k \cdot \lambda/2 \rightarrow d = 5,89 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ .  
 b)  $2d = 2k \cdot \lambda/2 \rightarrow k = 24$  Streifen.  
 c) Am Ende des Luftkeils liegt ein dunkler Streifen.  
 9. Das linear polarisierte Licht des ersten Polarisationsfilters wird im zweiten (mittleren) Polarisationsfilter in zwei linear polarisierte Komponenten aufgespalten, von denen die eine absorbiert wird. Die durchfallende Komponente wird im dritten Polarisationsfilter wiederum in zwei linear polarisierte Komponenten aufgespalten. Die eine Komponente wird absorbiert, die andere tritt durch.  
 10.  $n = \frac{\sin \alpha_p}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_p}{\sin(180^\circ - \alpha_p - 90^\circ)} = \frac{\sin \alpha_p}{\cos \alpha_p} = \tan \alpha_p$ .  
 a) Wasser:  $\alpha_p = 53^\circ 03'$ , b) Diamant:  $\alpha_p = 67^\circ 33'$ ,  
 c) Diamant im Wasser:  $\tan \alpha_p = c_W / c_D = n_D / n_W \rightarrow \alpha_p = 61^\circ 12'$ .  
 11. Wenn die Durchlaßrichtung der Brille senkrecht zur Wasseroberfläche steht, werden die am Wasser reflektierten Strahlen zum größten Teil in der Brille absorbiert. Die Strahlen aus dem Wasser dagegen dringen fast ungehindert hindurch.  
 12. Weil das Sonnenlicht an den Fenstern reflektiert wurde, war es vorwiegend linear polarisiert. Es wurde durch den Kristall in zwei linear polarisierte Komponenten aufgespalten, deren Schwingungsrichtungen aufeinander senkrecht standen. Diese Komponenten durchliefen als ordentlicher und als außerordentlicher Strahl den Kristall. Die Amplituden der Strahlen – und damit auch die Helligkeit der Bilder – veränderten sich mit der Stellung des Kristalls.

$$13. f_B = f_0 \left(1 + \frac{v_0}{c}\right) - \frac{v_0}{c} = \frac{f_0 - f_0 \frac{v_0}{c} - \lambda_0 - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{650 - 580}{580} = 0,12$$

Es wären 12% der Lichtgeschwindigkeit nötig!

$$14. f_B = f_0 \left(1 + \frac{v_0}{c}\right) - \frac{v_0}{c} = \frac{f_0 - f_0 \frac{v_0}{c} - \lambda_0 - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{736 - 589}{589} = 0,25$$

Der Spiralnebel bewegt sich mit etwa 75 000 km/s von uns weg.

15. Hohe Temperaturen bedeuten schnelle thermische Bewegung der Moleküle. Gasmoleküle, die sich auf den Beobachter zubewegen, erzeugen ein blauverschobenes Spektrum. Gasmoleküle, die sich vom Beobachter weg bewegen, liefern ein rotverschobenes Spektrum. Weil wegen der unterschiedlichen Bewegungsrichtungen auch alle Zwischenwerte vorkommen, führt die thermische Bewegung zu einer Verbreiterung der Spektrallinien.

### Emission und Absorption

1. 1,86 eV; 2,15 eV; 3,10 eV (1eV =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  J).
2.  $8,46 \cdot 10^{14}$  Hz, UV-Bereich.
3. Die Beleuchtung muß mit weißem Licht erfolgen.
4. A sieht grün aus, und B wirkt schwarz.
5. Der Körper sieht im durchscheinenden Licht gelb aus, wenn er vom auffallenden weißen Licht nur die gelbe Spektralfarbe oder aber den roten und den grünen Bereich des Spektrums durchtreten läßt.
6. Die Lichtquelle enthält Quecksilber.
7. a) blau, b) rot, c) grün.
8. Gelbes Licht + blaues Licht = weißes Licht.
9. Das Gelbfilter absorbiert die violetten und blauen Strahlen. Dadurch fällt der blaue Himmel auf der Schwarzweißphotographie dunkler aus. Der Kontrast wird stärker.

## A.4. Elektrizität

### Die elektrische Ladung

- Sandburgen werden aus nassem Sand gebaut. Was hat diese Feststellung mit Elektrizität zu tun?
- Ungeladene Gegenstände, wie z.B. Staubteilchen werden von einer geladenen Kugel angezogen. Wie läßt sich diese Erscheinung erklären?
- Ändert sich die Masse eines Körpers, wenn Sie ihn elektrisch laden?
- Erklären Sie die Festigkeit eines Ionenkristalles und eines Metalles mit Hilfe des Coulombschen Gesetzes.



Ionenkristall



Metall

- Eine Ladung  $Q_1$  liegt zwischen zwei gleich großen Ladungen  $Q_2$  und  $Q_3$ .
  - Wirkt eine Kraft auf  $Q_1$ , wenn sich diese Ladung genau in der Mitte zwischen  $Q_2$  und  $Q_3$  befindet?
  - Welche Richtung hat die Kraft auf  $Q_1$ , wenn man diese Ladung ein Stück in Richtung auf  $Q_3$  verschiebt?
- Im Wasserstoffatom beträgt der Abstand zwischen Atomkern und Elektron rund  $10^{-10}$  m. Der Atomkern trägt die Ladung  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Das Elektron hat eine gleich große negative Ladung.
  - Wie groß ist die elektrische Anziehungskraft zwischen Atomkern und Elektron?
  - Wie groß ist die Gravitationsanziehung zwischen Atomkern und Elektron, wenn deren Massen  $m_K = 1,7 \cdot 10^{-27}$  kg und  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kg betragen?
  - In welchem Verhältnis stehen die beiden Kräfte?
  - Nach dem Rutherford'schen Atommodell bewegt sich das Elektron auf einer Kreisbahn um den Kern. Welche Bahngeschwindigkeit mußte Rutherford für das Elektron annehmen?
  - Die Bewegung des Elektrons stellt einen mikroskopisch kleinen Stromkreis dar. Wie groß ist die Stromstärke?

### Der Gleichstrom

- Eine Batterie liefert eine Stunde lang einen Strom von 1 A.
  - Wie viele Elektronen fließen dabei durch die Batterie?
  - Ändert sich die elektrische Ladung der Batterie dabei?
  - Wie ist der Ausdruck zu verstehen, „die Batterie wird entladen“?
- Zwei Widerstände  $R_1 = 1 \Omega$  und  $R_2 = 3 \Omega$  werden parallel geschaltet.
  - Wie groß ist der Gesamtwiderstand?
  - Welcher Strom fließt durch jeden der beiden Widerstände, wenn eine Spannung  $U = 220$  V angelegt wird?
- Ein Cassetten-Recorder wird mit 6 hintereinandergeschalteten Monozellen zu je 1,5 V betrieben. Die Stromstärke beträgt bei Betrieb ca. 0,25 A. Bei dieser Beladung haben die Batterien eine Lebensdauer von 15 Stunden. Berechnen Sie den Preis für eine Betriebsstunde. Berechnen Sie den Preis für 1 kWh elektrische Energie. Der Cassetten-Recorder kann auch mit 220 V Netzspannung betrieben werden. Vergleichen Sie die Energiekosten.

1 Batterie = 1€

- Welche Temperaturänderung erfährt eine 100 m lange und 1,2 mm dicke Kupferleitung, die eine Stunde lang von 6 A durchflossen wird, wenn keine Wärme nach außen abgegeben wird? (Spezifischer Widerstand  $2 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$ ; Dichte 8,93 kg/dm<sup>3</sup>; spezifische Wärmekapazität 0,392 kJ/kgK)
- Eine Aluminiumleitung der Länge  $L = 100$  km hat einen Querschnitt  $A = 1 \text{cm}^2$ . Wie groß muß die Spannung sein, damit ein Strom von 1000 A fließt?
- Eine Taschenlampenbatterie hat eine Quellenspannung  $U = 1,5$  V. Ihr Kurzschlußstrom beträgt 1 A.
  - Wie groß ist ihr Innenwiderstand?
  - Welche Klemmenspannung steht zur Verfügung, wenn ein Verbraucher mit  $R = 1 \Omega$  angeschlossen wird?
- Eine 12-V-Autobatterie liefert  $I = 3$  A zum Betrieb eines Scheinwerfers.
  - Wie groß ist die Leistung der Batterie?
  - Welche Energie gibt die Batterie in einer Stunde ab?
- Stellen Sie die Leistung einiger elektrischer Haushaltsgeräte (Radio, Fernseher, Staubsauger, Bügeleisen,...) fest.
  - Welche Stromstärke fließt bei einer Spannung von 220 V?
  - Welchen Innenwiderstand haben diese Geräte?
  - Was kostet der Betrieb jedes dieser Geräte stündlich?
  - Welche ungefähren Kosten erwachsen monatlich?
- Eine Taschenlampenbatterie versorgt eine Lampe mit der Spannung  $U = 3$  V, wobei die Stromstärke  $I = 0,2$  A beträgt.
  - Welchen Widerstand hat das Lämpchen?
  - Welche Leistung gibt es ab?
  - Was kostet eine Kilowattstunde Batterieleistung, wenn die Lampe 5 Stunden lang betrieben werden kann und die Batterie 5 10,- kostet? Vergleichen Sie dies mit dem Preis anderer Energieformen.

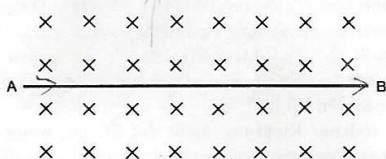
Anmerkung: In der Wärmelchre finden Sie die Heizwerte einiger Brennstoffe und den Nährwert einiger Nahrungsmittel. Beziehen Sie auch diese Energieformen in Ihren Vergleich ein. Ein Mensch leistet bei angestrengter Arbeit rund 100 W, ein Pferd etwa 500 W. Wie würden Sie den Wert einer Tagesarbeit ansetzen?

20. Ein Lautsprecher hat einen Widerstand  $R = 8 \Omega$ . Er soll mit der Leistung  $P = 50 \text{ W}$  betrieben werden und ist über eine 10 m lange Zuleitung mit einer Hi-Fi-Anlage verbunden.
- Welchen Widerstand darf diese Leitung haben, damit die Leitungsverluste nur 5% der Verstärkerleistung betragen?
  - Welchen Querschnitt muß der Draht haben, wenn er aus Kupfer besteht? ( $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ )
21. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der abgebildeten Anordnung. Welche Ströme fließen, wenn 220 V angelegt werden?
22. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der abgebildeten Anordnung. Welche Ströme fließen, wenn 220 V angelegt werden?
23. Der spezifische Widerstand von Eisen beträgt  $\rho = 10^{-5} \Omega\text{cm}$ . Wie lang muß ein Eisendraht mit dem Querschnitt  $A = 1 \text{ mm}^2$  sein, damit sein Widerstand  $R = 1 \Omega$  beträgt?
24. Eine Spule besteht aus 1000 Windungen eines Kupferdrahtes mit dem Querschnitt  $A = 0,1 \text{ mm}^2$ . Der Durchmesser der Spule beträgt 3 cm. Wie groß ist der Widerstand der Spule? ( $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ )
25. In einem Wohnhaus werden 80 m Kupferdraht ( $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ ) Tag für Tag ca. 5 h lang von Strom der Stärke 4,5 A durchflossen. Wieviele Kilowattstunden werden jährlich eingespart, wenn Draht von 1,5 mm<sup>2</sup> Querschnitt anstelle von 0,75 mm<sup>2</sup> verlegt werden?
26. Weshalb brennen alte Glühlampen meist beim Einschalten und nicht während des Betriebes durch?
27. Zwei in einem Kochherd eingebaute Heizkörper geben in Reihe 133 W und parallelgeschaltet 600 W ab. Welche Leistungen werden abgegeben, wenn jeder Heizkörper einzeln eingeschaltet wird?
28. Für eine Projektionslampe von  $P = 150 \text{ W}$  und  $U = 60 \text{ V}$  soll zum Anschluß an 220 V ein Vorschaltwiderstand geschaltet werden. Wie groß muß dieser Widerstand gewählt werden, und welche Leistung verbraucht er?
29. Ein elektrischer Heißwasserspeicher mit einem Wirkungsgrad von 90% soll 50 l Wasser in 2 h von 15°C auf 80°C erwärmen. Welche Leistung ist nötig? Wie teuer kommt diese elektrische Arbeit? Welche Stromstärke ergibt sich bei einer Betriebsspannung von 220 V?
30. Schaltet man zwei Batterien hintereinander, so verdoppelt sich die Klemmenspannung. Was erreicht man durch Parallelschalten von Batterien?
31. Der Meßbereich  $I_1 = 20 \text{ mA}$  eines Strommessers soll durch Parallelschalten eines Widerstandes auf 200 mA, bzw. 1 A erweitert werden. Wie groß sind die entsprechenden Widerstände, wenn der Widerstand des Instrumentes einschließlich Anschlußkabel  $R_1 = 3 \Omega$  beträgt?
- Das elektrische Feld*
32. Was können Sie aus dem hier gezeigten Feldlinienbild über die Ladungsanordnung entnehmen?
33. Bei elektrostatischen Experimenten treten Ladungen auf, die etwa  $Q = 10^{-8} \text{ C}$  betragen.
- Welche Kraft wirkt auf eine derartige Ladung im erdelektrischen Feld?
  - Kann man diese Kraft leicht messen?
34. Wie groß ist die Gesamtladung der Erde an der Oberfläche, wenn an der Erdoberfläche die elektrische Feldstärke 130 V/m gemessen wird und die Erde als vollkommene Kugel mit gleichmäßiger Ladungsverteilung an der Oberfläche betrachtet wird? (Der Erdradius beträgt 6370 km.)
35. Im Freien besteht zwischen Ihrer Nase und Ihren Füßen eine Potentialdifferenz von 200 V. Warum erhalten Sie bei dieser Spannung keine elektrischen Schläge? Warum ist es unmöglich, mit einem z.B. 2 m breiten Stecker ein Elektrogerät mit der elektrischen Energie des Erdfeldes zu betreiben?
36. Eine Wolke befindet sich 420 m hoch über der Erdoberfläche. Sie hat eine Flächenausdehnung von  $A = 10^5 \text{ m}^2$ . Zwischen Wolke und Erde befindet sich ein elektrisches Feld mit der Feldstärke  $\mathcal{E} = 2 \cdot 10^5 \text{ V/m}$ .
- Wie groß ist die Spannung zwischen Wolke und Erdboden?
  - Wie groß ist die elektrische Ladung der Wolke?
37. Das Wasser einer Dusche erzeugt eine negative Ladung in der Luft und elektrische Feldstärken bis zu 800 V/m. Wie kommt das?
38. Welche Spannung liegt zwischen den Punkten A und B, den Punkten A und C und den Punkten B und C im abgebildeten Feld, und welcher Punkt hat das höchste Potential?
39. Der Abstand zweier Punkte im erdelektrischen Feld betrage 1 m. Welche Spannung liegt zwischen diesen beiden Punkten,
- wenn sie lotrecht untereinander liegen,
  - wenn sie in einer waagrechten Ebene liegen?
40. Ein Elektron ( $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ) durchläuft die Spannung  $U = 220 \text{ V}$ . Welche Energie und welche Geschwindigkeit hat es, wenn es anfänglich in Ruhe war?
41. Ein Elektrolytkondensator hat die Fläche  $A = 1 \text{ m}^2$  und den Plattenabstand  $s = 10^{-6} \text{ m}$ . Zwischen den Platten befindet sich Aluminiumoxid ( $\epsilon_r = 10$ ).
- Berechnen Sie die Kapazität dieses Kondensators.
  - Welche Spannung liegt am Kondensator, wenn er die Ladung  $Q = 10^{-4} \text{ C}$ , bzw.  $Q = 1 \text{ C}$  trägt?
42. Ein Plattenkondensator der Kapazität  $C = 100 \text{ pF}$  ist fest mit einer Spannung von 220 V verbunden. Wieviel Ladung fließt ab, wenn der Plattenabstand verdoppelt wird?
43. Wieviel Energie wird in einem Blitz umgesetzt, wenn 10 C bei einer Durchschnittsspannung von 50 MV fließen?
44. Kühe können getötet werden, wenn in ihrer Nähe ein Blitz einschlägt. Welche Erklärung gibt es dafür? Welche Folgerungen ergeben sich für unser Verhalten bei Gewittern?
45. Berührt ein Mensch die Hochspannungsleitung, so endet das meist tödlich. Für Schwalben gilt das nicht. Warum?
46. Aus einer Glühkathode austretende Elektronen durchlaufen die Anodenspannung  $U = 1,2 \text{ kV}$ . Wie groß ist die Geschwindigkeit der Elektronen?
47. In einem Blitzgerät wird ein Kondensator mit  $C = 100 \mu\text{F}$  in 5 s bis auf eine Spannung von 500 V geladen und beim Blitzen in 1/1000 s entladen. In welcher Größenordnung liegt die im Kondensator gespeicherte Energie und wie verhalten sich die Leistungen beim Speichern, bzw. Entladen?

48. Eine positive Ladung steht einer neutralen Metallfläche gegenüber.  
 a) Wie verschieben sich die Ladungen in der Metallfläche?  
 b) Wirkt eine Kraft zwischen der neutralen Metallfläche und der positiven Ladung?
49. Erklären Sie an Hand der Abbildung, warum eine positive Punktladung und eine schwach positiv geladene Metallkugel einander anziehen können.
50. Einer Monozelle mit der Spannung  $U = 1,5 \text{ V}$  entnimmt man während der Betriebsdauer  $t = 15 \text{ h}$  die Stromstärke  $I = 0,2 \text{ A}$ . Vergleichen Sie die in der Batterie gespeicherte Energie mit der eines Kondensators von  $2 \mu\text{F}$ , der durch eine Spannung von  $200 \text{ V}$  aufgeladen wird.
51. Wie lang müssen zwei  $4 \text{ cm}$  breite Stanniolstreifen eines Blockkondensators der Kapazität  $1 \text{ nF}$  sein, wenn sich zwischen den Streifen Papier der Dicke  $d = 0,04 \text{ mm}$  ( $\epsilon_r = 2$ ) befindet?
52. Ein Plattenkondensator mit der Plattenfläche  $A = 0,6 \text{ m}^2$  und dem Plattenabstand  $d = 3 \text{ mm}$  wird mit der Spannung  $U = 600 \text{ V}$  aufgeladen und dann von der Spannungsquelle abgetrennt. Wie groß ist die vom Kondensator aufgenommene Ladung? Welche Feldstärke herrscht im Inneren des Plattenkondensators? Wie groß ist die Kraft, mit der sich die Platten anziehen?
53. Ein Öltröpfchen mit dem Radius  $r = 10^{-3} \text{ mm}$  trägt drei Elementarladungen und befindet sich im vertikalen, homogenen Feld eines Millikan-Kondensators mit dem Plattenabstand  $d = 0,5 \text{ cm}$ . Welche Spannung muß zwischen den Platten liegen, damit das Öltröpfchen schwebt? (Die Dichte des Öls beträgt  $950 \text{ kg/m}^3$ .)

### ✓ Ströme im Magnetfeld

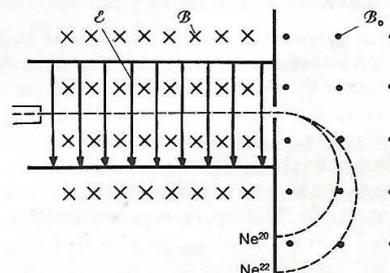
54. Die Feldlinien eines Magnetfeldes laufen in die Papierebene hinein. Senkrecht zu den Feldlinien ist ein Draht gespannt (siehe Abbildung). In welcher Richtung wirkt die Kraft, wenn durch den Draht ein Strom von links nach rechts fließt?



55. Das Magnetfeld der Erde beträgt  $B = 6 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ . Durch eine Gleichstromleitung fließen  $1500 \text{ A}$ . Welche magnetische Kraft wirkt pro Kilometer auf die Leitung,  
 a) wenn sie längs des Äquators in West-Ost-Richtung verläuft,  
 b) wenn sie mit der magnetischen Nord-Süd-Richtung einen Winkel von  $30^\circ$  einschließt, und der Strom nach NO fließt?
56. Das Magnetfeld im Luftspalt eines dynamischen Lautsprechers beträgt  $0,1 \text{ T}$ . Im Luftspalt ist eine Spule mit einer Drahtlänge von  $10 \text{ m}$  beweglich aufgehängt und mit der Lautsprechermembran fest verbunden. Durch die besondere Bauart steht das Magnetfeld überall senkrecht zum Draht der Spule. Welche Kraft wirkt auf diese „Schwingspule“, wenn sie von  $0,5 \text{ A}$  durchflossen wird?

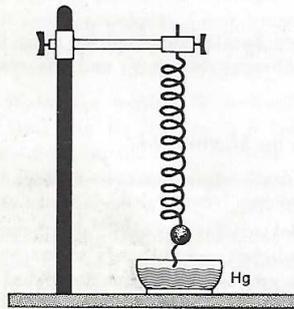
### ✗ Teilchen im Magnetfeld

60. Die Feldstärke eines homogenen Magnetfeldes beträgt  $B = 5 \cdot 10^2 \text{ T}$ .  
 a) Ein Elektron ( $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ) bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v = 10^7 \text{ m/s}$  senkrecht zu den Feldlinien. Wie groß ist der Radius der Bahn?  
 b) Welchen Radius hätte die Bahn eines  $\alpha$ -Teilchens gleicher Energie? ( $m = 6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $Q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )
61. • Senkrecht zu einem homogenen Magnetfeld werden gleiche geladene Teilchen mit verschiedener kinetischer Energie eingeschossen. Zeigen Sie, daß alle Teilchen ihre Kreisbahn in der gleichen Zeit durchlaufen, unabhängig von Energie und Bahnradius. Inwiefern spielt dieser Satz beim Zyklotron eine wichtige Rolle?
62. • Ein homogenes elektrisches Feld ( $\mathcal{E} = 10^3 \text{ V/m}$ ) und ein homogenes magnetisches Feld ( $B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ ) stehen aufeinander senkrecht. Ein Strom einfach geladener Ionen wird senkrecht zu den Feldlinien eingeschossen (siehe Abbildung).  
 a) Wie groß ist die Geschwindigkeit jener Ionen, die nicht abgelenkt werden?  
 b) Diese Ionen – es handle sich um Neonionen der Atommassen 20 und 22 – treten durch einen Schlitz in ein homogenes magnetisches Feld  $B_0 = 0,09 \text{ T}$ , das senkrecht zur Bewegungsrichtung liegt. In welchem Abstand voneinander werden beide Ionenarten auf eine Photoplatte treffen, wenn sie einen Halbkreis durchlaufen haben?  
 c) Kann ein Massenspektrograph besser die Isotope leichter oder schwerer Elemente trennen?



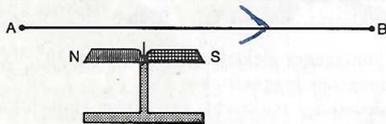
### Kräfte zwischen stromführenden Drähten

63. Weshalb stoßen zwei in paralleler Richtung dahinfliegende „Elektronenkettens“ einander ab, während zwei in gleicher Richtung durch parallele Drähte fließende Ströme einander anziehen?
64. Zwei in paralleler Richtung ausgespannte Drähte haben einen Abstand von 10 cm. Durch den einen Draht fließt der Strom  $I_1 = 10$  A, durch den anderen Draht der Strom  $I_2 = 20$  A. Welche magnetische Kraft wirkt pro Meter auf jeden Draht,  
 a) wenn die Ströme in gleicher Richtung fließen?  
 b) wenn die Ströme in entgegengesetzter Richtung fließen?
65. Ein Ende eines gewindeartigen federnden Drahtes ist in ein Stativ eingeklemmt. Das andere Ende taucht in eine Schale mit Quecksilber (siehe Abbildung). Fließt Strom, so verkürzt sich der Draht und öffnet den Stromkreis. Dadurch verlängert er sich wieder und schließt den Stromkreis usw. Wie ist dies zu erklären? (Kräfte einer Spule!)

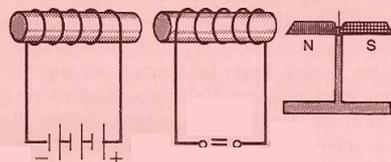


### Erzeugung magnetischer Felder

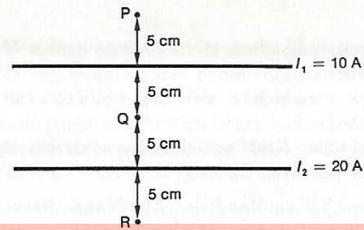
66. In welcher Richtung muß der Strom durch den waagrechten Draht fließen, damit sich die Magnetnadel mit dem Südpol zum Beobachter dreht (siehe Abbildung)?



67. Bestimmen Sie in den Abbildungen zu dieser Aufgabe  
 a) die Magnetpole der Spule  
 b) die Pole der Spannungsquelle.



68. Zwei in paralleler Richtung ausgespannte Drähte haben einen Abstand von 10 cm. Durch den einen Draht fließt der Strom  $I_1 = 10$  A, durch den anderen Draht der Strom  $I_2 = 20$  A. Wie groß ist der Betrag von  $B$  in den Punkten P, Q, R, (siehe Abbildung), und wie ist  $B$  in diesem Punkt gerichtet,  
 a) wenn die Ströme in gleicher Richtung fließen,  
 b) wenn die Ströme in entgegengesetzter Richtung fließen?



69. Eine Zylinderspule hat 40 cm Länge und trägt 1000 Windungen. Sie wird von 0,1 A durchflossen. Die Permeabilität des Eisenkerns beträgt  $\mu = 1200$ .  
 a) Wie groß ist die Feldstärke  $B$  im Innern der luftgefüllten Spule?  
 b) Wie groß ist die Feldstärke  $B$  im Innern der eisengefüllten Spule?

70. Über einer Spule hängt an einer Feder ein Eisenstück. Was geschieht,  
 a) wenn durch die Spule Gleichstrom fließt,  
 b) wenn die Stromstärke vergrößert wird,  
 c) wenn die Stromrichtung geändert wird?

71. In einem homogenen Magnetfeld ( $B = 0,1$  T) wird ein 20 cm langer gerader Draht mit der Geschwindigkeit  $v = 5$  m/s so bewegt, daß die Richtung des Drahtes, seine Bewegungsrichtung und die Richtung der Feldlinien jeweils paarweise aufeinander senkrecht stehen.  
 a) Wie groß ist die Induktionsspannung längs des Drahtes?  
 b) Wie groß ist der Induktionsstrom, wenn der Draht zusammen mit dem angeschlossenen Stromkreis  $0,15 \Omega$  Widerstand hat?  
 c) Welche elektrische Energie entsteht dabei in 10 Sekunden?  
 d) Welche mechanische Energie muß während dieser 10 Sekunden zur Bewegung des Drahtes aufgewendet werden?

72. • Eine waagrecht liegende Leiterschleife wird aus einem lotrechten magnetischen Feld herausgezogen.  
 a) Wird die Schleife bei vergrößertem elektrischen Widerstand leichter zu ziehen sein?  
 b) Ist bei großer oder kleiner Geschwindigkeit mehr Arbeit erforderlich?

73. Eine stromdurchflossene Spule wird in axialer Richtung auf eine Spule gleicher Bauart zubewegt. Dabei wird in der zweiten Spule eine Spannung induziert.  
 a) Fließt der Induktionsstrom in der zweiten Spule in gleicher oder entgegengesetzter Richtung wie der Strom in der ersten Spule?  
 b) In welcher Richtung fließt der Strom, wenn die erste Spule von der zweiten fortbewegt wird?

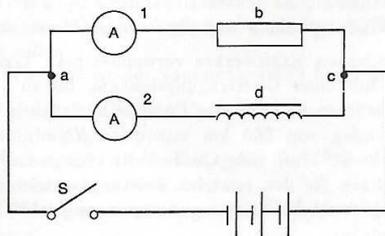
74. Ein Stabmagnet fällt durch eine waagrechte Leiterschleife hindurch.  
 a) Wie ändert sich dabei der in der Schleife induzierte Strom?  
 b) Wie wirkt sich der Induktionsstrom auf die Beschleunigung des Stabmagneten aus?

75. Auf einen lotrechten Eisenstab ist eine Spule geschoben. Über ihr liegt ein Kupfering, der den Stab ebenfalls umschließt. Wenn man eine Gleichspannung an die Spule legt, fliegt der Ring nach oben weg. Wie ist das zu erklären?

76. Ein Flugzeug fliegt von O nach W. Dabei ergibt sich zwischen den Flügelspitzen eine Spannung von ca. 0,5 V. Können Sie erklären, wie diese Spannung entsteht und wie man sie berechnet?

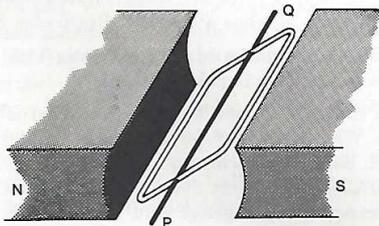
### Selbstinduktion

77. Eine Spule (Länge 25 cm, Querschnitt  $10 \text{ cm}^2$ ) hat 800 Windungen. Sie wird von 2 A durchflossen.
- Wie groß ist die Induktivität der Spule?
  - Wie groß ist der magnetische Fluß in der Spule?
  - Welche Induktionsspannung tritt an den Enden der Spule auf, wenn der Strom pro Sekunde um 1 A erhöht wird?
78. Welche Gefahr besteht, wenn ein großer, mit Gleichstrom betriebener Elektromagnet plötzlich abgeschaltet wird?
79. In der Abbildung ist der Widerstand des Zweiges *abc* gleich groß wie der Widerstand des Zweiges *adc*. Was läßt sich über die Ausschläge der Amperemeter 1 und 2 in dem Augenblick aussagen, in dem der Stromkreis über den Schalter *S* geschlossen wird?



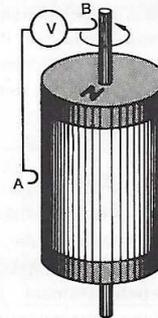
### Generator und Motor

80. Ein Drahtrahmen mit einer Fläche von  $100 \text{ cm}^2$  dreht sich in einem homogenen Magnetfeld ( $B = 0,05 \text{ T}$ ) mit 50 Umdrehungen pro Sekunde um die Achse *PQ* (siehe Abbildung).
- Wie groß ist die induzierte Spannung für die Stellung  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$  des Rahmens relativ zum Feld?
  - Wieviele Windungen muß man auf den Rahmen wickeln, damit die maximale Spannung 10 V beträgt?

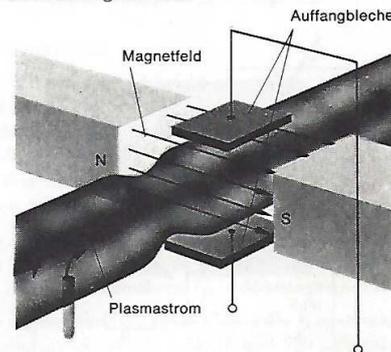


81. Ein Generator im Hauptschluß speist 50 Lampen zu je 100 W Leistung. Die Klemmenspannung des Generators beträgt 220 V. Die Ankerwicklung hat  $0,2 \Omega$  und die Erregerwicklung  $2,3 \Omega$  Widerstand. Wie groß ist die Induktionsspannung?
82. Entnimmt ein Elektromotor bei langsamer oder bei schneller Umdrehung des Ankers mehr Energie aus dem Netz? Weshalb wird ein Anlaufwiderstand mit dem Motor in Reihe geschaltet?
83. Ein Motor soll eine Aufzugskabine mit 600 kg in 10 s 20 m hochziehen. Wieviel Strom nimmt er bei einem Wirkungsgrad 75 % und einer Spannung von 380 V auf?
84. Die Rotorblätter einer Hubschraubers sind 5 m lang und drehen sich mit 8 Umdrehungen pro Sekunde um eine lotrechte Achse. Die lotrechte Komponente des Erdmagnetfeldes beträgt an dieser Stelle  $6 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ . Welche Spannung liegt an einem Rotorblatt?

85. Ein zylinderförmiger Stabmagnet wird um seine Achse gedreht (siehe Abbildung). Der eingezeichnete Spannungsmesser nimmt an der Rotation nicht teil, sondern steht über Schleifkontakte mit der Achse bzw. mit dem Magnetstab in Verbindung. Was ist zu erwarten?



86. Beim magneto-hydrodynamischen Generator wird ein heißer, stark ionisierter Gasstrom senkrecht durch ein Magnetfeld geleitet. An den eingezeichneten Auffangblechen (siehe Abbildung) kann dann die Generatorspannung abgegriffen werden. Welches Blech lädt sich positiv, welches negativ auf?



87. In einem Fahrraddynamo stehen sich koaxial zwei Spulen gegenüber. Die Windungsflächen der Spulen betragen  $A = 2,8 \text{ cm}^2$ . Zwischen den Spulen rotiert ein Keramikmagnet; er erzeugt in dem von den Spulen umschlossenen Raum die maximale magnetische Flußdichte  $B = 0,3 \text{ T}$ . Das vom Fahrradreifen angetriebene Reibrad hat den Durchmesser  $d = 2 \text{ cm}$ . Mit welcher Frequenz dreht sich der Magnet bei einer Fahrgeschwindigkeit von  $v = 12 \text{ km/h}$ ? Wie groß muß die Windungszahl  $n$  der beiden Spulen zusammen sein, wenn die vom Dynamo erzeugte Wechselspannung bei der genannten Geschwindigkeit die Scheitelspannung  $U_0 = 8,4 \text{ V}$  haben soll?

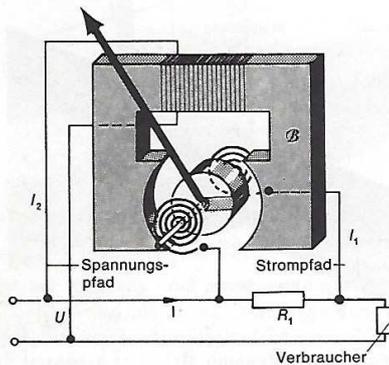
### Wechselstromwiderstände

88. Zeigen Sie, daß  $\omega L$  und  $1/\omega C$  tatsächlich die Maßbezeichnung Ohm verdienen.
89. Wie groß ist der kapazitive Widerstand eines Kondensators der Kapazität  $1 \mu\text{F}$  für a) Gleichstrom; b) 50 Hz; c) 100 kHz; d) 100 MHz?
90. Zeichnen Sie schematisch in ein Diagramm mit der Frequenz als Abszisse den kapazitiven Widerstand eines Kondensators ein.
91. Wie groß ist der induktive Widerstand einer Spule der Induktivität  $1 \text{ mH}$  für a) Gleichstrom; b) 50 Hz; c) 100 kHz; d) 100 MHz? Zeichnen Sie schematisch in ein Diagramm mit der Frequenz als Abszisse den induktiven Widerstand einer Spule ein.

92. An einen Kondensator legt man eine technische Wechselspannung von 20 V an und mißt einen Strom von 100 mA. Wie groß ist die Kapazität?
93. An eine Spule legt man zunächst eine Gleichspannung von 4 V an und mißt einen Strom von 0,1 A. Dann legt man eine technische Wechselspannung von 12 V an und mißt einen Strom von 30 mA.
- Wie groß ist der Ohmsche Widerstand der Spule?
  - Wie groß ist die Induktivität der Spule?

#### Leistung und Leistungsfaktor

94. Zeigen Sie, daß sich die Wirkleistung auch berechnen läßt durch  $P = I_{\text{eff}}^2 \cdot R$ .
95. Die Abbildung zeigt ein Wattmeter. Es ist ähnlich gebaut wie ein Drehspulinstrument. Das Magnetfeld wird jedoch nicht von einem Permanentmagneten, sondern in einer festen Spule von einem Strom erzeugt, welcher der anliegenden Spannung proportional ist.
- Zeigen Sie, daß der Ausschlag der Wirkleistung proportional ist.
  - Weshalb schlägt das Wattmeter nicht aus, wenn  $\varphi = \pm 90^\circ$  ist?



96. Eine Kapazität ( $10 \mu\text{F}$ ) und ein Ohmscher Widerstand ( $100 \Omega$ ) sind in Reihe geschaltet und an 220 V Netzspannung gelegt.
- Wie groß sind Stromstärke und Phasenverschiebung?
  - Welche Leistung zeigt ein Wattmeter an?
97. Eine Spule mit Eisenkern liegt an 220 V Netzspannung und wird von 1 A durchflossen. Ein Wattmeter zeigt 50 W an.
- Wie groß ist der Ohmsche Widerstand?
  - Wie groß ist der induktive Widerstand?
  - Wie groß ist die Phasenverschiebung?
98. Durch Zuschalten von Kondensatoren wird der durchschnittliche Leistungsfaktor eines Industrierwerkes von 0,75 auf 0,92 verbessert. Die Wirkleistung bleibt die gleiche.
- Um welchen Faktor vermindern sich die Stromwärmeverluste in der Zuleitung?
  - Warum darf man keinen Verbraucher an das öffentliche Wechselstromnetz anschließen, der eine große Phasenverschiebung verursacht?
99. Auf dem Typenschild eines Elektromotors werden die folgenden Daten angegeben: 220 V; 50 Hz; 1,5 kW;  $\cos \varphi = 0,85$ .
- Bestimmen Sie die effektive Stromstärke durch den Motor.

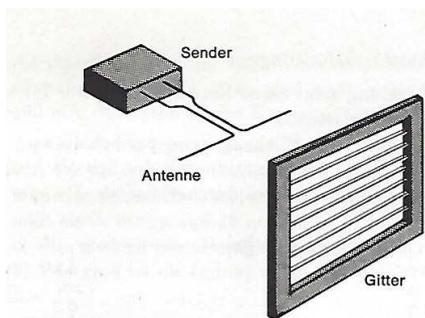
- Bestimmen Sie den induktiven und den Ohmschen Widerstand des Motors.
- Auf welchen Wert erhöht sich der Leistungsfaktor, wenn parallel zum Elektromotor ein Kondensator der Kapazität  $100 \mu\text{F}$  geschaltet wird?

#### Transformatoren

100. Ein 12 V-Transformator liefert eine Stromstärke von 10 A an einen Motor.
- Welche Leistung besitzt der Motor?
  - Welche Stromstärke fließt durch die Primärspule, wenn diese an eine 220 V-Steckdose angeschlossen ist?
  - Geben Sie das Übersetzungsverhältnis des Transformators an.
101. Auf einem Spielzeugtransformator, der zum Anschluß an eine Steckdose vorgesehen ist, findet man die Aufschrift: Leistung  $P_S = 30 \text{ W}$ ; maximale Stromstärke  $I_S = 2 \text{ A}$ . Berechnen Sie die Sekundärspannung  $U_S$ , das Verhältnis des Windungszahlen und die Primärstromstärke  $I_P$ .
102. In modernen Kraftwerken verwendet man Transformatoren mit einer Übertragungsleistung bis zu 350 MW. Wir nehmen an, daß die Energieübertragung auf eine Entfernung von 200 km mit einer Aluminiumleitung ( $\rho = 3 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ ) vom Querschnitt  $A = 3 \text{ cm}^2$  erfolgt. Berechnen Sie den relativen Leistungsverlust der Fernleitung, wenn die Übertragungsspannung 1 kV, bzw. 220 kV beträgt.
103. Ein Wechselspannungsgenerator erzeugt eine Effektivspannung von 10 kV und gibt 10 MW an Leistung über eine Fernleitung mit dem Widerstand  $10 \Omega$  ab. Die Leitungsverluste betragen 5%. Bestimmen Sie die Stromstärke in der Fernleitung. Geben Sie das Übersetzungsverhältnis des Transformators an, der zwischen Generator und Fernleitung eingebaut ist. Wie groß wären die Leitungsverluste ohne Transformator?
104. Große Transformatoren befinden sich häufig in einem Ölbehälter mit einer künstlich vergrößerten Oberfläche – wie die Rippen eines Heizkörpers. Ihre Eisenkerne sind aus isolierten Blechen aufgebaut. Begründen Sie dies.
105. Ein Transformator wird sekundärseitig nicht belastet. Fließt in der Primärspule ein Strom?
106. Die Primärspule eines Transformators hat einen Ohmschen Widerstand  $R = 80 \Omega$  und eine Induktivität  $L = 1,1 \text{ H}$ . Sie ist für höchstens 1 A ausgelegt.
- Welcher Strom fließt durch die Primärspule, wenn sie an Netzspannung angelegt wird und man den Transformator sekundärseitig nicht belastet?
  - Wie groß ist in diesem Fall die Wirkleistung?
  - Was würde geschehen, wenn man den Transformator primärseitig an 220 V Gleichspannung anschließen würde?
107. Wie verändert sich die Stromstärke im Primär- und im Sekundärkreis eines eingeschalteten Transformators, wenn man den Eisenkern öffnet?
108. Welchen Strom kann man einem Transformator sekundärseitig maximal entnehmen, wenn die Primärwicklung maximal 1 A aufnehmen kann und die Spannung von 220 V auf 2000 V hoch transformiert wird? (Verluste vernachlässigen.)
109. Die Primärspule eines Transformators hat 250 Windungen. Es sollen 220 V auf 6,3 V herabtransformiert werden, wobei mit 10 % Leistungsverlust gerechnet werden muß. Wieviel Windungen muß man auf die Sekundärseite des Transformators wickeln?

## *Elektromagnetische Wellen*

122. Der Sender „Österreich 1“ strahlt elektromagnetische Wellen mit der Frequenz 520 kHz (MW-Bereich), bzw. 92,5 MHz (UKW-Bereich) ab. Wie groß sind die entsprechenden Wellenlängen?
123. Die beiden Sendeantennen einer Rundfunkstation haben einen Abstand von 100 m und schwingen in gleicher Phase mit 1500 kHz.
- Weshalb wirkt diese Antennenanordnung wie eine Richtantenne?
  - In welchen Richtungen ist die Station am besten zu empfangen?
  - Wie ließe sich das Analogon zu einem „Beugungsgitter“ konstruieren?
124. Ein Sender strahlt über eine waagrechte Dipolantenne eine elektromagnetische Welle der Frequenz  $10^9$  Hz ab. Die Welle ist naturgemäß linear polarisiert. Vor dem Sender steht ein Holzrahmen, in dem gitterartig Kupferdrähte eingespannt sind (siehe Abbildung).



- a) Wie muß der Rahmen orientiert sein, damit die Welle ungehindert durchtreten kann?
- b) Was geschieht, wenn der Rahmen um  $90^\circ$  gedreht wird?
- c) Vergleichen Sie diese Anordnung mit dem Polarisationsfilter der Optik.

## Lösungen der Übungsbeispiele

### Elektrische Ladungen und Ströme

1. Die Stärke des Stroms, der bei gegebener Spannung durch den Menschen fließt, ist in erster Linie durch den Hautwiderstand bestimmt. Dieser liegt zwischen  $1\text{ k}\Omega$  und  $5\text{ k}\Omega$ , der Widerstand im Inneren des Körpers beträgt  $100$  bis  $500\ \Omega$ . Der Hautwiderstand verringert sich mit zunehmender Dauer des Stromflusses, bis bei ca.  $0,1\text{ A}$  die tödliche Stromgrenze erreicht ist.
2. Der durch die Handmuskeln fließende Strom aktiviert die Muskeln und zwingt sie zur Kontraktion.
3. „Elektrische Fische“ besitzen sogenannte „Elektroplättchen“. Fließt durch diese Zellen ein Ionenstrom, so werden sie aktiviert. Jede dieser Zellen erzeugt dann eine Spannung von ca.  $15\text{ V}$ . Für die Dauer des Stromflusses werden die Zellen teils in Serie, teils parallel geschaltet. Indem die Reihen parallel geschaltet sind, wird der Strom durch jede Zelle so gering gehalten, daß diese nicht zerstört wird.
4. Die Leitungselektronen der Metalle befinden sich auf unterschiedlichen Energieniveaus. An der Berührungsfäche zweier verschiedener Metalle entsteht daher eine Potentialdifferenz (Spannung). Sobald der Froschschenkel die Tragevorrichtung berührt, entsteht ein geschlossener Stromkreis, der bewirkt, daß der Muskel des Froschschenkels kontrahiert.
5. Zwischen kleinen trockenen Partikeln (kleiner als  $50\ \mu\text{m}$ ) wirken van der Waalskräfte, bzw. zusätzliche elektrostatische Kräfte. Nasse Teilchen werden noch zusätzlich durch die Oberflächenspannung der Flüssigkeit zusammengehalten. Alle genannten Kräfte sind auf elektrische Kräfte zurückzuführen.
6. Staubteilchen werden im elektrischen Feld durch Influenz zu elektrischen Dipolen, die sich im elektrischen Feld einer Kugel ausrichten. Die Anziehungskraft der näher liegenden ungleichnamigen Ladungen überwiegt die Abstoßungskraft der gleichnamigen Ladungen. Die Ladungen sind immer so orientiert, daß sie das Feld schwächen und die Feldenergie sinkt. (Im Unterschied dazu wird beim Feld eines Ferromagneten das Feld im Außenraum verstärkt, die Schwächung des Feldes im Innenraum überwiegt aber den Energiebetrag der Verstärkung.
7. Ja. Elektrische Ladung ist immer an Masse gebunden. Zusätzliche Ladung muß daher die Masse des Körpers vergrößern. Ein zusätzlicher, allerdings wesentlich geringerer Massenzuwachs folgt aus der Relativitätstheorie: Ein geladener Körper hat ein bestimmtes elektrisches Potential, d.h. er besitzt elektrische Energie. Da Masse und Energie äquivalent sind ( $E = mc^2$ ), vergrößert sich seine Masse.
8. In beiden Fällen sind ungleichnamige Ladungen einander näher als gleichnamige. Die Anziehung überwiegt daher, so daß der Kristall zusammenhält.
9. a) Nach dem allgemeinen Wechselwirkungsgesetz müssen die Kräfte gleich groß sein.
10. a)  $F = 2,3 \cdot 10^{-8}\text{ N}$ ,  
 b)  $F = 1,25 \cdot 10^{-48}\text{ N}$ .  
 c) Die Gravitationsanziehung ist also rund 40 Zehnerpotenzen schwächer als die elektrische Anziehung.  
 d)  $v = 2,18 \cdot 10^6\text{ m/s}$   
 e)  $\approx 1\text{ mA}$

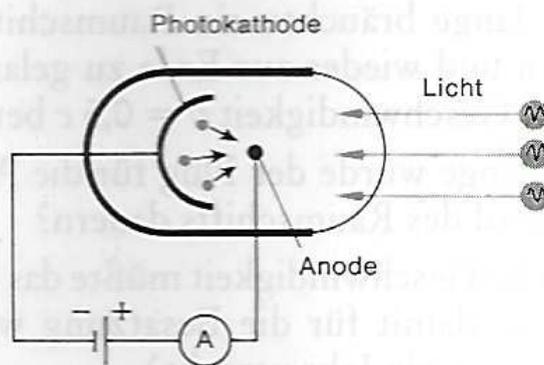
11. a)  $2,25 \cdot 10^{22}$  Elektronen.  
 b) Die Gesamtladung der Batterie bleibt unverändert gleich Null.  
 c) Die entladene Batterie vermag den Kreislauf der Elektronen nicht aufrechtzuerhalten.
12. a)  $R = 3/4 \Omega$ ,  
 b)  $I_1 = 220 \text{ A}$ ,  $I_2 = 73 \text{ A}$ .
13.  $W = IUt \rightarrow W = 2,25 \text{ Wh}$ , Preis für 1 kWh = (Batteriepreis)/0,00225.  $=0,4/0,00225=177,78\text{€}$
14. 582 K
15.  $U = 30000 \text{ V}$
16. a)  $R_i = 1,5 \Omega$ ; b)  $U_{KL} = 0,6 \text{ V}$
17. a) Die Leistung beträgt 36 W,  
 b) 36 Wh = 0,036 kWh.
18. a)  $I = P/U$ ,  $R = U/I$
19. a)  $R = 15 \Omega$ , b)  $P = 0,6 \text{ W}$ .  
 c) Der Preis einer Kilowattstunde beträgt S 3 330,-.
20. a) 0,4  $\Omega$ , b) 0,8 mm<sup>2</sup>.
21. a)  $R = 5 \Omega$ , b)  $I = 44 \text{ A}$
22. a)  $R = 7,5 \Omega$ , b)  $I_1 = 22 \text{ A}$ ,  $I_2 = 7,3 \text{ A}$ .
23.  $L = 10 \text{ m}$ .
24.  $R = 8 \Omega$ .
25. 35,1 kWh
26. Der Ohmsche Widerstand ist temperaturabhängig, beim metallischen Glühdraht ist er im kalten Zustand am geringsten, daher fließt beim Einschalten der stärkste Strom.
27. 199 W; 401 W
28. 64  $\Omega$ ; 400 W
29. 1,9 kW; 8,6 A
30. Die Klemmenspannung entspricht jener der einzelnen Batterie, aber der Innenwiderstand sinkt und die Stromstärke erhöht sich.
31. 0,33  $\Omega$ ; 0,062  $\Omega$ .
32. Eine Spitze steht einer entgegengesetzt geladenen Fläche gegenüber.
33. a)  $F \approx 2 \cdot 10^{-6} \text{ N}$   
 b) Diese Kraft entspricht dem Gewicht der Masse 0,2 mg.
34.  $5,87 \cdot 10^5 \text{ C}$
35. Da der menschliche Körper ein relativ guter Leiter ist, ist das Potential überall etwa gleich und es kann kein nennenswerter Spannungsunterschied entstehen. Dies gilt nicht unbedingt für Feldstärken, wie sie unterhalb von Hochspannungsleitungen gemessen werden.
36.  $8,4 \cdot 10^7 \text{ V}$ ; 0,177 C
37. Größere Tropfen, die sich in der Luft in der Nähe des Wasseraustritts befinden, sind positiv geladen, kleinere Tropfen hingegen negativ. Da die größeren Tropfen schneller absinken als die kleineren, verbleiben diese negativen Tropfen in der Luft und bilden ein ziemlich starkes elektrisches Feld.
38.  $U_{AB} = 1000 \text{ V}$ ,  $U_{AC} = 1500 \text{ V}$ ,  $U_{BC} = 500 \text{ V}$ .  
 Punkt A hat das höchste Potential.
39. a)  $U = 200 \text{ V}$ .  
 b) Zwischen diesen Punkten liegt keine Spannung.
40.  $E = 220 \text{ eV}$ ,  $v = 9 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ .
41. 88,5  $\mu\text{F}$ ; 1,13 V; 11300 V
42.  $Q = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$
43. 139 kWh
44. Ein Blitzstrom breitet sich, nachdem er die Erde erreicht hat, noch weiter aus und verläuft dabei zum Teil waagrecht. Ein Teil dieses Stroms kann daher von der Vorder- zu den Hinterbeinen der Kuh fließen. Der Mensch muß darauf achten, daß zwischen Kopf und Füßen keine Potentialdifferenz entsteht und die Potentialdifferenz zwischen seinen beiden Füßen (Schrittspannung) möglichst gering ist. Daher ist es am besten, sich hinzukauern.
45. Die Schrittspannung ist hier sehr klein, der Spannungsabfall an der Hochspannungsleitung selbst relativ gering. Berührt ein Mensch allerdings gleichzeitig die Erde, so liegt zwischen Hand und Erde die volle Spannung.
46.  $2 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
47. 12,5 J; 2,5 W; 12,5 kW
48. a) Auf der Metalloberfläche sammeln sich gegenüber der positiven Ladung negative Ladungen an.  
 b) Zwischen Ladung und Metalloberfläche wirkt eine anziehende Kraft.
49. Die Ladungen auf der Metallkugel verschieben sich so, daß der Punktladungen negative Ladungen gegenüber stehen.
50. 16 200 J; 0,04 J
51. 0,056 m
52.  $10^{-6} \text{ C}$ ; 200 000 V/m; 0,2 N
53. 420 V
- Ströme im Magnetfeld*
54. Die Kraft wirkt nach oben
55. a)  $F = I \cdot s \cdot B = 90 \text{ N}$ , b)  $F = I \cdot s \cdot B \cdot \sin(s, B) = 45 \text{ N}$ .
56.  $F = I \cdot s \cdot B = 0,5 \text{ N}$ .
57.  $M = d \cdot I \cdot s \cdot B = 9,2 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}$ .
58. a) Der Innenwiderstand des Amperemeters muß möglichst klein sein, damit durch das Einschalten des Meßgerätes der Strom möglichst wenig verändert wird.  
 b) Der Innenwiderstand des Voltmeters muß möglichst groß sein, damit durch das Einschalten des Meßgerätes die Spannung zwischen den Meßpunkten möglichst wenig verändert wird.  
 c) Die Spannung am Voltmeter ist  $U = I \cdot R_i$ , wobei der Strom  $I$  an der Amperemeter-Skala abgelesen werden kann.
59. a)  $U_{\max} = I_{\max} \cdot R = 0,1 \text{ V}$ .  
 b)  $R_p = (20/199) \Omega$  muß parallel geschaltet werden.  
 c)  $R_s = 1980 \Omega$  muß in Reihe geschaltet werden.
60. a)  $r = mv/qB = 1,1 \text{ mm}$ , b)  $r = 4,56 \text{ cm}$ .
61. Die Umlaufzeit  $t = 2\pi r/v = 2\pi m/qB$  hängt nicht von der Geschwindigkeit der Teilchen ab. Daher ist die Frequenz der Beschleunigungsspannung beim Zyklotron konstant und braucht während des Beschleunigungsvorganges nicht verändert werden.
62. a)  $q\mathcal{E} = F_e = F_m = qvB \rightarrow \mathcal{E} = vB \rightarrow v = 5 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ ,  
 b)  $r = mv/qB \rightarrow \Delta r = \Delta m \cdot v/qB \rightarrow d = 2 \Delta r = 2 \text{ cm}$ .
63. Bei den Elektronenketten wird die anziehende magnetische Kraft durch die abstoßende elektrische Kraft überkompensiert.
64.  $F/s = \mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2/2\pi r = 4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ .  
 a) anziehend, b) abstoßend.

65. Die vom Strom durchflossenen Spulenwindungen ziehen einander an.
66. Der Strom muß von A nach B fließen.
67. a) Der Nordpol liegt links. b) Der positive Pol liegt links.
68. a) P:  $+(5/75) \cdot 10^{-3}$  T, Q:  $+(3/75) \cdot 10^{-3}$  T, R:  $-(7/75) \cdot 10^{-3}$  T,  
b) P:  $+(1/75) \cdot 10^{-3}$  T, Q:  $-(9/75) \cdot 10^{-3}$  T, R:  $+(5/75) \cdot 10^{-3}$  T.
69. a)  $B = \mu_0 \cdot N \cdot I/l = 0,31 \cdot 10^{-3}$  T,  
b)  $B = \mu\mu_0 \cdot N \cdot I/l = 0,38$  T.
70. a) Das Eisenstück wird angezogen.  
b) Die Anziehungskraft vergrößert sich.  
c) Die Anziehungskraft bleibt unverändert.
71. a)  $U = v \cdot B \cdot s = 0,1$  V,  
b)  $I = U/R = 0,67$  A,  
c)  $W = I^2 \cdot R \cdot t = 0,67$  J,  
d)  $W = F(vt) = I s B(vt) = 0,67$  J.
72. a) Ja, denn die Kraft ist dem Strom in der Schleife proportional.  
b) Die Arbeit bleibt in beiden Fällen die gleiche.
73. a) Der Induktionsstrom fließt in entgegengesetzter Richtung.  
b) Der Induktionsstrom fließt in der gleichen Richtung.
74. a) Der Induktionsstrom wächst zunächst an, sinkt dann auf null, wechselt die Richtung, wächst neuerlich an und sinkt wiederum auf Null.  
b) Die Beschleunigung des Stabmagneten wird verringert.
75. Im Kupferring wird beim Anschalten an die Spannung ein Induktionsstrom induziert, der in entgegengesetzter Richtung wie der Spulenstrom fließt. Spule und Ring stoßen daher einander ab.
76.  $v \sim 1000$  km/h;  $l \sim 100$  m  
 $F = qvB \rightarrow U = \mathcal{E}s = svB$
77. a)  $L = \mu_0 N^2 A/l = 3,2$  mH,  
b)  $\Phi = B \cdot A = \mu_0 N I A/l = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Tm}^2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}$ ,  
c)  $U = -L(dI/dt) = -3,2$  mV. (Das Minus bedeutet „Gegenspannung“)
78. Es tritt eine hohe Induktionsspannung auf, die zum Funkenüberschlag führen kann.
79. Der Ausschlag des Amperemeters 1 wird größer sein, als der des Amperemeters 2, weil in der Spule eine Spannung induziert wird, die der angelegten Spannung entgegenwirkt.
80. a)  $U_{\text{ind}} = -(d\Phi/dt) = B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin \omega t$ .
- | t                | 0° | 45°    | 90°    | 135°   | 180° |
|------------------|----|--------|--------|--------|------|
| $U_{\text{ind}}$ | 0  | 0,11 V | 0,16 V | 0,11 V | 0    |
- b)  $N \cdot 0,16 \text{ V} = 10 \text{ V} \rightarrow N = 62$  Windungen.
81. Die Stromstärke beträgt  $I = 5000/220 \approx 23$  A. An den Wicklungen fällt die Spannung ab:  $U = I \cdot R = 57$  V. Die induzierte Spannung beträgt daher  $U_{\text{ind}} = 277$  V.
82. Der Elektromotor entnimmt bei langsamer Umdrehung mehr Energie aus dem Netz, weil im Anker nur eine geringe Gegenspannung induziert wird. Der Anlaßwiderstand verhindert ein Durchbrennen der Ankerwicklungen im Moment des Einschaltens.
83.  $m \cdot g \cdot H = 0,75 \cdot I \cdot U \cdot t \rightarrow I = 42$  A.
84.  $U_{\text{ind}} = -(d\Phi/dt) = -\omega \cdot B \cdot r^2 \pi = -236$  mV.
85. Bei dieser Aufgabe handelt es sich um die Umkehrung der vorhergehenden Aufgabe. Dort dreht sich das Rotorblatt im Magnetfeld der Erde. Hier bleibt der Draht mit dem Voltmeter in Ruhe, während der Magnet rotiert. Das Voltmeter muß daher eine induzierte Spannung anzeigen (Unipolarmaschine!).
86. Das untere Blech lädt sich positiv, das obere negativ auf
87.  $n = 300$
88.  $[\omega] = \frac{1}{s}$ ,  $[C] = \frac{C}{V}$ ,  $[L] = \frac{Vs}{A}$ , daher  $[R_L] = \frac{V}{A} = \Omega$   
 $[R_C] = \frac{Vs}{C} = \frac{V}{A} = \Omega$ .
89. a)  $R_\omega = \infty$ ; b)  $R_\omega = 3,2$  k $\Omega$ ; c)  $R_\omega = 1,6$   $\Omega$ ; d)  $R_\omega = 1,6$  m $\Omega$ .
90. Der Funktionsgraph ist eine Hyperbel.
91. a)  $R_\omega = 0$ ; b)  $R_\omega = 0,3$   $\Omega$ ; c)  $R_\omega = 628$   $\Omega$ ; d)  $R_\omega = 628$  k $\Omega$ .
92.  $U/I = R_\omega = 1/\omega C \rightarrow C = 16$   $\mu$ F.
93. a)  $U/I = R_\omega = 40$   $\Omega$ ; b)  $U/I = R_\omega = 400$   $\Omega$ ,  $R_\omega = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \rightarrow L = 1,3$  H.
94.  $P = I_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}} = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} = I_{\text{eff}}^2 \cdot R$ .
95. a) Das Magnetfeld  $B(t)$  ist proportional zu  $U(t)$ , die Kraft auf die Spule proportional zu  $B(t) \cdot I(t)$ , also proportional zu  $U(t) \cdot I(t) = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi$ .  
b) Wenn  $\varphi = \pm 90^\circ$  ist, so verschwindet  $B(t)$  zu den Zeitpunkten, in denen Strom fließt. Es kommt daher zu keinem Ausschlag.
96. a)  $I = U/\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2} = 0,66$  A,  $\tan \varphi = -1/\omega CR \rightarrow \varphi = -73^\circ$ .  
b)  $P = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi = 42$  W.
97. a)  $P = I_{\text{eff}}^2 \cdot R \rightarrow R = 50$   $\Omega$ ,  
b)  $I_{\text{eff}} = U_{\text{eff}}/R_\omega \rightarrow R_\omega = 220$   $\Omega$ ,  
c)  $\cos \varphi = R/R_\omega = 5/22 \rightarrow \varphi = 77^\circ$ .
98. a)  $I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi = P$  und  $U_{\text{eff}}$  bleiben konstant. Die effektive Stromstärke sinkt daher auf  $0,75/0,92 = 0,82$  ihres früheren Wertes. Die Ohmsche Wärme ist proportional zu  $I_{\text{eff}}^2$  und sinkt deshalb auf  $(0,82)^2 = 0,66$  ihres früheren Wertes.  
b) Die Leitungen würden sich stark erwärmen.
99. a)  $I_{\text{wirk}} = I_{\text{eff}}/\cos \varphi = \frac{P}{U} = \frac{1500 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 6,8$  A,  $I_{\text{eff}} = 8$  A
100. 120 W; 0,55 A; 55:1.
101. 15 V; 44:1; 0,045 A
102. 7 kW; 0,144 W
103. 250 A; 1 : 4 ; 100%
104. Die Vergrößerung der Oberfläche führt zu besserer Wärmeabgabe an die Umgebung. Öl hat gegenüber Luft eine wesentlich höhere Wärmekapazität. Die Aufbau des Kerns aus isolierten Blechen reduziert die Wirbelströme.
105. Weil die angelegte Spannung im Idealfall durch die induzierte Gegenspannung aufgehoben wird, fließt in der Primärspule kein Strom. Es entstehen daher keine Stromkosten.
106. a)  $I_{\text{eff}} = U/\sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = 0,62$  A  
b)  $P = I_{\text{eff}}^2 \cdot R = 31$  W,  
c)  $I = U/R = 2,75$  A (Die Primärspule brennt durch.)

107. Im Primärkreis steigt die Stromstärke, weil  $R_\omega$  sinkt. Im Sekundärkreis wird die Stromstärke kleiner, weil nur mehr ein Teil des magnetischen Flusses durch die Sekundärspule hindurchtritt.
108.  $I_1 \cdot U_1 = I_2 \cdot U_2 \rightarrow I_2 = I_1 \cdot U_1 / U_2 = 0,11 \text{ A}$ .
109.  $U_1 / U_2 = N_1 / N_2 \rightarrow N_2 = N_1 \cdot U_2 / U_1 \simeq 8$  Windungen. Die Leistungsverluste beeinflussen nur die Ströme.
110. a) Querschnitt der Al-Leitung/Querschnitt der Cu-Leitung = 1,7.  
b) Die Cu-Leitung ist fast doppelt so schwer.  
c) Die Cu-Leitung ist ca. dreimal so teuer.
111. a)  $P = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \rightarrow I_{\text{eff}} = 2000 \text{ A}$ ,  $P_L = I_{\text{eff}}^2 \cdot R \rightarrow R = 10 \Omega$ ,  
b)  $U = I_{\text{eff}} \cdot R = 20 \text{ kV}$ .
112. a) Nimmt man  $d = 10 \text{ m}$  Abstand zwischen Leitung und Boden an, so würde für ein homogenes Feld gelten:  $\mathcal{E} = U/d = 22 \text{ kV/m}$ .  
b) Tatsächlich ist die Feldstärke in der Nähe der Leitung noch wesentlich größer. Die Feldstärke in Bodennähe ist deshalb geringer und nimmt die angegebenen Werte an.  
c) Die Feldstärke wird in der Umgebung der Leitung so groß, daß es zu Sprühverlusten kommt.  
d) Es ist günstiger, mehrere Leitungen nebeneinander aufzuhängen. Sie wirken zusammen wie eine dicke Leitung.
113. a)  $315 \text{ TWh/Tag} = 115\,000 \text{ TWh/Jahr}$  (Verdopplung des heutigen Energiebedarfs!)  
b)  $978 \text{ TWh/Tag} = 357\,000 \text{ TWh/Jahr}$  (Versechsfachung des heutigen Energiebedarfes!)  
c)  $1959 \text{ TWh/Tag} = 715\,000 \text{ TWh/Jahr}$  (Verzwölffachung des heutigen Energiebedarfs!)
114.  $40 \text{ kWh}$  pro Person und Tag. Dies entspricht etwa dem österreichischen Energiestandard des Jahres 1966.
115. Mit  $4\,000 \text{ kWh}$  pro Jahr können  $300 \text{ Liter}$  Wasser pro Tag um  $30^\circ$  erwärmt werden.
116. Beim Auto sind  $540 \text{ kJ}$  pro km hinzuzufügen.
117. Pulsierender Gleichstrom, nur jede zweite Halbperiode nutzbar.
118. Pulsierender Gleichstrom, jede Halbperiode nutzbar.
119. a)  $f = 1/2\pi\sqrt{LC} = 795 \text{ kHz}$ ,  
b) Die Resonanzfrequenz wächst, wenn die Kapazität verkleinert wird.
120. Die Resonanzfrequenz sinkt auf  $f_2 = f_1\sqrt{80} = 0,13 \text{ kHz}$ .
121. a)  $f = 1/2\sqrt{LC} \rightarrow L = 0,18 \text{ mH}$   
b) Frequenzbereich:  $500 \text{ kHz} \leq f \leq 1600 \text{ kHz}$ .
122.  $\lambda_1 = 577 \text{ m}$ , bzw.  $\lambda_2 = 3,24 \text{ m}$ .
123. a) Die beiden Sendeantennen sind gerade eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt. Die Wellen interferieren.  
b) In Richtung der beiden Sendeantennen herrscht destruktive Interferenz, senkrecht zu dieser Richtung verstärken die Wellen einander. In dieser Richtung ist der Empfang am besten.  
c) Weil jeder Spalt des Beugungsgitters als kleine Sendeantenne aufgefaßt werden kann, sind in einer Richtung viele Sendeantennen in gleichem Abstand aufzustellen und gleichphasig zu betreiben.
124. a) Die Kupferdrähte müssen senkrecht zur Dipolantenne liegen.  
b) Die Welle bringt die Elektronen in den Drähten zum Mitschwingen. Die Welle wird daher teils absorbiert, teils reflektiert.  
c) Der Drahtrahmen hat die gleiche Wirkung wie ein Polarisationsfilter.
125. a) Während sich das Tonband um die Spaltbreite  $d$  weiterbewegt, kann eine Halbwelle aufgezeichnet werden. Es gilt daher:  $(2f_{\text{max}}) \cdot d = v \rightarrow f_{\text{max}} = 47,5 \text{ kHz}$ , bzw.  $24 \text{ kHz}$ , bzw.  $12 \text{ kHz}$ .  
b) Jede Halbwelle enthält 1 Bit. Pro Sekunde lassen sich daher speichern:  $95\,000 \text{ Bit}$ , bzw.  $47500 \text{ Bit}$ , bzw.  $23750 \text{ Bit}$ .
126. a)  $f = 1/2\pi\sqrt{LC} \rightarrow C = 468 \text{ pF}$ .  
b)  $R_\omega = R = 10 \Omega$ .  
c)  $R_\omega = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} = 26,3 \Omega$ .  
d) Der Durchlaßbereich wird kleiner, wenn  $R$  sehr klein gewählt wird.
127. a) Querschnitt des Bündels im Abstand  $r = 10^4 \text{ m}$ :  $A = 3,14 \cdot 10^4 \text{ m}^2$ . Auf einen Quadratmeter fallen  $P = 1/(3,14 \cdot 10^4) \text{ kW} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ kW}$ .  
b) Bei ebener Reflexion scheint der Auffangschirm in doppelter Entfernung zu stehen. Auf ihn fallen daher  $3P/4 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ kW}$ .  
c) Zur Entfernungsmessung sind diskrete Signale nötig. Außerdem können dadurch höhere Signalstärken erzielt werden.
128. a)  $eU = mv^2/2 \rightarrow v = 7,3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ .  
b)  $I = \frac{dn}{dt} ve \rightarrow n = 6,25 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ .  
c)  $U = \frac{m}{e} \cdot \frac{d}{l} \cdot v^2 \cdot \tan 55^\circ = 7150 \text{ V}$ .
129. Die reflektierenden Schichten für die Mittelwellensignale verschieben sich nachts in größere Höhen, da die Ionisation der Moleküle an der Unterseite der Ionosphäre wegen des fehlenden Sonnenlichts abnimmt. Bei einer Reflexion in größerer Höhe reichen die Mittelwellensignale weiter. Um dennoch einen einwandfreien Empfang zu gewährleisten, müssen die meisten Stationen ihre Sendeleistung bei Nacht reduzieren.

## A.5. Atom-, Kern- und Teilchenphysik Quantenphysik

24. Eine 100 W-Lampe sendet gelbes Licht der Wellenlänge  $\lambda = 500 \text{ nm}$  aus.
- Berechnen Sie Energie, Impuls und Massenäquivalent der Photonen.
  - Wieviele Photonen gehen pro Sekunde von der Lampe aus, wenn 1% der zugeführten Leistung im sichtbaren Bereich abgestrahlt wird?
  - Nimmt die Masse der Lampe durch die Aussendung der Photonen ab?

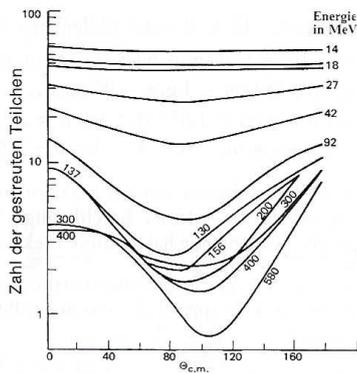


Zu Aufgabe 25

- 25. Die Abbildung zeigt eine Photozelle zur Lichtmessung. Licht fällt auf die Photokathode und löst Elektronen aus. Die auf positiver Spannung liegende Anode sammelt die Elektronen.
- Die Photokathode S11 aus  $\text{Cs}_3\text{Sb}$  spricht auf Licht mit  $\lambda < 670 \text{ nm}$  an. Wie groß ist die Austrittsarbeit  $W$  bei diesem Kathodenmaterial?
  - Gelbes Licht ( $\lambda = 500 \text{ nm}$ ) fällt mit 1 W Leistung auf die Kathode. Wie groß ist der Anodenstrom, wenn 14% der Photonen ein Elektron auslösen?

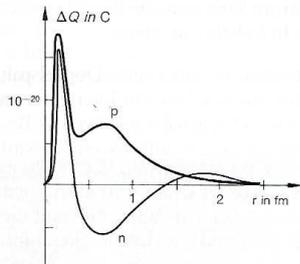
26. Von TV-Apparaten geht Röntgenstrahlung aus.
- Wie kommt diese Strahlung zustande?
  - In welche Richtung wird sie hauptsächlich abgestrahlt?
  - Welche Wellenlänge hat die Strahlung ungefähr?
27. Ein Scheinwerfer sendet ein paralleles Lichtbündel von 100 W Leistung aus.
- Welchen Impuls haben die in einer Sekunde ausgesendeten Photonen insgesamt?
  - Welche Rückstoßkraft erfährt der Scheinwerfer durch die Lichtaussendung? *während dieser Zeit*
  - Das Lichtbündel wird an einem Spiegel reflektiert. wie groß ist die Kraft auf den Spiegel? *während dieser Zeit*
28. Ein Elektronenblitz sendet einen Blitz von  $10^{-3}$  s Dauer aus, der 10 J Lichtenergie enthält. Das austretende Licht sei parallel.
- Wie groß ist der Gesamtimpuls der Photonen?
  - Hängt der Gesamtimpuls von der Wellenlänge ab?
  - Wie groß ist die Rückstoßkraft, die während des Blitzes auf das Blitzgerät wirkt?
  - Mit welcher Geschwindigkeit müßte sich ein Sandkorn bewegen ( $m = 1$  mg), damit es den gleichen Gesamtimpuls hat?
29. Das Emissionsvermögen eines Schwarzen Strahlers ist  $\sigma T^4$  ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ), wobei vorwiegend Photonen der Energie  $E = hf \approx 5 kT$  ausgesendet werden.
- Wieviele Photonen verlassen die Fläche  $A$  bei der Temperatur  $T$  pro Sekunde?
  - Welche Rückstoßkraft wirkt auf die Fläche, falls alle Photonen normal zur Fläche ausgesendet werden?
  - Der Strahlungsdruck ist gleich der Rückstoßkraft pro Fläche. Wie hoch ist der Strahlungsdruck im Inneren eines Sterns mit  $T = 2 \cdot 10^7 \text{ K}$ ?
30. In der utopischen Literatur findet man die Idee einer Photonenrakete. Sie wird durch den Rückstoß eines Lichtbündels statt eines Gasstroms angetrieben.
- Wie hängt der Schub (Rückstoßkraft) mit der Lichtleistung zusammen?
  - Wie hoch müßte man die Unterseite einer Rakete (Masse  $m = 500\,000$  kg, Querschnittsfläche  $A = 100 \text{ m}^2$ ) erhitzen, damit der Strahlungsdruck für den Start ausreicht?
  - Wie groß wäre dabei die Lichtleistung?
31. Wie groß ist die Kraft, welche die Sonnenstrahlung auf die Erde ausübt?
- 32. Bei der Temperatur  $T$  wird von  $1 \text{ m}^2$  eines Schwarzen Strahlers im Frequenzbereich zwischen  $f$  und  $f + df$  die Strahlungsleistung  $I(f, T)df$  abgegeben, wobei  $I(f, T)$  die von Max Planck gefundene Strahlungsformel ist:
- $$I(f, T) = \frac{4\pi h f^3}{c^2} \frac{1}{e^{hf/kT} - 1}$$
- Geben Sie unter Beachtung von  $c = \lambda \cdot f$  die Strahlungsleistung  $J(\lambda, T) d\lambda$  im Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda$  und  $\lambda + d\lambda$  an. (Hinweis:  $I(f, T)df = J(\lambda, T) d\lambda$ )
  - Stellen Sie mittels eines Tabellenkalkulationsprogramms  $I(f, T)$  grafisch als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$  für verschiedene Temperaturen dar und verifizieren Sie durch numerische Integration das Stefan-Boltzmann-Gesetz.
  - Überprüfen Sie an  $J(\lambda, T)$  mittels DERIVE das Wien'sche Verschiebungsgesetz.
33. Berechnen Sie die de Broglie-Wellenlänge für
- einen Tennisball ( $m = 60 \text{ g}$ ,  $v = 10 \text{ m/s}$ ),
  - ein Projektil ( $m = 1 \text{ g}$ ,  $v = 90 \text{ m/s}$ ),
  - ein Proton ( $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ,  $E = 250 \text{ keV}$ ),
  - ein Elektron ( $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $E = 250 \text{ eV}$ ).
34. In einem Fernsehgerät werden Elektronen durch eine Spannung  $U = 15 \text{ kV}$  beschleunigt. Welche de Broglie-Wellenlänge haben diese Elektronen?
35. Berechnen Sie das Auflösungsvermögen eines Elektronenmikroskops als Funktion der Betriebsspannung  $U$ .
- Für  $U < 100 \text{ kV}$  dürfen relativistische Effekte vernachlässigt werden. Welche Geschwindigkeit entspricht  $U = 100 \text{ kV}$ ?
  - Für  $U > 1000 \text{ kV}$  haben die Elektronen praktisch Lichtgeschwindigkeit. Näherungsweise gilt  $E = pc = hc/\lambda$ . Welcher Zusammenhang zwischen Auflösungsvermögen und Beschleunigungsspannung gilt dann?
  - Warum kann man die Beschleunigungsspannung nicht beliebig steigern?
36. Elektronen, die durch einen Doppelspalt fallen, erzeugen auf einem Schirm ein Interferenzmuster. Wie ändert sich der Streifenabstand, wenn die Beschleunigungsspannung von 50 V auf 5 kV erhöht wird?
37. Ein Elektronenstrahl tritt durch einen Spalt der Breite  $d = 0,1 \mu\text{m}$ . Wie groß sind die Unschärfen von Impuls und Geschwindigkeit hinter dem Spalt?
- 38. In einem Fernsehgerät werden Elektronen durch eine Spannung  $U = 15 \text{ kV}$  beschleunigt. Der Bildschirm ist vom Wehneltzylinder  $L = 25 \text{ cm}$  entfernt.
- Wie groß ist der Durchmesser des Lichtflecks auf dem Bildschirm, wenn die Blende am Wehneltzylinder eine kreisförmige Öffnung mit  $10 \mu\text{m}$  ( $2 \mu\text{m}$ ,  $0,5 \mu\text{m}$ ) hat?
  - Bei welchem Durchmesser ergibt sich der kleinste Bildpunkt?
- Anmerkung: Für die Beugung an einer kreisförmigen Öffnung gelten näherungsweise die gleichen Formeln wie für die Beugung am Spalt.
39. Sie schießen beim Minigolf daneben. Ist die Unschärferelation daran schuld? Schätzen sie die erforderlichen physikalischen Größen ab.

- 40. Ein Laplace'scher Dämon möchte den weiteren Verlauf des Wetters beeinflussen. Dazu schießt er Moleküle aus kleinen Kanonen ab.
- Wie groß muss er die Ungenauigkeit der Kanonenöffnung wählen, damit er die Flugbahn der Luftmoleküle wenigstens für eine mittlere Weglänge von  $10^{-7}$  m möglichst gut voraussagen kann?
  - Wird er andere Moleküle auf diesen Abstand treffen?



Zu Aufgabe 41

41. Die Abbildung zeigt die Winkelverteilung von Neutronen, die an Protonen gestreut wurden. Wie kann man aus diesen Daten die Radien der Teilchen abschätzen?



Auf der Ordinate ist die Ladung aufgetragen, die jeweils in einer Kugelschale der Dicke  $10^{-16}$  m enthalten ist. Die Fläche unter der Kurve gibt die Gesamtladung an.

Zu Aufgabe 42

42. Die Abbildung zeigt die Ladungsverteilung in Protonen und Neutronen. Diese Verteilung wurde durch Streuung von Elektronen an Protonen, bzw. Neutronen gewonnen, wobei die Elektronenenergie bis zu 20 GeV betrug. Die Ladungsverteilungen sind hier bis zu  $r = 0$  gezeichnet. Bis zu welchem  $r$  können die Kurven Messungen entsprechen, ab wo sind sie Extrapolationen?

43. Mit dem Bohr'schen Atommodell lassen sich die Energiewerte aller Ionen berechnen, die nur ein Elektron besitzen, wie z. B.  $\text{He}^+$ .
- Bestimmen Sie die ersten zwei Energiestufen von  $\text{He}^+$ .
  - Berechnen Sie die Wellenlängen der sichtbaren Spektrallinien von  $\text{He}^+$ .

### Kernphysik

44. Die Zerfallskonstante von Radium beträgt  $\lambda = 1,375 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ . In welcher Zeit zerfällt die Hälfte der Radiumkerne?
45. Die Halbwertszeit von U-238 beträgt  $4,5 \cdot 10^9$  a. Wieviel Kerne zerfallen pro Sekunde in einem Kilogramm reinen U-238?
46. Cs-131 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 9,7 Tagen. Wieviel Prozent des Ausgangsmaterials sind vorhanden
- nach einem Monat,
  - nach einem Jahr?
47. Welche der folgenden Reaktionsgleichungen sind falsch?
- ${}^1_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^8_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$
  - ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
  - ${}^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po} + e^-$
  - ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^6_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$
48. Warum sind Neutronen für künstliche Kernumwandlungen besonders gut geeignet? Warum kann man sie nicht wie ein Gas in Stahlflaschen aufbewahren?
49. Die Masse von Elektron bzw. Positron beträgt  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg. Bei der Paarvernichtung  $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$  werden zwei Photonen frei. Welche Frequenz haben diese Photonen, wenn sich die Teilchen vor der Vernichtung mit vernachlässigbar kleiner kinetischer Energie bewegt haben?
50. Welche Aktivität besitzt 1 g Co-60? ( $T_{1/2} = 5,3$  a)
51. Welche Wärmeenergie wird von 1 kg U-235 im Lauf eines Jahres freigesetzt, wenn es mit einer Halbwertszeit von  $2,1 \cdot 10^{17}$  Jahren durch spontane Spaltung zerfällt und pro Spaltung 200 MeV an Energie frei werden?
52. Wieviel reines U-235 verbraucht ein Kernkraftwerk täglich, dessen thermische Leistung 1000 MW beträgt, wenn pro Spaltung 200 MeV an Energie frei werden?
53. Wieviele Atome Ra-226 sind nach 100 000 Jahren noch vorhanden, wenn ursprünglich 1 kg vorhanden war? ( $\lambda = 1,375 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ )

54. 100 mg U-238 haben eine Aktivität von etwa 1240 Bq. Wie groß ist die Halbwertszeit von U-238?
55. Nach welcher Zeit ist die Aktivität eines radioaktiven Präparates auf 2,5% der Anfangsaktivität gefallen?
56. Bei einer Grundwasserprobe wurde ein Tritiumgehalt von  $\frac{1}{3}$  des Tritiumgehalts von Regenwasser festgestellt. Wie alt ist das Grundwasser, wenn es vollständig durch Versickern von Regenwasser entstanden ist und nicht mit Grundwasserströmen anderen Alters vermischt wurde?  
( $T_{1/2} = 12,32 \text{ a}$ )
57. Die C-14-Aktivität des Holzes lebender Bäume beträgt pro Gramm Kohlenstoff und Minute etwa 15,3 Zerfälle. Bei einer Holzkohlenprobe werden  $12,5 \pm 1$  Zerfälle pro Minute und Gramm Kohlenstoff gemessen. Wie alt ist die Holzkohle?  
( $T_{1/2} = 5730 \text{ a}$ )
58. Datierung von Gesteinen nach der Uran-Blei-Methode: In einer Gesteinsprobe findet man, dass auf 5 U-238-Atome ein Pb-206-Atom kommt. Welches Höchstalter hat das Gestein bei einer Halbwertszeit des U-238 von  $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ a}$ ? (Die Halbwertszeiten der instabilen Zwischenkerne sind vergleichsweise kurz und können vernachlässigt werden.)

# Lösungen

## Quantenphysik

24. a)  $E = hc/\lambda = 4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  
 $p = h/\lambda = 1,3 \cdot 10^{-27} \text{ kg m/s}$ ;  $m = 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$ .  
 b)  $(4 \cdot 10^{-19} \text{ J}) \cdot N = 1 \text{ W}$ , daher  
 $N = 2,5 \cdot 10^{18}$  Photonen.  
 c) nein **Masse der Energiequelle (z.B. Batterie) wird kleiner**
25. a)  $W = hc/\lambda = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,87 \text{ eV}$ .  
 b)  $N = 2,5 \cdot 10^{18}$  Photonen treffen pro Sekunde  
 auf. Der Strom beträgt  $I = 0,14 \cdot Ne = 56 \text{ mA}$ .
26. a) Die Elektronen werden im Bildschirm abgebremst.  
 b) Die Strahlung wird seitlich abgestrahlt.  
 c)  $\lambda = 8 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .
27. a)  $p = E/c = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ kg m/s}$ .  
 b) Kraft = Impulsänderung/Zeit =  $3,3 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ .  
 c)  $F = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ ; die Impulsänderung ist  $2p$ !
28. a)  $p = 3,3 \cdot 10^{-8} \text{ kg m/s}$ .  
 b) Nein, nur von der Gesamtenergie.  
 c)  $F = p/t = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ N}$   
 d)  $p = mv \rightarrow v = 3,3 \text{ cm/s}$ .
29. a)  $N = A \cdot \sigma T^4 / 5kT =$   
 $8,2 \cdot 10^{-14} \text{ A} \cdot T^3 \text{ Photonen/sm}^2 \text{K}^3$ .  
 b)  $F = A \cdot \sigma T^4 / c = 1,9 \cdot 10^{-16} \text{ A} \cdot T^4 \text{ N/m}^2 \text{K}^4$ .  
 c) Strahlungsdruck =  $F/A = 3 \cdot 10^{13} \text{ Pa} = 3 \cdot 10^8 \text{ bar}$ .  
 In sehr heißen Sternen bläst der Strahlungsdruck die äußeren Schichten als Sternwind fort.
30. a)  $F = \text{Lichtleistung}/c$   
 b)  $5 \cdot 10^6 \text{ N} = F = A \cdot \sigma T^4 / c \Rightarrow T = 1,3 \cdot 10^5 \text{ K}$   
 c)  $P = F \cdot c = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ W}$ . Vergleiche die gesamte  
 Sonneneinstrahlung auf die Erde von  $1,7 \cdot 10^{17} \text{ W}$ .
31.  $F = 2 P/c = 1,13 \cdot 10^9 \text{ N}$ , wobei  $P = 1,7 \cdot 10^{17} \text{ W}$   
 die gesamte Sonneneinstrahlung auf die Erde ist.
32.  $J(\lambda, T) = \frac{4hc^2}{\pi\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$ . Für große Wellenlängen  
 $(\lambda \rightarrow \infty)$  strebt die Funktion gegen das klassische  
 Ergebnis  $\frac{4\pi c}{\lambda^5} kT$ .
33.  $\lambda = h/p$ ,  
 a)  $1,1 \cdot 10^{-33} \text{ m}$ , b)  $7,4 \cdot 10^{-33} \text{ m}$ ,  
 c)  $5,8 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ , d)  $7,8 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .

34.  $\lambda = h/\sqrt{2meU} = 10^{-11} \text{ m}$ .
35. a) Die de Broglie-Wellenlänge ist  $\lambda = h/\sqrt{2meU}$ .  
 Wegen der Linsenfehler ist der kleinste auflös-  
 bare Abstand  $100\lambda$ . Die Geschwindigkeit der  
 Elektronen beträgt  $v = 1,8 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 0,62 c$ .  
 b)  $eU = hc/\lambda \Rightarrow \lambda = hc/eU$ . Das Auflösungsver-  
 mögen ist proportional zu  $U$ .  
 c) Die hochenergetischen Elektronen durchschlagen  
 die Probe.
36. Wellenlänge und Streifenabstand sinken auf ein  
 Zehntel.
37.  $p = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg m/s}$ ,  $v = 7300 \text{ m/s}$ .
38. a) Der Durchmesser  $D$  des Bildpunkts hängt mit dem  
 Durchmesser  $d$  der Öffnung im Wehneltzylinder  
 gemäß  $D = d + 2\lambda\alpha = d + 2l(\lambda/d)$  zusammen.  
 b) Mit  $\lambda = 8 \cdot 10^{-11} \text{ m}$  folgt  $D = 10,5 \mu\text{m}$  ( $4,5 \mu\text{m}$ ,  
 $10,5 \mu\text{m}$ ).  $D$  wird für  $d = \sqrt{2l\lambda}$  minimal. In  
 diesem Fall ist  $D = 2d$ .
39. Für  $d = \Delta x = 0,1 \text{ m}$ ,  $m = 0,1 \text{ kg}$  ergibt sich  $\Delta p =$   
 $6,6 \cdot 10^{-33} \text{ kg m/s}$  und  $\Delta v = 6,6 \cdot 10^{-32} \text{ m/s}$ . Also  
 keine Ausreden!
40. a) Eine Rechnung wie im Beispiel 38 liefert  
 $d = \Delta x = \sqrt{2l\lambda}$  ( $l = 10^{-7} \text{ m}$ ).  
 b) Die de Broglie-Wellenlänge von Luftmolekülen  
 $(m = 5 \cdot 10^{-26} \text{ kg}, v = 500 \text{ m/s})$  beträgt  $\lambda =$   
 $1,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ . Die Zielunschärfe  $D = 2d = 2\sqrt{2l\lambda}$   
 $= 3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$  ist rund zehnmal größer als das  
 Molekül. Der Dämon kann nicht einmal den  
 ersten Stoß der Moleküle vorhersagen.
41. Bis zu Energien von  $E \approx 50 \text{ MeV}$  beobachtet man  
 in allen Richtungen die gleiche Anzahl von gestreuten  
 Teilchen. Erst bei höherer Energie wird die  
 Streuung anisotrop. Daher muss der Durchmesser  
 des Targets ungefähr gleich der de Broglie-Wellen-  
 länge  $\lambda$  von Neutronen mit  $E = 100 \text{ MeV}$  sein. Aus  
 $\lambda = h/p$  und  $p^2/2m = E$  folgt  $\lambda = 2,9 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ .
42. Die de Broglie-Wellenlänge von Elektronen mit  
 $20 \text{ GeV}$  beträgt  $6 \cdot 10^{-17} \text{ m}$ . Für kleinere Radien  
 kann es sich bei den Kurven nur um Extrapolatio-  
 nen handeln.
43. a)  $E_n = -13,6 \frac{Z^2}{n^2} \text{ eV}$ ;  
 $E_1 = -54,4 \text{ eV}$ ,  $E_2 = -13,6 \text{ eV}$ .  
 b) Im sichtbaren Bereich liegen die Linien für den Über-  
 gang  $n = 4 \rightarrow n = 3$  und die Linien, die Übergängen  
 von höheren Zuständen zu  $n = 4$  entsprechen.

## Kernphysik

44.  $T_{1/2} = \ln 2/\lambda = 4,88 \cdot 10^{10} \text{ s} = 1600 \text{ Jahre}$ .
45.  $\lambda = \ln 2/T_{1/2} = 4,87 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ . Die Aktivität be-  
 trägt  $\lambda \cdot N = 1,22 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$ .
46. a) 11,7%, b)  $4,71 \cdot 10^{-10}\%$ .
47. Reaktion d) ist nicht möglich; in Reaktion c) fehlt  
 ein Antineutrino.

$$* A_{\text{U-238}} = 6 \cdot 10^{23} = 238 \text{ g U-238}$$

48. Die Neutronen werden nicht durch die elektrische Ladung des Atomkerns abgestoßen. In Stahlflaschen können sie nicht aufbewahrt werden, da sie die Atome der Flaschenwand ungehindert durchdringen. Sie sind instabil mit einer Halbwertszeit von etwa 11 Minuten.

49.  $2mc^2 = 2 hf \rightarrow f = 1,2 \cdot 10^{20} \text{ Hz.}$

50.  $A = \lambda N = \frac{\ln 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{T_{1/2} \cdot 60} = 4,2 \cdot 10^{13} \text{ Bq.}$

51. Die Zahl der während  $\Delta t = 1$  Jahr zerfallenen Kerne beträgt  $\lambda N_A \Delta t / 235$ .  $W = 2,7 \cdot 10^4 \text{ J.}$  (Spontane Spaltung ist äußerst selten. Der normale Zerfall ist der  $\alpha$ -Zerfall.)

52. 1 kg U-235 liefert als Spaltenergie

$$W_1 = \frac{200 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{26}}{235} \text{ J} =$$

$8,2 \cdot 10^{13} \text{ J} = 22\,800 \text{ MWh.}$  Für 1000 MW thermische Leistung werden pro Tag daher 1,05 kg U-235 verbraucht.

53.  $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \approx 1590$  Jahre. 100 000 Jahre entsprechen rund 63 Halbwertszeiten. Von den ursprünglich  $6,02 \cdot 10^{26} / 226$  Atomen sind noch etwa  $4 \cdot 10^5$  vorhanden.

54.  $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ a.}$

55. Nach  $5,32 \cdot T_{1/2}$ .

56. 19,5 Jahre

57. 1671 Jahre