

# **Physikaufgaben**

**für Schüler von Spezialklassen**

**physikalisch-technischer und mathematischer Richtung**



**Herausgeber:**

Prof. Dr. Joachim Wendt, Pädagogische Hochschule "Liselotte  
Herrmann" Güstrow

An der Erarbeitung der Aufgabensammlung waren beteiligt:

Prof. Dr. Joachim Wendt, Pädagogische Hochschule Güstrow

Jürgen Buse, Pädagogische Hochschule Güstrow

Dr. Christian Hache, Spezialschule physikalisch-technischer Rich-  
tung Dresden

Dr. Sigrid Huster, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt

Gerd-Dietrich Schmidt, Pädagogische Hochschule "Liselotte Herrmann"  
Güstrow

Udo Walta, Pädagogische Hochschule "Liselotte Herrmann" Güstrow

Dr. Wilhelm Weiß-Motz, Spezialschule physikalisch-technischer Rich-  
tung Frankfurt (Oder)

**1. Auflage**

Lizenz Nr. 203/1000/82 (E)

LSV 0645

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: (52) VOB Nationales Druckhaus Berlin

Verlagstitelnummer 30 08 55-1

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                     | Seite |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort                                                             | 5     |
| 1. Wie ist an das Lösen physikalischer Aufgaben heranzugehen?       | 6     |
| 1.1. Algebraisch lösbare physikalische Aufgaben                     | 6     |
| 1.2. Experimentell lösbare physikalische Aufgaben                   | 16    |
| 1.3. Grafisch lösbare physikalische Aufgaben                        | 21    |
| 1.4. Physikalische Denkaufgaben                                     | 22    |
| 2. Aufgaben aus verschiedenen Teilgebieten der Physik               | 24    |
| 2.1. Kinematik                                                      | 24    |
| 2.2. Dynamik                                                        | 32    |
| 2.3. Mechanische Arbeit und Energie                                 | 38    |
| 2.4. Statik                                                         | 41    |
| 2.5. Mechanik der Flüssigkeiten, Gase und festen Körper             | 44    |
| 2.6. Molekularphysik, Innere Energie                                | 50    |
| 2.7. Ausdehnung der Körper bei Temperaturänderung                   | 53    |
| 2.8. Energieaustausch zwischen thermodynamischen Systemen           | 56    |
| 2.9. Zustandsänderung von Gasen                                     | 57    |
| 2.10. Aggregatzustandsänderungen                                    | 61    |
| 2.11. Elastizität und Festigkeit bei Festkörpern                    | 62    |
| 2.12. Schwingungen und Wellen                                       | 64    |
| 2.13. Elektrische Ladung und elektrisches Feld                      | 67    |
| 2.14. Elektrische Ströme in Metallen                                | 71    |
| 2.15. Elektrische Leitung in Elektrolyten                           | 73    |
| 2.16. Elektrische Leitung in Halbleitern                            | 74    |
| 2.17. Elektrische Leitung in Gasen und im Vakuum                    | 76    |
| 2.18. Elektromagnetische Induktion                                  | 79    |
| 2.19. Magnetismus                                                   | 81    |
| 2.20. Gesetze des Wechselstroms                                     | 84    |
| 2.21. Lichtausbreitung                                              | 86    |
| 2.22. Interferenz und Beugung des Lichtes                           | 87    |
| 2.23. Linsenkombinationen und optische Instrumente                  | 89    |
| 2.24. Atomphysik                                                    | 93    |
| 2.25. Experimentelle Aufgaben aus verschiedenen Gebieten der Physik | 95    |

## V o r w o r t

Mit der vorliegenden Aufgabensammlung werden für den Unterricht und die außerunterrichtliche Arbeit auf physikalischem Gebiet in Spezialklassen physikalisch-technischer und mathematischer Richtung Aufgaben von relativ einfachem Anforderungsniveau bis zu anspruchsvollen, komplexen Aufgabenstellungen zur Verfügung gestellt.

Die Aufgabensammlung soll dazu beitragen, die Effektivität des Physikunterrichts in Spezialklassen zu erhöhen. Sie ermöglicht es interessierten Schülern, sich neben dem Unterricht noch mit weiterführenden physikalischen Problemstellungen zu beschäftigen. Außerdem kann die Aufgabensammlung zur Vorbereitung von Schülern auf nationale und internationale Physikwettbewerbe genutzt werden.

Die Aufgabensammlung ist aus einer Sammlung von Physikaufgaben für talentierte Schüler entstanden, die 1978 an der Sektion Mathematik/Physik der Pädagogischen Hochschule "Liselotte Herrmann" in Güstrow herausgegeben wurde. Die Aufgaben wurden auf der Grundlage von Aufgabensammlungen aus der Sowjetunion und anderer sozialistischer Bruderländer ausgewählt und bearbeitet.

Das Bearbeiterkollektiv hat Anregungen von Fachlehrern aufgegriffen. So wurden beispielsweise Hinweise für die Schüler zur Lösung physikalischer Aufgaben aufgenommen. In die Erarbeitung der Aufgabensammlung sind auch Erfahrungen aus internationalen Physikolympiaden und aus den seit zehn Jahren in der DDR durchgeführten Physikwettbewerben für Schüler eingeflossen.

## 1. Wie ist an das Lösen physikalischer Aufgaben heranzugehen?

Das Lösen anspruchsvoller physikalischer Aufgaben erfordert große geistige Anstrengungen, Ausdauer und Beharrlichkeit. Das ist die erste Voraussetzung für ein erfolgreiches Vorankommen. Wie überall im Leben werden sicherlich erreichte Erfolge beim Aufgabenlösen dazu anspornen, sich weitere und schwierigere Aufgaben vorzunehmen. Immer wieder wird es aber auch erforderlich sein, mit Fehlschlägen fertig zu werden und nicht vorzeitig aufzugeben.

Das Entscheidende beim Aufgabenlösen ist, daß man damit seine Kenntnisse festigt und erweitert, sein logisches Denken schult und die Fähigkeit entwickelt, sein Wissen und Können auf physikalischem Gebiet anzuwenden. Jedoch ist es nicht möglich, anspruchsvolle physikalische Aufgaben ohne ein gründliches Aneignen des physikalischen Lehrstoffes und ohne Kenntnis grundlegender Arbeitsverfahren zu lösen.

Nach den beim Lösen von Aufgaben vorherrschenden Tätigkeiten lassen sich

- algebraisch lösbare physikalische Aufgaben,
- experimentell lösbare physikalische Aufgaben,
- grafisch lösbare physikalische Aufgaben und
- physikalische "Denkaufgaben"

unterscheiden, für die im folgenden Vorgehensweisen bzw. Löseverfahren angegeben werden.

Selbstverständlich spielt das Denken beim Lösen von allen Aufgaben eine hervorragende Rolle. Bei den zuletzt genannten "Denkaufgaben" gibt es aber außer den durchzuführenden geistigen Operationen kein bestimmtes Löseverfahren.

Neben Aufgaben, die sich einer Aufgabenklasse direkt zuordnen lassen, treten auch Aufgaben auf, zu deren Lösung das Ineinandergreifen mehrerer Löseverfahren erforderlich wird. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn die notwendigen Größen einer algebraisch lösbaren Aufgabe experimentell zu erarbeiten sind.

### 1.1. Algebraisch lösbare physikalische Aufgaben

Algebraisch lösbare physikalische Aufgaben haben das Ziel, eine quantitative Bestimmung physikalischer oder technischer Sachverhalte vorzunehmen. Dazu ist es erforderlich, den physikalischen

Inhalt mittels mathematischer Formalismen zu beschreiben. Dabei darf nicht übersehen werden, daß diese mathematischen Abbilder physikalische Zusammenhänge in einfacher und übersichtlicher Weise darstellen. Sie spiegeln deshalb oft nur unter bestimmten Bedingungen den physikalischen Sachverhalt richtig wider. So gilt beispielsweise die Beziehung  $I \sim U$  für einen elektrischen Leiter nur dann, wenn die Temperatur des Leiters konstant bleibt ( $R = \text{konst.}$ ). Sonst ändert sich der elektrische Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur.

Algebraisch lösbare physikalische Aufgaben können, wie auch alle anderen Aufgabenarten, einfach oder komplex sein. Einfache algebraisch lösbare Aufgaben werden in der Regel durch Anwenden einer physikalischen Gleichung gelöst. Sie dienen vor allem dazu, erste Fähigkeiten im Anwenden eines physikalischen Gesetzes zu erwerben.

#### Beispiel:

Ein Güterzug hat eine Geschwindigkeit von  $15 \text{ m s}^{-1}$ . Welche Strecke legt er in drei Stunden zurück?

Gegeben:  $v = 15 \text{ m s}^{-1}$                        $t = 3 \text{ h}$

Gesucht:  $s$

Bedingung: konstante Geschwindigkeit

$$v = \frac{s}{t}$$

$$s = v \cdot t$$

$$s = \frac{15 \cdot 3600 \cdot 3 \text{ km} \cdot \text{h}}{1000 \text{ h}}$$

$$s = 162 \text{ km}$$

=====

Der Güterzug legt bei konstanter Geschwindigkeit eine Strecke von 162 km zurück.

Bei komplexen Aufgaben werden mehrere physikalische Beziehungen zum Lösen benötigt, zum Teil auch aus verschiedenen physikalischen Gebieten. Häufig lassen sich komplexe Aufgaben auf mehrere einfache Aufgaben zurückführen.

#### Beispiel:

Es ist der Widerstand der Heizwendel eines elektrischen Teekessels zu berechnen, der für eine Spannung von 220 V bestimmt ist. In ihm werden in 20 Minuten 1,5 l Wasser von einer Temperatur von 293 K auf Siedetemperatur erwärmt. Der Wirkungsgrad des Teekessels beträgt 75 %.

Gegeben:  $U = 220 \text{ V}$   
 $T_0 = 293 \text{ K}$   
 $t = 20 \text{ min}$   
 $V = 1,5 \text{ l}$   
 $\eta = 0,75$

Gesucht:  $R$

Bedingung: Der Widerstand wird für die erhitzte Heizwendel bestimmt.

Die aufgenommene thermische Energie ist gleich der abgegebenen elektrischen Energie, von der aber nur 75 % zum Erwärmen des Wassers genutzt werden.

$$W_{th} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

$$W_{el} = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Es muß ergänzt werden:

Endtemperatur  $T_1 = 373 \text{ K}$

spezifische Wärmekapazität des Wassers  $c_w = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Masse des Wassers:  $m = 1,5 \text{ kg}$

Es gilt somit

$$m \cdot c \cdot (T_1 - T_0) = \eta \cdot \frac{U^2}{R} \cdot t$$

$$R = \frac{\eta \cdot U^2 \cdot t}{m \cdot c \cdot (T_1 - T_0)}$$

$$R = \frac{0,75 \cdot 220^2 \cdot 120 \text{ V}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{kg} \cdot \text{kJ}}{1,5 \cdot 4,19 \cdot 8 \text{ kg} \cdot \text{kJ} \cdot \text{K}}$$

$$R = 86,6 \text{ k}\Omega$$

Der Widerstand der Heizwendel im erhitzten Zustand beträgt  $8660 \Omega$ .

Für die Vorgehensweise beim Lösen dieser Aufgabe ist kennzeichnend, daß nicht von der gesuchten Größe  $R$ , sondern von Beziehungen für Zwischengrößen (aufgenommene thermische Energie, abgegebene thermische Energie) ausgegangen wurde. Durch Zusammenfassung dieser Größen und algebraische Umformung konnte dann die gesuchte Größe  $R$  eliminiert werden. Wir bezeichnen das als synthetisches Vorgehen. Natürlich wäre es bei diesem Vorgehen auch möglich gewesen, zunächst die Zwischengröße  $W_{th}$  zu berechnen und damit die Berechnung von  $R$  vorzunehmen.

Eine andere Möglichkeit, eine Aufgabe zu lösen, bietet das analytische Vorgehen. Dabei wird direkt von der gesuchten Größe ausgegangen. Sie wird durch bekannte Beziehungen ausgedrückt, und schritt-

weise wird analysiert, welche weiteren Größen und Beziehungen zu nutzen sind, um zur Lösung zu gelangen.

An der bekannten Aufgabe zur Bestimmung des Widerstandes einer Heizwendel sei das analytische Vorgehen kurz demonstriert:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

$$I = \frac{W_{el}}{U \cdot t}$$

$$R = \frac{U^2 \cdot t}{W_{el}}$$

$$\eta \cdot W_{el} = W_{th}$$

$$W_{el} = \frac{W_{th}}{\eta}$$

$$W_{th} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$W_{el} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\eta}$$

$$R = \frac{U^2 \cdot t \cdot \eta}{m \cdot c \cdot \Delta T}$$

In diese Gleichung werden jetzt wie am Ende des synthetischen Weges die gegebenen Werte eingesetzt.

### Übung:

Versuchen Sie, die folgende Aufgabe sowohl auf synthetischem als auch auf analytischem Wege zu lösen! Ein Lastkraftwagen mit einer Masse von 3 000 kg fährt mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit 20 kmh<sup>-1</sup> auf einer Wegstrecke von 1 km. Die Steilheit der Strecke beträgt 0,17. Der Reibungskoeffizient hat den Wert 0,01. Es ist die Leistung des Motors zu berechnen!

Ansatz

synthetisch

analytisch

$$G_1 = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$P_1 = \frac{W_1}{t}$$

Es ist nicht erforderlich, eine komplexe Aufgabe ausschließlich auf synthetischem oder analytischem Weg lösen zu wollen. Vielmehr ist bei jedem Schritt zu prüfen, welches Vorgehen am zweckmäßigsten ist. Bei solchen Aufgaben ist ein mehrfacher Wechsel zwischen synthetischem und analytischem Vorgehen sinnvoller.

Nach diesen Vorbetrachtungen soll nun als Anleitung zum Lösen algebraisch lösbarer physikalischer Aufgaben eine grundlegende Vorgehensweise dargestellt werden. Ein konsequentes Arbeiten nach den gegebenen Hinweisen wird sicher helfen, beim Lösen anspruchsvoller Aufgaben gut voranzukommen. Zum besseren Verständnis werden bei den einzelnen Schritten Fragen gestellt.

## Löseverfahren für algebraisch lösbare physikalische Aufgaben

### A. Problemanalyse

Es ist der Text der Aufgabe gründlich zu studieren. Dabei sind das Ziel, der physikalische Sachverhalt und die Bedingungen herauszuarbeiten. In der Regel hilft dabei das Anfertigen einer Skizze, in der wesentliche Seiten der Aufgabenstellung erfaßt werden.

Wir fragen:

- Was für ein Sachverhalt liegt vor?
- Wie kann er physikalisch beschrieben werden?
- Welche Bedingungen sind in der Aufgabe gegeben?
- Was ändert sich am Sachverhalt, wenn man die Bedingungen ändert?

### B. Mittelanalyse

Es ist aus dem Text der Aufgabe zu erschließen, welche physikalischen Größen gegeben und gesucht sind. Dabei sind entweder auf analytischem oder synthetischem Weg Beziehungen zwischen den Größen zu ermitteln.

Wir fragen:

- Welche physikalischen Größen sind im Text der Aufgabe direkt gegeben?
- Welche Größen sind im Aufgabentext indirekt gegeben (z. B. spezifische Wärmekapazität des Wassers; Siedetemperatur des Wassers)?
- Was wird in der Aufgabe gesucht?
- Welche Beziehungen zwischen den Größen sind bekannt?

### C. Aufstellen des Löseweges

Mit den unter Punkt B ermittelten Beziehungen und unter Nutzung herauszufindender weiterer Beziehungen ist der Löseweg aufzustellen.

Wir fragen:

- Welche physikalischen Prinzipien kommen beim vorgegebenen Sachverhalt zur Anwendung (z. B. Energieerhaltungssatz; Impulserhaltungssatz; Drehimpulserhaltungssatz; Erhaltungssatz für die elektrische Ladung; Newtonsche Axiome)?
- Wie kann man den vorgegebenen physikalischen Sachverhalt erklären?
- Welche weiteren Beziehungen sind zur Lösung der Aufgabe erforderlich?

Unter Umständen ist es notwendig, über ein Gleichungssystem zur Lösung voranzuschreiben. Die Anzahl der Gleichungen muß dann gleich der Anzahl der gesuchten Größen sein.

#### D. Erarbeiten der allgemeinen Lösung

Aus den unter Punkt C entwickelten Gleichungen und Gleichungssystemen sind die gesuchte Größe oder erforderliche Zwischengrößen zu isolieren. Mit den gewonnenen Gleichungen ist eine Dimensionsprobe durchzuführen. Die gewonnenen Endgleichungen sind physikalisch zu interpretieren.

Wir fragen:

- Ergibt sich bei einer Dimensionsprobe auf beiden Seiten der gewonnenen Gleichungen die gleiche Dimension?
- Sind alle in der Aufgabe gesuchten Größen durch allgemeine Gleichungen mit bekannten Größen ausgedrückt?
- Gibt es Einschränkungen für die gewonnenen Endgleichungen auf Grund vorgegebener Bedingungen?
- Wie lassen sich die gewonnenen mathematischen Gleichungen physikalisch interpretieren?

#### E. Ermitteln der speziellen Werte

Durch Einsetzen der gegebenen Größen in die unter Punkt D gewonnenen allgemeinen Gleichungen und durch Ausführen der Rechenoperationen sind die speziellen Werte für die gesuchten Größen zu ermitteln. Dabei ist das Rechnen stets mit den Einheiten durchzuführen. Man erhält dadurch eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit. Bei den Berechnungen muß auf eine sinnvolle Rechengenauigkeit geachtet werden. Diese wird nicht mit der Anzahl der Ziffern hinter dem Komma größer. Es gilt die Regel, daß die Zahl mit der geringsten Stellenzahl die sinnvolle Stellenzahl des Ergebnisses bestimmt.

#### Beispiel:

Es ist der Flächeninhalt eines Rechtecks zu bestimmen mit

$$l = 5,25 \text{ m} \qquad b = 2,5 \text{ m}$$

$$A = 5,25 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 13,125 \text{ m}^2$$

$$A = 13 \text{ m}^2$$

=====

Wir fragen:

- Stimmt die erhaltene Einheit der errechneten Größe mit der gesuchten Einheit überein?
- Welche Stellenzahl ist bei der Rechnung anzustreben, um keine in Wirklichkeit nicht vorhandene Genauigkeit vorzutäuschen?

#### F. Kontrolle des Ergebnisses

Es ist zu überprüfen, ob das Ergebnis alle Anforderungen der Aufgabe erfüllt. Dabei sollte immer die Frage gestellt werden, ob das Ergebnis wirklichkeitsnah ist. Dazu stellt man einen Vergleich des errechneten Ergebnisses mit Abschätzungen der Größenordnung an. Wenn beispielsweise für ein elektrisches Bügeleisen eine Stromstärke von 50 A errechnet wird, so ergibt bereits die Überlegung über die Absicherungen elektrischer Stromkreise im Haushalt (6 oder 10 A), daß ein Rechenfehler vorliegt. Stellt man einen möglichen Fehler fest, so ist es zweckmäßig, nicht einfach denselben Löseweg zu wiederholen, da infolge eingetragener Gedankenführung häufig der Fehler nicht aufgefunden wird. Es empfiehlt sich, den gesamten Löseweg möglichst in abgewandelter Reihenfolge erneut zu bearbeiten.

Wir fragen:

- Sind alle Anforderungen der Aufgabe erfüllt?
- Sind Größenordnungen und Einheiten richtig?
- Welche Erweiterungsmöglichkeiten ergeben sich für die Aufgabe, wenn die Bedingungen geändert oder neue Bedingungen eingeführt werden?
- Welche Kontrollmöglichkeit zur Überprüfung der ermittelten Werte für die Größen gibt es?
- Welche Beziehungen zu experimentellen Untersuchungen lassen sich aus den Ergebnissen ableiten?
- Sind alle beim Lösen der Aufgabe angegebenen Informationen ausreichend, damit auch einer anderen Person die Gedankenführung deutlich wird?

#### E. Formulieren der Ergebnissätze

Es sind die gegebenen Bedingungen und die Voraussetzungen, unter denen die Lösung erfolgte, mit anzugeben.

Im realen Löseprozeß müssen die einzelnen Schritte nicht so streng nacheinander abfolgen. Die Übergänge sind vielmehr fließend, zwischen den einzelnen Schritten bestehen Verknüpfungen. Mit zunehmenden Fähigkeiten werden darüber hinaus einzelne Phasen automatisch durchlaufen und dadurch nicht mehr bewußt wahrgenommen.

Abschließend soll die beschriebene Vorgehensweise an einem Beispiel demonstriert werden:

### Beispiel:

Ein Gegenstand mit einer Oberfläche von  $500 \text{ cm}^2$  soll galvanisch verkupfert werden. Die Schichtdicke des Kupfers soll  $0,3 \text{ mm}$  betragen. Die Stromdichte beträgt  $0,5 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$ . Es wird mit einer Spannung von  $2,5 \text{ V}$  gearbeitet. Die Dichte des Kupfers beträgt

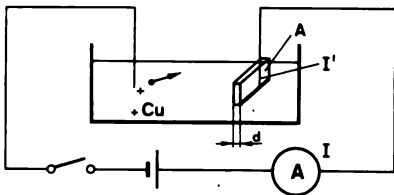
$$\rho = 8,9 \text{ gcm}^{-3}.$$

Bestimmen Sie Größen, die für diesen Prozeß charakteristisch sind und Auswirkungen auf die Qualität der Oberflächenveredlung und die Ökonomie haben.

### A. Problemanalyse

Es handelt sich um die elektrolytische Abscheidung von zweiwertigen Kupferionen. Es wird eine Kupfersorte mit der Dichte

$\rho = 8,9 \text{ gcm}^{-3}$  verwendet. Entsprechend der Stärke des Stromes wird eine bestimmte Kupfermasse  $m_{\text{Cu}}$  transportiert. Bei größerer Stromdichte  $I'$  entstehen größere Stromstärken, die zwar zu einer Herabsetzung der erforderlichen Zeit führen würden, aber keine gute Beständigkeit des galvanischen Überzugs gewährleisten.



### B. Mittelanalyse

Gegebene Größen:  $I' = 0,5 \text{ Adm}^{-2}$      $d = 0,3 \text{ mm}$      $\rho_{\text{Cu}} = 8,9 \text{ gcm}^{-3}$   
 $U = 2,5 \text{ V}$      $A = 500 \text{ cm}^2$   
 $A = 5 \text{ dm}^2$

indirekt gegeben: Es handelt sich um 2wertiges Cu, also

$$m_{\text{Ag}} = 31,77 \text{ g}.$$

Gesucht werden Größen, die für den Prozeß charakteristisch sind und Auswirkungen auf die Qualität der Oberflächenveredlung und

die Ökonomie haben. Dazu zählen u. a. Einschaltzeit  $t$ ; erforderliche elektrische Energie  $W_{el}$ ; Leistungsaufnahme der Apparatur  $P_{el}$ . Es ist bekannt:

$$W = U \cdot I \cdot t; I = I' \cdot A; m = \rho \cdot V; I = \frac{Q}{t}.$$

Aus einer Tabelle über physikalische Konstanten entnehmen wir, daß eine elektrische Elementarladung  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  As beträgt und daß 1 mol  $6,023 \cdot 10^{23}$  Teilchen sind.

### C. Aufstellen des Löseweges

Aus der zu verkupfernden Fläche  $A$  und der Dicke  $d$  ergibt sich das Volumen der Kupferschicht. Die Masse, die abgeschieden werden muß, ist durch das Produkt  $\rho \cdot V$  gegeben. Durch 1 mol wird bei einwertigen Ionen eine Ladung von  $1,602 \cdot 10^{-19}$  As  $\cdot 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  transportiert. Das sind  $96\,490 \text{ As} \cdot \text{mol}^{-1}$  oder unter Berücksichtigung der Äquivalentmasse (Atommasse durch Wertigkeit der Ionen)  $96\,490 \text{ As} \cdot \text{val}^{-1}$  (1 val Cu = 31,77 g).

Die erforderliche Stromstärke kann aus der Stromdichte und der Fläche ermittelt werden. Die Ladungsmenge läßt sich aus der Masse und der durch 1 As abgeschiedenen Masse ermitteln.

Energie und Leistungsaufnahme errechnen sich aus Stromstärke, Spannung und Zeitdauer des Vorgangs.

### D. Erarbeiten der allgemeinen Lösung

$$V = d \cdot A$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$I = I' \cdot A$$

$$Q_{Cu} = \frac{m}{m'}$$

$$t = \frac{Q_{Cu}}{I}$$

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

$$P_{el} = U \cdot I$$

===

===

$$W_{el} = U \cdot Q_{Cu}$$

$$t = \frac{m}{m' \cdot I' \cdot A} = \frac{\rho \cdot V}{m' \cdot I' \cdot A} = \frac{\rho \cdot d \cdot A}{m' \cdot I' \cdot A}$$

$$W_{el} = U \cdot I' \cdot A \cdot t$$

=====

$$P_{el} = U \cdot I' \cdot A$$

=====

Bei vorgegebener Stromdichte hängt die Einschaltdauer ausschließlich vom Material und der Dicke der aufzutragenden Schicht ab.

### E. Ermitteln der speziellen Werte

$$V = 5 \cdot 0,003 \text{ dm}^2 \cdot \text{dm}$$

$$V = 0,015 \text{ dm}^3$$

$$V = 15 \text{ cm}^3$$

$$I = 0,5 \frac{\text{A}}{\text{dm}^2} \cdot 5 \text{ dm}^2$$

$$I = 2,5 \text{ A}$$

$$t = \frac{113 \text{ Ah}}{2,5 \text{ A}}$$

$$t = 45 \text{ h}$$

=====

$$W_{el} = 2,5 \text{ V} \cdot 2,5 \text{ A} \cdot 45 \text{ h}$$

$$W_{el} = 281 \text{ Wh}$$

$$W_{el} = 0,281 \text{ kWh}$$

=====

$$P_{el} = 2,5 \text{ V} \cdot 2,5 \text{ A}$$

$$P_{el} = 6,3 \text{ W}$$

=====

$$m = 8,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 15 \text{ cm}^3$$

$$m = 133,5 \text{ g}$$

$$Q_{Cu} = \frac{133,5 \cdot 96\,490 \text{ Ah}}{31,77 \cdot 3\,600}$$

$$Q_{Cu} = 113 \text{ Ah}$$

### F. Kontrolle des Ergebnisses

Energieverbrauch und Leistungsaufnahme sind verhältnismäßig gering. Der Energieverbrauch ist nur etwa halb so hoch wie der Verbrauch bei einer 100 W Lampe, die fünf Stunden eingeschaltet ist.

Die Einschaltdauer ist verhältnismäßig lang. Dies ist aber erforderlich, damit ein möglichst fester Überzug entsteht. Es empfiehlt sich daher, mehrere Oberflächenveredelungen gleichzeitig durchzuführen. Die Flächen müßten parallel geschaltet werden, so daß überall eine Spannung von 2,5 V anliegt und somit die Stromdichte von  $0,5 \text{ Adm}^{-2}$  erhalten bleibt. Die gesamte Leistungsaufnahme und der Energieverbrauch vergrößern sich dann entsprechend der Flächenvergrößerung.

Zu klären wäre weiterhin:

Wodurch ist die Stromdichte bestimmt?

Wie erfolgt die Bereitstellung der notwendigen Kupferionen im Elektrolyten?

Wie wird der Prozeß bei einer erhöhten Temperatur verlaufen?

(R nimmt mit zunehmender Temperatur bei Elektrolyten ab).

### G. Formulieren der Ergebnissätze

Um auf einer Fläche von  $500 \text{ cm}^2$  bei einer Spannung von  $2,5 \text{ V}$  und einer Stromdichte von  $0,5 \text{ A dm}^{-2}$  eine  $0,3 \text{ mm}$  dicke Kupferschicht aufzutragen, muß die galvanische Anlage 45 Stunden eingeschaltet werden. Die Leistungsaufnahme der Anlage beträgt  $6,3 \text{ W}$ , der Energieverbrauch  $0,28 \text{ kWh}$ .

### 1.2. Experimentell lösbare physikalische Aufgaben

Experimentell lösbare physikalische Aufgaben unterscheiden sich von algebraisch lösbaren durch das Lösemittel. Waren zum Lösen algebraisch lösbarer physikalischer Aufgaben mathematische Formalismen verwendet worden, sind es hier vor allem experimentelle Mittel. Die Vorgehensweise beim Lösen der letztgenannten Aufgaben entspricht vom Wesen her der bei algebraisch lösbaren Aufgaben, wird aber inhaltlich entsprechend modifiziert vor allem an den Stellen, wo die experimentellen Mittel eine Rolle spielen.

Für das erfolgreiche Lösen sind eine exakte Analyse der Aufgabenstellung (Erkennen des Wesentlichen in der Aufgabenstellung und Verständnis des physikalischen Inhalts) und das Umsetzen des physikalischen Sachverhaltes in eine geeignete experimentelle Anordnung wichtig.

Damit der gewählte Löseweg für eine experimentelle Aufgabe wiederholt und alle Bedingungen ausreichend berücksichtigt werden können, ist stets eine verbale Beschreibung des Vorgehens erforderlich. Alle Beobachtungen müssen notiert werden. Das trifft nicht nur für die abgelesenen Meßwerte zu.

Da bei der Durchführung von Experimenten in der Regel die quantitative Erfassung der physikalischen Realität erforderlich ist, werden geeignete Meßgeräte benötigt. Bei der Beschreibung und Erklärung des Vorgehens beim Experimentieren müssen die Funktionsweise der jeweiligen Meßgeräte, der genutzte Meßbereich und die Meßunsicherheit mit angegeben werden. Wenn vom untersuchten Ereignis bis zur Registriereinrichtung mehrere Meßwandler eingesetzt wurden, so ist die vollständige Kette der Geräte vom Meßpunkt (Ereignis, das untersucht werden soll) bis zur Registriereinrichtung anzugeben.

Jede Messung ist fehlerbehaftet. Um die aus verschiedenen Ursachen herrührenden Fehler rechtzeitig zu erkennen, ist es notwendig,

die Fehler frühzeitig einzuschätzen und durch geeignete Maßnahmen einzuschränken. Dies wird deshalb notwendig, weil in der Regel nicht nur eine Größe gemessen wird. Damit gehen mehrere Fehler in das Ergebnis ein.

Bei der Anlage des Versuchsprotokolls sind die theoretischen Grundlagen für die physikalischen Vorgänge anzugeben. Aus ihnen kann man durch Betrachten der Fehlerfortpflanzung, die sich beim Errechnen des Resultates ergibt, jene Größen erkennen, die einen besonders großen Einfluß auf die Qualität des Resultates haben. Diese müssen mit besonderer Sorgfalt gemessen werden.

Es sind folgende Arten von Fehlern zu unterscheiden:

a) Grobe Fehler

Grobe Fehler resultieren aus der Unachtsamkeit des Experimentators. Sie sind grundsätzlich vermeidbar. Ansatzpunkte für grobe Fehler müssen deshalb rechtzeitig erkannt und ausgeschaltet werden.

Solche Fehler können beispielsweise entstehen durch

- Irrtümer des Beobachters (falsches Ablesen)
- die Wahl eines ungeeigneten Meßverfahrens (starke Beeinflussung der Meßgröße durch den Meßvorgang).

b) Systematische Fehler

Systematische Fehler werden durch die fehlerhafte Anzeige der Meßgeräte hervorgerufen. Die Alterung eines Gerätes oder eine falsche Eichung führen zu systematischen Fehlern.

Sie können durch Verwenden besserer Meßgeräte oder durch Anwenden eines anderen Meßverfahrens eingeschränkt oder beseitigt werden. In der Regel ist bei Experimenten in der Schule oder bei Schülerwettbewerben eine Beseitigung wegen des damit verbundenen hohen Aufwandes nicht möglich. Es ist daher erforderlich, daß man den Einfluß der systematischen Fehler auf das Resultat analysiert und im Protokoll mitangibt.

c) Zufällige Fehler

Zufällige Fehler entstehen durch Ablesefehler eines Beobachters oder durch äußere Einflüsse (Temperatur-, Druckänderung). Sie lassen sich durch häufiges Messen der jeweiligen Größe verringern. Das Einengen der zufälligen Fehler wird durch eine Fehlerrechnung vorgenommen. Es ist dafür erforderlich, die Meßgrößen mindestens zehnmal zu messen und zunächst die Mittelwerte und die Meßfehler der Einzelgrößen zu bestimmen. Mehr zur Fehlerrechnung finden

Sie bei: Ilberg/Kötsch: Physikalisches Praktikum. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1977, oder W. Körner (Hrsg.): Übungen zur Physik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1976.

Damit man beim experimentellen Arbeiten die Sorgfalt nicht zu weit treibt, ist es erforderlich, vor den Messungen die mit den vorgegebenen Geräten erreichbare Meßunsicherheit zu ermitteln. Die Meßunsicherheit erfaßt den Einfluß aller zufälligen und abschätzbaren systematischen Fehler einer Meßanordnung auf das Meßergebnis. Bei Meßunsicherheiten mehrerer Geräte (vgl. Übungen zur Physik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1979, S. 12 ff.) wird die gesamte Meßunsicherheit durch die am ungenauesten meßbare Größe bestimmt. Über diese Meßunsicherheit braucht man bei der Ermittlung der übrigen Größen nicht hinauszugehen. Beispielsweise können Flüssigkeitsthermometer in der Regel auf 0,1 K oder 0,05 K genau abgelesen werden. Beträgt zum Beispiel eine Temperaturänderung bei einem Experiment 10 K oder 15 K, so ergibt sich eine Meßunsicherheit von

$$\frac{0,1}{10} \cdot 100 \% = 1 \% \quad \text{b.} \quad \frac{0,1}{15} \cdot 100 \% = 0,67 \%$$

Für elektrische Meßgeräte ist die auf den Vollausschlag bezogene Fehlergrenze durch die Güteklassenangabe auf der Skala vorgegeben: Klasse 1 Fehlergrenze 1 % usw.

Da sich die Fehlergrenze auf den Endausschlag bezieht, wird der relative Fehler um so größer, je kleiner der Zeigerausschlag ist.

#### Beispiel:

Bei einem elektrischen Meßgerät der Güteklasse 1,5 beträgt der Meßbereich 300 V (Vollausschlag). Das heißt je Skalenteil können Abweichungen von  $\frac{300 \text{ V} \cdot 1,5}{100} = 4,5 \text{ V}$  auftreten.

Das ergibt

bei 50 V einen relativen Fehler von  $\frac{4,5 \text{ V}}{50 \text{ V}} \cdot 100 \% = 9 \%$

bei 250 V einen relativen Fehler von  $\frac{4,5 \text{ V}}{250 \text{ V}} \cdot 100 \% = 1,8 \%$

Der relative Fehler ist im ersten Sechstel der Skale fünfmal so groß wie im letzten Sechstel. Es sollte daher stets das elektrische Meßgerät rechtzeitig auf den nächst niederen Meßbereich eingeschaltet werden, damit die Messung möglichst im letzten Drittel der Skale erfolgen kann.

Zur Auswertung der gewonnenen Werte wird häufig eine grafische Darstellung angefertigt. Für diese ist hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Aussagekraft eine passende Festlegung der Maßstäbe für die Koordinatenachsen wesentlich. Um auf beiden Achsen gleiche Ablesegenauigkeit zu erhalten, sollte die ermittelte Kurve im Hauptteil nicht allzu stark von einem Winkel von  $45^\circ$  abweichen. Zuweilen ist es vorteilhaft, wenn Funktionen von Meßwerten (z. B.  $\log I$ ) grafisch dargestellt werden, weil dadurch die Kurve eine Gerade wird. Dafür wird dann je nach der gewählten Funktion für die Meßgröße einfach- oder doppelt-logarithmisches Papier oder Polarkoordinatenpapier verwendet.

Hinweise hierfür entnimmt man bei Ilberg/Kötsch: Physikalisches Praktikum. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1977.

Über den Lösevorgang ist ein Protokoll anzufertigen, das die wesentlichen Lösephasen widerspiegelt.

Beim Lösen experimenteller Aufgaben ist folgendermaßen vorzugehen:

#### A. Problemanalyse

Auch beim Lösen dieser Aufgabenart bildet das Verstehen der Aufgabe einen entscheidenden Ausgangspunkt. Dazu ist der Text gründlich zu analysieren und der physikalische Inhalt herauszuarbeiten.

#### B. Analyse der Mittel und Fehler

Es sind zu bestimmen bzw. zu ermitteln:

- a) die zu messenden Größen und deren Beziehungen untereinander,
- b) die erforderlichen Geräte (falls sie nicht vorgegeben sind),
- c) die Fortpflanzung der Fehler von Einzelmessungen,
- d) der Größtfehler (vgl. angeführte Literatur).

#### C. Skizze und Beschreibung des Geräteaufbaus

Es ist eine Skizze des Geräteaufbaus anzufertigen. Für elektrische Messungen sind die vorgesehenen Schaltungen zu skizzieren.

Die Bedingungen, unter denen das Experiment durchgeführt werden soll, sind anzugeben. Das schrittweise Vorgehen bei den nachfolgenden Messungen ist verbal zu beschreiben.

Bei black-box-Experimenten sind die Varianten für die Untersuchung der black-box anzugeben, aus denen der innere Aufbau ermittelt werden soll.

#### D. Aufstellen der Meßwerttabelle

Die Meßgrößen sind in entsprechende Spalten einer Meßwerttabelle einzutragen.

Dabei werden die Tabellen so angelegt, daß in zusätzlichen Spalten jene errechneten Werte eingetragen werden können, die für die nachfolgende Fehlerrechnung erforderlich sind.

#### E. Ausführen der Messungen

Beim Ausführen der Messungen sind grundsätzlich Zeitpunkt und Bedingungen festzuhalten. In der Regel gehören zum Ausführen der Messungen: der Aufbau der Versuchsanordnung, die Beobachtungen, das Ablesen des Meßwertes. Beim Ablesen müssen mögliche grobe Fehler vermieden werden (z. B. Parallelenfehler). Beim Verwenden von Meßgeräten mit veränderbaren Meßbereichen wird jener Meßbereich für die Messung gewählt, der eine hinreichende Genauigkeit liefert. Im allgemeinen kann mit einer Genauigkeit von 0,1 % gearbeitet werden. Um bei der Auswertung gezielt vorgehen zu können, sollte immer überschlagsmäßig ermittelt werden, welche Genauigkeit mit dem verwendeten Meßgerät erreicht werden kann.

Bei black-box-Experimenten ist die Einflußnahme auf die black-box vorsichtig vorzunehmen (langsames Vergrößern von Kräften oder elektrischen Spannungen), so daß eine Zerstörung des Innenaufbaus der black-box vermieden wird. Beim Anlegen elektrischer Spannungen an Versuchsschaltungen ist auf vorgegebene Grenzwerte für Betriebsspannungen zu achten.

#### F. Bearbeiten der Meßwerte

Zum Bearbeiten der Meßwerte gehören unter anderem:

- a) Mittelwertberechnung
- b) Berechnen der Abweichungen
- c) Grafisches Darstellen der Meßwerte
- d) Ausschließen von Meßwerten mit sehr großen Abweichungen (eventuell ist für diese Meßpunkte eine gesonderte Untersuchung erforderlich)
- e) Berechnen der geforderten Endwerte
- f) Fehlerrechnung
- g) Angabe der Ergebnisse mit prozentualem Fehler.

#### G. Kontrolle der Ergebnisse

Es ist zu untersuchen, welche äußeren Einwirkungen die Messung beeinflussen haben. Unter Umständen müssen Überlegungen für eine Verbesserung der Meßapparatur angegeben werden.

## H. Formulieren der Ergebnissätze

Die gefundenen Zusammenhänge oder Größen sind anzugeben. Die Bedingungen, unter denen das Experiment erfolgte, und die Fehler des Ergebnisses werden genannt.

Beispiele für experimentell lösbare Aufgaben

1. Es ist der Elastizitätsmodul eines selbstgewählten Dederonfadens oder Gummibandes zu ermitteln! Welche Rolle spielt die Breite des Gummibandes?
2. Es ist die Schwingungsdauer einer Flüssigkeit in einem U-Rohr in Abhängigkeit von der Dichte der Flüssigkeit zu ermitteln!

### 1.3. Grafisch lösbare physikalische Aufgaben

Eine ganze Reihe von Aufgaben im Physikunterricht sind grafisch lösbar. Dazu gehören:

- das Arbeiten mit Vektoren (z. B. Bestimmen der Resultierenden von mehreren an einem Körper angreifenden Kräften),
- das grafische Darstellen funktionaler Zusammenhänge in einem Diagramm (z. B. Aufzeichnen der Kennlinie eines elektronischen Bauelementes) sowie
- das geometrische Konstruieren (z. B. Konstruieren eines Bildes am Hohlspiegel).

Das Hauptaugenmerk beim Lösen dieser Aufgaben muß auf der exakten und sauberen Ausführung der Zeichnung liegen. Haupt- und Hilfslinien sind in der Stärke voneinander abzuheben. Bei grafischen Darstellungen ist die Kurve so einzuzichnen, daß in den Meßwerten aufgetretene Fehler durch den Kurvenzug ausgeglichen werden.

Wie bei algebraisch und experimentell lösbaren Aufgaben läßt sich auch eine für das Lösen grafisch lösbarer physikalischer Aufgaben modifizierte Schrittfolge angeben:

#### A. Problemanalyse

Wie bei den beiden anderen Aufgabenarten gilt es, die Aufgabe zu verstehen und den physikalischen Inhalt zu erkennen.

#### B. Mittelanalyse

Gegebene und gesuchte Größen sind aus dem Text zu analysieren. Dabei ist bei Vektoren neben dem Betrag der einzelnen Größen deren Richtung von großer Bedeutung. Auch auf indirekt gegebene Größen muß geachtet werden.

### C. Bestimmen des Löseweges

Je nach dem konkreten Lösemittel ist zu prüfen, ob eine Skizze den prinzipiellen Löseweg verdeutlichen kann. Bei grafischen Darstellungen ist eine sinnvolle Achsenbezeichnung bzw. Achsenteilung zu finden. Markante Punkte (z. B. Brennpunkt, Mittelpunkt bei geometrischen Konstruktionen) sind aufzufinden.

### D. Ermitteln der speziellen Lösung

Als Schwerpunkte ergeben sich in diesem Teilschritt:

- genaues Abtragen der Beträge der Größen und Winkel, sorgfältiges Parallelverschieben usw.,
- exaktes Eintragen der Wertepaare, sauberes Verbinden,
- ordentliches Arbeiten beim Konstruieren der ausgezeichneten Strahlen.

### E. Kontrollieren des Ergebnisses

Hier gelten die gleichen Schwerpunkte wie auch bei den schon beschriebenen Aufgabenarten. Vorrangig dabei ist die Kontrolle, inwieweit die Ergebnisse den praktischen Erfahrungen des Bearbeiters entsprechen.

### F. Formulieren des Ergebnissatzes

In einem Ansatz wird die Lösung entsprechend der Aufgabenforderung dargestellt. Die Bedingungen, unter denen das Lösen erfolgte, sind anzugeben.

### Beispiele für grafisch lösbare Aufgaben:

1. Konstruiere das Bild eines Gegenstandes, der zwischen einfacher und doppelter Brennweite steht, wenn der Radius der bikonvexen Linse nur  $\frac{2}{3}$  der Höhe des Gegenstandes beträgt.
2. Die Kugeln eines Doppelpendels tragen gleich große positive elektrische Ladungen. Wie groß ist die Abstoßungskraft, wenn das Gewicht jeder Kugel 0,03 N und der Winkel zwischen den Fäden  $30^\circ$  beträgt?

### 1.4. Physikalische Denkaufgaben

Physikalische Denkaufgaben nehmen unter den physikalischen Aufgaben eine Sonderstellung ein. Für das Lösen dieser Aufgaben gibt es kein bestimmtes Verfahren (wie z. B. mathematische Gleichungen, experimentelle Anordnungen oder grafische Verfahren). Das Ergebnis ist bei diesen Aufgaben immer qualitativ.

Denkaufgaben sind in der Regel durch hohe Anforderungen an das Denk- und Abstraktionsvermögen gekennzeichnet. Das Lösen erfolgt allein durch physikalisches Denken.

### Beispiele:

1. Warum steigen beim Schütteln eines Topfes voller Kartoffeln die größten nach oben?
2. Bei Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  schmilzt das Eis unter dem Druck einer Schlittschuhkufe nicht mehr. Trotzdem gleitet der Schlittschuhläufer auf einen äußerst dünnen Wasserfilm. Warum? (Aus Makajewa/Zedrik: Verwunderliches aus der Physik. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1966.)

Physikalische Denkaufgaben können sich auf schon Bekanntes beziehen, sie können beim Lösen aber auch das Übertragen von Bekanntem auf neue Sachverhalte erforderlich machen.

Das Lösen solcher Aufgaben eignet sich damit besonders zum Schulen des logischen Denkens und ist sehr wertvoll für das Entwickeln geistiger Fähigkeiten.

Die Schritte beim Lösen verringern sich, da das Finden der speziellen Lösung als eigenständige Lösephase entfällt. Vielmehr wird das Lösen bereits in den ersten beiden Phasen vollzogen. Damit kommt der Problem- und Mittelanalyse eine doppelte Funktion zu. Das erfordert ein sehr sorgfältiges Arbeiten beim Bewältigen dieser Teilschritte. Auf die einzelnen Löseschritte soll hier nicht näher eingegangen werden, da dem Leser ein Übertragen aus den drei angeführten Schrittfolgen sehr leicht möglich ist.

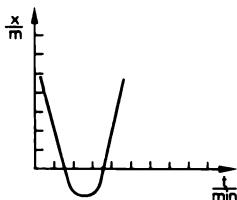
## 2. Aufgaben aus den verschiedenen Teilgebieten der Physik

### 2.1. Kinematik

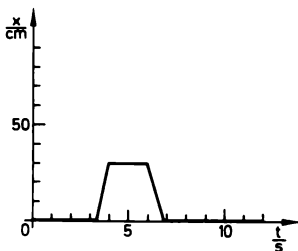
1. Zwei Personen, A und B, brechen zur gleichen Zeit in zwei verschiedenen Orten, P und Q, auf. Eine geht von P nach Q zurück, die andere von Q nach P zurück, beide ohne Aufenthalt und mit konstanter Geschwindigkeit.  
Die beiden Personen begegnen einander zweimal, das erste Mal 6 km von P, das zweite Mal drei Stunden nach der ersten Begegnung 4 km von Q entfernt.  
Man berechne den Abstand P Q und die Geschwindigkeiten  $v_A$  und  $v_B$ , mit denen die beiden Personen sich bewegen.
2. Auf welchem Breitenkreis der Erde muß ein Flugzeug mit der konstanten Geschwindigkeit von  $400 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  fliegen, damit der Pilot die Sonne in 12 Stunden zweimal aufgehen sieht?
3. Zwei Körper beginnen nacheinander mit einem Zeitunterschied von einer Sekunde aus der gleichen Höhe frei zu fallen.  
Wie ändert sich während des Falls der Abstand zwischen ihnen?
4. Ein Körper gleitet ohne Reibung auf einer geneigten Ebene herab, deren Neigungswinkel sich zwischen  $0$  und  $90^\circ$  einstellen läßt. Die Basislänge wird dabei konstant gehalten.
  - a) Stellen Sie den Zusammenhang zwischen der Zeit für das Heruntergleiten des Körpers und dem Neigungswinkel grafisch dar!
  - b) Bestimmen Sie den Winkel, für den die Gleitzeit am kleinsten ist!
5. Zwei Stahlkugeln fallen auf eine elastische Platte. Die erste fällt aus der Höhe  $h_1 = 44 \text{ cm}$ , die zweite um die Zeit  $t_0$  später aus der Höhe  $h_2 = 11 \text{ cm}$ . Nach einer gewissen Zeit sind sowohl die Beträge als auch die Richtungen der Geschwindigkeiten beider Kugeln gleich. Es sind zu bestimmen:
  - a) die Zeit  $t_0$  und
  - b) das Zeitintervall, während dessen die Geschwindigkeiten übereinstimmen.Die Kugeln stoßen sich während der Bewegung nicht.

6. Ein Motorradfahrer fährt mit konstanter Geschwindigkeit senkrecht auf eine Mauer zu. Im Abstand  $D$  von der Mauer gibt er ein kurzes Hupsignal. Das reflektierte Signal empfängt er, nachdem er  $\frac{1}{9}$  der Strecke  $D$  zurückgelegt hat. Wie groß ist die Geschwindigkeit des Motorradfahrers, wenn die Schallgeschwindigkeit  $v_s = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  beträgt?
7. Ein frei fallender Körper legt während der letzten Sekunde seines Falles die Hälfte der gesamten Fallstrecke zurück. Wie lange und aus welcher Höhe fiel der Körper?
8. Ein Personenzug verläßt den Bahnhof von Güstrow mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von  $55 \text{ km h}^{-1}$ . Nach jeder Viertelstunde Fahrzeit hält er vier Minuten. Zwei Stunden nach diesem Zug fährt der Ostseeexpress mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von  $95 \text{ km h}^{-1}$  von Güstrow ab. Er hält unterwegs nicht. Nach welcher Zeit holt der Expresszug den Personenzug ein? Wie weit sind die Züge zu diesem Zeitpunkt von Güstrow entfernt?
9. Zeichnen Sie das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm eines gleichmäßig beschleunigten Kraftwagens, dessen Geschwindigkeit sich in  $2 \text{ s}$  um  $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ändert! Zeichnen Sie das Diagramm für die Fälle
- a) ohne Anfangsgeschwindigkeit,
  - b) mit einer Anfangsgeschwindigkeit von  $25 \text{ km h}^{-1}$ .
10. Zeichnen Sie die zur Aufgabe 9 a und b gehörenden Beschleunigungs-Zeit-Diagramme!
11. Ein Wanderer geht mit einer Geschwindigkeit von  $5 \text{ km h}^{-1}$  einen Weg entlang. Eine Stunde später fährt ihm sein Freund auf dem Fahrrad mit der Geschwindigkeit  $12 \text{ km h}^{-1}$  hinterher, weil er eine dringende Nachricht überbringen will. Die Frau des Wanderers schickt eine halbe Stunde danach noch ihren Sohn mit einem Moped hinterher. Dieser fährt mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von  $50 \text{ km h}^{-1}$ .
- a) Wann trifft der Wanderer
    - mit seinem Freund,
    - mit seinem Sohn zusammen?
  - b) Welche Wege werden jeweils zurückgelegt?

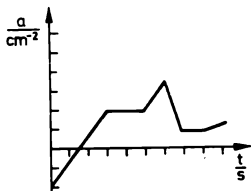
12. Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung gilt das dargestellte Diagramm. Zeichnen Sie das zugehörige Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm!



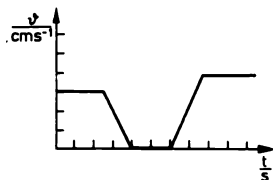
13. Geben Sie die Geschwindigkeit in verschiedenen Zeitabschnitten für den dargestellten Bewegungsablauf an!



14. Erläutern Sie den Bewegungsablauf für die dargestellte Bewegung!

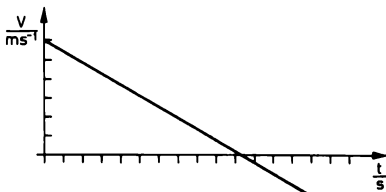


15. Beschreiben Sie die dargestellte geradlinige Bewegung!



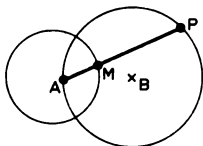
16. Ein Zug fährt mit einer Geschwindigkeit von  $85 \text{ kmh}^{-1}$ . Durch eine Bremsung wird seine Bewegung gleichmäßig verzögert. Nach einem Bremsweg von  $750 \text{ m}$  kommt er zum Stillstand. Es ist die Bewegung grafisch darzustellen!
17. Die Geschwindigkeit eines PKW beträgt nach  $5 \text{ s}$   $24 \text{ kmh}^{-1}$ , nach weiteren  $5 \text{ s}$   $50 \text{ kmh}^{-1}$ , nach weiteren  $6 \text{ s}$   $70 \text{ kmh}^{-1}$  und nach weiteren  $12 \text{ s}$   $95 \text{ kmh}^{-1}$ . Es ist das  $v$ - $t$ -Diagramm zu zeichnen! Wie groß war die Beschleunigung in den vier Zeitabschnitten?

18. In der Abbildung ist das v-t-Diagramm der Bewegung eines Körpers dargestellt. Geben Sie die Art der Bewegung an und ermitteln Sie die Endgeschwindigkeit und die Beschleunigung! Die Gleichung für die Ortsveränderung mit der Zeit ist anzugeben! Was geschieht mit dem bewegten Körper im Punkt B?



19. Berechnen Sie die Winkelgeschwindigkeiten der Zeiger einer Uhr und die Uhrzeit, zu der beide Zeiger zum ersten Mal nach 12 Uhr in die gleiche Richtung zeigen!
20. Zwei Radfahrer fahren mit konstanter Bahngeschwindigkeit (Betrag) auf konzentrischen Kreisbahnen mit den Längen  $l_1 = 560 \text{ m}$  und  $l_2 = 600 \text{ m}$ . Wenn sie mit gleichem Umlaufsinn fahren, dann überholt der Fahrer auf der inneren Bahn den anderen alle vier Minuten. Fahren sie entgegengesetzt, dann begegnen sie einander alle 48 Sekunden.  
(Im Augenblick des Begegnens bzw. Überholens befinden sich die beiden Radfahrer und der Kreismittelpunkt auf einer Geraden).  
Für jeden Radfahrer sind Geschwindigkeit und die Zentralbeschleunigung zu berechnen.
21. Gegeben sind zwei Kreise mit den Mittelpunkten A und B und den Radien  $a$  und  $b$ , so daß der zweite Kreis durch den Mittelpunkt des ersten geht. (Abb.) Ein Punkt M bewege sich gleichförmig auf dem Kreis um A mit der Umlaufzeit  $T$ . Wie groß sind die Geschwindigkeit und die Zentralbeschleunigung des Punktes P,

der sich auf dem anderen Kreis so bewegt, daß A, M und P immer auf einer Geraden liegen?



22. Ein Rad dreht sich mit 300 U/min. Wenn es nicht mehr angetrieben wird, bleibt es noch 30 s stehen. Wie groß ist die Winkelbeschleunigung beim Bremsen und wieviele Umdrehungen macht das Rad noch bis zum Stillstand?
23. Eine Tafel verharrt beim freien Fall immer in senkrechter Lage. Ein Stück Kreide wird waagrecht in die Tafelebene geworfen, so daß es an der Tafel entlangstreicht.  
Was für eine Spur hinterläßt die Kreide an der Tafel?  
(Man nehme an, daß die Kreide ohne Reibung schreibt)
24. Ein Stein fällt in einen Brunnenschacht. 4,3 Sekunden nach dem Loslassen hört man das Auftreffgeräusch.  
Wie tief ist der Brunnen?
25. Aus einem Wasserhahn lösen sich Wassertropfen mit einer Frequenz von 120/Minuten.  
Welchen Abstand hat der zweite Tropfen vom ersten, nachdem dieser (der erste) 20 m gefallen ist?
26. Ein Körper wird von der Erde mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 58,8 m/s senkrecht nach oben geschleudert. Im gleichen Augenblick beginnt ein zweiter Körper aus der Höhe 176,4 m frei zu fallen. Die Masse eines jeden der beiden Körper ist 1 kg.  
a) Nach welcher Zeit begegnen die Körper einander?

- b) In welcher Höhe über der Erdoberfläche erfolgt die Begegnung?
- c) In welchem Zeitabstand erreichen die beiden Körper die Erdoberfläche?
- d) Welche Energiearten besitzen beide Körper zum Zeitpunkt der Begegnung? Wie groß sind die Energien? (Die Begegnung erfolgt ohne Zusammenstoß)

27. Ein Zug fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit  $v = 120 \text{ km/h}$ . Ein Reisender läßt aus seinem Abteillfenster einen Gegenstand mit dem Gewicht  $G = 20 \text{ N}$  fallen und zwar gerade bei der Einfahrt in einen  $15 \text{ m}$  langen Tunnel. Der senkrechte Abstand des Gegenstandes bis zur Erdoberfläche war vor dem Loslassen  $h = 1,9 \text{ m}$ .

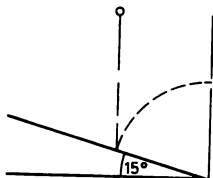
Es sind zu berechnen:

- a) die Zeit, nach der der Gegenstand den Boden erreicht,
- b) ob der Auftreffpunkt innerhalb oder schon außerhalb des Tunnels liegt,
- c) die mechanische Arbeit, die am Körper während des Fluges verrichtet wurde und seine Gesamtenergie im Auftreffpunkt,
- d) der Winkel zwischen der Bahntangente und der Horizontalen im Auftreffpunkt. (Der Luftwiderstand ist zu vernachlässigen)

28. Eine Kugel fällt frei und trifft auf eine geneigte Ebene, die mit der Horizontalen einen Winkel von  $15^\circ$  einschließt. Am Ende der Ebene steht senkrecht eine Platte, die in der Höhe  $27 \text{ cm}$  eine Öffnung besitzt (Abb.).

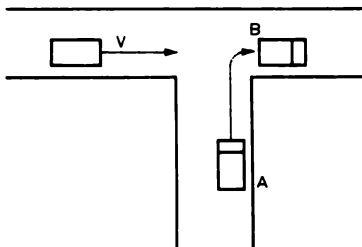
Aus welcher Höhe über der geneigten Ebene muß die Kugel in einem  $20 \text{ cm}$  von der senkrechten Platte entfernten Punkt auf die geneigte Ebene treffen, damit sie nach der Reflexion durch die Öffnung fliegt?

(Kugel und geneigte Ebene sind vollkommen elastisch)



29. Im Winter 1978/79 waren auf Grund starker Schneeverwehungen viele Dörfer der Insel Rügen von der Außenwelt abgeschlossen. Notwendige Lebensmittel konnten nur durch Flugzeuge abgeworfen werden. Was mußte der Pilot beachten, damit das Paket die vorgesehene Landestelle erreichte? Begründen Sie Ihre Antwort!
30. Zwei Körper werden in einem zeitlichen Abstand  $t$  mit der gleichen Geschwindigkeit in senkrechter Richtung geworfen und begegnen einander in der Höhe  $h$ .  
Man bestimme die Abwurfgeschwindigkeit, wenn
- a) beide Körper nach oben geworfen werden,
  - b) der erste Körper von unten nach oben geworfen wird und der zweite aus der Höhe, die der erste maximal erreicht, nach unten?
31. Ein Fußgänger überquert mit der Geschwindigkeit  $v_1$  eine sechs Meter breite Straße. Ein Kraftfahrzeug nähert sich mit der Geschwindigkeit  $v_2$ .  
Wie weit muß das Fahrzeug mindestens entfernt sein, wenn der Fußgänger die Straße betritt, damit er die andere Seite noch erreichen kann, bevor es heran ist? ( $v_1 = 5 \text{ km/h}$ ;  $v_2 = 50 \text{ km/h}$ )
32. Ein PKW Tatra T 613 überholt mit einer Geschwindigkeit  $v_1 = 100 \text{ km/h}$  einen 20 m langen Lastzug, der mit einer Geschwindigkeit  $v_2 = 80 \text{ km/h}$  fährt.  
Wie lang ist die Überholstrecke, wenn der Tatra 50 m hinter dem LKW zum Überholen ansetzt und 50 m vor dem LKW den Überholvorgang beendet?

33. An der Einmündung einer verkehrsreichen Hauptstraße will der Fahrer eines Tatra T 613 rechts abbiegen (Skizze). Von links kommt ein LKW mit einer Geschwindigkeit  $v = 60 \text{ km/h}$ . Wie weit muß der LKW mindestens von der Einmündung entfernt sein, damit der Tatra mit der Beschleunigung  $1,5 \text{ ms}^{-2}$  noch losfahren kann, ohne ihn zu behindern, d. h. der LKW-Fahrer darf nicht zum Bremsen gezwungen werden, um ein Auffahren zu verhindern. Überholen ist wegen starken Gegenverkehrs nicht möglich. Zur Vereinfachung sei angenommen, der Weg von A nach B sei gleich der Breite der Nebenstraße.



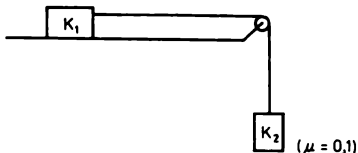
34. Den Knall eines abgefeuerten Geschützes hörte man acht Sekunden nach der Wahrnehmung des Mündungsfeuers und drei Sekunden nach dem Einschlag des Geschosses. Welche Geschwindigkeit hatte das Geschoß?
35. Zwei Personen sind beide von einer senkrechten ebenen Wand 20 m entfernt. Wie weit müssen sie auseinanderstehen, damit jeder den Zuruf des anderen und ein einsilbiges Echo hören kann?

## 2.2. Dynamik

1. Auf einen Körper wirkt neben seinem Gewicht  $P$  eine konstante Kraft  $F$ . Die Kräfte  $P$  und  $F$  liegen auf der gleichen Wirkungslinie.  
Welche Geschwindigkeit hat der Körper nach der Zeit  $t$ ?

2. Ein liegender homogener Zylinder mit der Länge  $l$  und der Grundfläche  $A$  sei auf seiner Unterlage reibungsfrei beweglich. Auf seine Grundfläche drückt eine Kraft  $F$ , deren Wirkungslinie mit der Zylinderachse zusammenfällt.
- Wie groß ist die auf die gegenüberliegende Fläche wirkende Kraft?
  - Welche Kraft wirkt auf irgendeine zu  $A$  parallele Schnittfläche?
3. Ein Aufzug mit der Masse  $m = 500 \text{ kg}$  wird von einem Seil gezogen.
- Man berechne die Zugspannung des Seils für folgende Fälle:
    - der Aufzug steht still
    - der Aufzug bewegt sich gleichmäßig beschleunigt aufwärts mit der Beschleunigung  $a = 1,5 \text{ m s}^{-2}$
    - der Aufzug bewegt sich gleichförmig.
  - An einem Dynamometer, das an der Decke des Aufzugs befestigt ist, hängt ein Körper mit der Masse  $1 \text{ kg}$ .  
Was zeigt das Dynamometer an
    - bei einer Bewegung wie beim zweiten Fall von a)
    - beim freien Fall des Aufzugs, falls das Zugseil gerissen ist?
 Man setze  $g = 10 \text{ m s}^{-2}$ .
4. Gegeben ist eine geneigte Ebene mit der Länge  $l = 10 \text{ m}$ , die mit der Horizontalen einen Winkel  $\alpha = 30^\circ$  einschließt. Vom höchsten Punkt der Ebene rutscht ein Körper mit Reibung hinunter. Man berechne:
- die Beschleunigung des Körpers auf der geneigten Ebene,
  - die Geschwindigkeit, mit der der Körper unten ankommt, nachdem er die ganze Länge der Ebene durchlaufen hat,
  - die Strecke, die der Körper auf der waagerechten Ebene weiter rutscht,
  - den Gleitreibungskoeffizienten  $\mu_2$  auf der waagerechten Ebene!
- Es sind gegeben:  
Der Reibungskoeffizient auf der geneigten Ebene  $\mu_1 = 0,2$  und die Gesamtzeit bis zum Stillstand des Körpers auf der waagerechten Ebene  $t = 5,5 \text{ s}$ .

5. Auf einer in Ruhe befindlichen Plattform mit der Masse  $m = 2 \text{ t}$ , die die Höhe  $h = 1 \text{ m}$  über dem Fußboden hat, liegt eine Kugel 50 cm vom hinteren Rand entfernt. Nachdem die Plattform nach vorn in Bewegung versetzt wird, fällt die Kugel auf den Fußboden. Im Augenblick des Auftreffens hat der hintere Rand der Plattform von der im Auftreffpunkt auf dem Fußboden errichteten Senkrechten den Abstand  $d = 75 \text{ cm}$ . Bei Vernachlässigung der Reibung und unter der Voraussetzung, daß die Plattform sich mit konstanter Beschleunigung bewegt, ist die Kraft zu berechnen, die die Plattform beschleunigt.
6. Ein Klotz, aus dem oben ein Segment einer Kugel mit dem Radius  $R$  ausgeschnitten ist, liegt auf einer waagerechten Platte. In der Vertiefung liegt eine Kugel mit dem gleichen Radius  $R$ . Welche Masse  $m_1$  muß ein Körper, der über eine Rolle am Holzklotz angreift, mindestens haben, damit die Kugel aus ihrer Vertiefung herausrollt?  
Die Masse des Klotzes ist  $M$ , die der Kugel  $m$  und die Tiefe der Höhlung  $h$ . Zwischen Klotz und Platte tritt keine Reibung auf.
7. Ein Körper  $K_1$  mit dem Gewicht  $G = 100 \text{ N}$  befindet sich auf einer waagerechten Fläche. Er ist über eine Rolle mit einem zweiten Körper  $K_2$  verbunden, dessen Masse 20 g beträgt. (Abb.) Das System wird zunächst in Ruhe gehalten. Wie groß ist die Geschwindigkeit der beiden Körper zwei Sekunden nach dem Loslassen
- a) ohne Reibung?
  - b) bei Berücksichtigung der Reibung zwischen dem Körper  $K_1$  und der Platte?



8. Zwei Körper A ( $m_A = 4 \text{ kg}$ ) und B ( $m_B = 2 \text{ kg}$ ) liegen auf einer horizontalen Unterlage und sind miteinander durch eine straffe unelastische Schnur verbunden. B liege östlich von A und werde so angestoßen, daß er sich, wäre er frei beweglich, mit einer Geschwindigkeit von  $21 \text{ ms}^{-1}$  in nordöstlicher Richtung bewegen würde.

Man bestimme die tatsächliche Geschwindigkeit von B nach dem Stoß und das Verhältnis des Impulses, den A erhält, zum ursprünglichen Impuls. Von Reibung werde abgesehen.

9. Ein Waggon mit der Masse  $m_1 = 10 \text{ t}$  wird auf einer waagerechten Bahn angeschoben und erhält die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0 = 10 \text{ m/s}$ . Nach einer Zeit  $t_1 = 6 \text{ s}$  stößt er an einen zweiten Waggon mit der Masse  $m_2 = 30 \text{ t}$ , der auf dem gleichen Gleis steht. Die Wagen werden zusammengekoppelt und bewegen sich gemeinsam bis zum Stillstand weiter. Die Reibungszahl während der gesamten Bewegung ist  $\mu = 0,1$ .

Bestimmen Sie:

- den Weg des ersten Wagens bis zum Stoß und seine Geschwindigkeit unmittelbar vor dem Stoß,
  - die Geschwindigkeit, mit der sich beide Wagen unmittelbar nach dem Stoß bewegen,
  - den Weg, den beide Wagen gemeinsam bis zum Anhalten zurücklegen.
10. Drei Kugeln mit den Massen  $m_1$ ,  $m_2$  und  $m_3$  sind auf einer Geraden angeordnet. Die zweite und dritte berühren einander. Die erste Kugel wird nun mit einer Geschwindigkeit  $v_1$  gegen die zweite gestoßen. Welche Geschwindigkeit  $v_3$  wird dabei der Kugel mit der Masse  $m_3$  verliehen? (Die Kugeln sind elastisch)
11. Auf den Mittelpunkt einer quadratischen, frei aufgehängten Tafel trifft eine Kugel. Wenn die Geschwindigkeit der Kugel  $v > v_0$  ist, durchschlägt sie die Tafel. Mit welcher Geschwindigkeit wird sich die Tafel bewegen, wenn die Kugel mit der Geschwindigkeit  $2v_0$ ,  $n \cdot v_0$  auftrifft? Bei welcher Auftreffgeschwindigkeit der Kugel wird die Geschwindigkeit der Tafel am größten?
- Die Masse der Kugel sei  $m$ , die der Tafel  $M$ . Der Widerstand sei unabhängig von der Geschwindigkeit.

12. Mit welcher Geschwindigkeit muß ein Auto über eine konvex gewölbte Brücke mit dem Wölbungsradius  $R$  fahren, damit der Fahrer während der gesamten Überfahrt das Gefühl der Schwerelosigkeit hat?
13. Ein starrer Stab der Länge  $l$  ist mit einem Ende an einer vertikalen Welle befestigt und schließt mit ihr einen Winkel  $\varphi$  ein. Zusammen mit dieser Welle dreht er sich mit einer Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ . Am freien unteren Ende des Stabes befindet sich eine Kugel mit der Masse  $m$ .  
Es ist die Kraft zu berechnen, die der Stab auf die Kugel ausübt (Betrag und Richtung).
14. Ein Zug fährt mit einer Geschwindigkeit von 72 km/h. Nähert er sich einem Bahnhof, so wird zuerst die Dampfzufuhr unterbrochen, dann werden die Bremsen angezogen. Die Rollreibung beim Fahren des Zuges sei  $1/100$  und die durch die Bremsen hervorgerufene Reibung  $1/8$  des Gewichts des Zuges.  
Es ist die Stelle zu bestimmen, an der die Bremsen angezogen werden müssen, damit der Zug am Bahnhof hält, wenn 400 m vor dem Bahnhof die Dampfzufuhr unterbrochen wurde.
15. Ein Fallschirmsportler springt aus einem Flugzeug. Der Fallschirm öffnet sich erst zwei Sekunden später.
- a) Es ist der Fallweg bis zum Öffnen des Schirms und die bis dahin erreichte Geschwindigkeit bei Vernachlässigung von Reibungskräften zu berechnen.
  - b) Nach dem Öffnen wirkt die Luftreibung und verlangsamt die Bewegung des Fallschirms, Man kann annehmen, die Reibung sei dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional und bei der Geschwindigkeit 1 m/s gerade gleich 44 N. Für den Fall, daß die Masse des Fallschirmspringers  $m = 70$  kg beträgt, ist die Endgeschwindigkeit des Fallschirmspringers zu berechnen.
  - c) Es ist das Maximum der Kraft zu bestimmen, die der Fallschirm über die Seile, in denen der Fallschirmspringer hängt, auf ihn ausübt.
16. Durch den höchsten Punkt A eines aufrechtstehenden Kreises werden Sehnen AC, AD, ... gelegt. Es ist zu zeigen, daß ein

Körper bei reibungsfreier Bewegung alle diesen Sehnen entsprechenden geneigten Ebenen in der gleichen Zeit durchläuft!

17. Gegeben sind zwei Keile mit den gleichen Massen  $M_1 = M_2$ . Ein dritter hat die Masse  $M$ .

Alle drei Keile sind so zusammengefügt, wie es auf der Abbildung zu sehen ist.

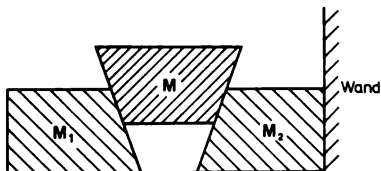
Mit welcher Gesamtbeschleunigung bewegt sich der Keil mit der Masse  $M$ , wenn an dem Keil mit der Masse  $M_1$  eine horizontale Kraft  $F$  angreift? Die Reibung ist zu vernachlässigen.

Zahlenangaben:

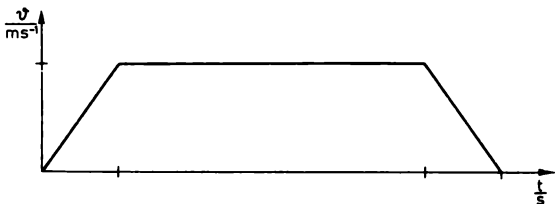
$$M_1 = M_2 = 8 \text{ kg}$$

$$M = 384 \text{ kg}$$

$$F = 5800 \text{ N}$$



18. Ein Hochgeschwindigkeitslift bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von  $3,6 \text{ ms}^{-1}$ . Das Gewicht des beladenen Lifts beträgt  $15000 \text{ N}$ . Der Bewegungsablauf ist in der Grafik dargestellt. Wie groß ist die Spannung des Halteseils während der einzelnen Zeitabschnitte der Bewegung?



19. Die Masse des Mondes beträgt  $\frac{1}{81}$  der Masse der Erde, der Mond-durchmesser  $\frac{3}{11}$  des Erddurchmessers. Bei Vernachlässigung des Einflusses der Rotation berechne man das Gewicht eines Men-schen mit der Masse 72 kg auf dem Mond!
20. In einer Kugel mit dem Radius  $R$  befindet sich eine kugelför-mige Hohlstelle mit dem Radius  $\frac{R}{2}$ , deren Mittelpunkt einen Radius der Kugel halbiert. Auf der Geraden, die durch die Mit-telpunkte beider Kugeln geht, befindet sich im Abstand  $d > R$  vom Mittelpunkt der großen Kugel eine Punktmasse  $m$ . Man berechne die zwischen der Restkugel und der Punktmasse wirkende Kraft!

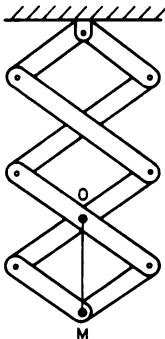
### 2.3. Mechanische Arbeit und Energie

1. Eine Rakete stieg auf eine Höhe von  $4 \cdot 10^4$  m und erhielt da-bei eine Geschwindigkeit  $1,4 \cdot 10^3$  m/s.  
Man bestimme die durch den Raketenantrieb verrichtete Arbeit sowie die kinetische und die potentielle Energie der Rakete in der gegebenen Höhe.  
Die mittlere Masse der Rakete sei 500 kg. Die Bewegung der Rakete wird als gleichmäßig beschleunigt vorausgesetzt.
2. Warum steigen beim Schütteln eines Topfes voller Kartoffeln die größten Kartoffeln nach oben?
3. Über zwei kleine feste Rollen, deren Achsen horizontal in der gleichen Höhe und in einem Abstand  $l = 0,9$  m angeordnet sind, wird ein Faden geführt, an dessen Enden und in der Mitte drei

gleiche Körper befestigt werden. Der Teil des Fadens zwischen den Rollen wird am Anfang waagrecht gehalten. Wenn das System freigelassen wird, werden die beiden Körper an den Enden gehoben, während sich der in der Mitte befindliche senkt. Welche Geschwindigkeit besitzen die äußeren Körper an den Enden, wenn die beiden Teile des Fadens zwischen den Rollen einen Winkel  $\alpha = 120^\circ$  bilden? Reibung ist zu vernachlässigen.

4. Zwei vollkommen elastische Kugeln mit den Massen  $m_1$  und  $m_2$  bewegen sich geradlinig in der gleichen Richtung mit den Geschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$ . Im Augenblick des Zusammenstoßes beginnen die Kugeln sich zu verformen und ein Teil der kinetischen Energie wandelt sich in potentielle Energie (Deformationsenergie) um. Danach geht die Verformung wieder zurück und die gespeicherte potentielle Energie geht in kinetische über. Es ist die potentielle Energie für den Augenblick zu berechnen, in dem sie ihr Maximum hat.
5. Mit einer Federkanone werden nacheinander drei Kugeln mit den Massen 1 g, 2 g und 3 g senkrecht nach oben geschossen. Danach werden gemeinsam zwei Kugeln, eine mit der Masse 1 g und die andere mit der Masse 2 g hochgeschossen. Die Feder wird jedesmal mit der gleichen Kraft gespannt.  
Man bestimme:
  - a) das Verhältnis der kinetischen Energien der Kugeln unmittelbar nach dem Abschuß,
  - b) das Verhältnis ihrer Anfangsgeschwindigkeiten,
  - c) das Verhältnis der Höhen, die die Kugeln erreichen.
6. Ein Auto bewegt sich auf einer waagerechten Bahn gleichmäßig beschleunigt. Zu einer gegebenen Zeit ist die Geschwindigkeit  $v_0 = 18 \text{ km/h}$ . Etwas später erreicht das Auto eine Geschwindigkeit  $v_1 = 72 \text{ km/h}$ . Für diese Beschleunigung wurde vom Motor eine Arbeit  $W_m = 150 \text{ kJ}$  verrichtet. Die mittlere Leistung des Motors während dieser Zeit war  $P = 15 \text{ kW}$ . Bestimmen Sie
  - a) das Gewicht des Autos,
  - b) den während der Beschleunigung von  $v_0$  auf  $v_1$  zurückgelegten Weg,
  - c) die beschleunigende Kraft unter der Voraussetzung, daß keine Verluste auftreten.

7. Eine Pumpe saugt Wasser aus einem Teich und füllt einen zylindrischen Behälter in der Zeit  $t = 20$  min. Berechnen Sie die Leistung des benutzten Pumpenmotors? Sein Wirkungsgrad ist 90 %, das Volumen des Behälters ist  $V = 100 \text{ m}^3$  und der Mittelpunkt des Zylinders liegt 18 m über dem Wasserspiegel des Teiches.
8. Wie groß ist die von einem Flüssigkeitsstrom mit dem Querschnitt  $A$  abgegebene Leistung, wenn die Dichte der Flüssigkeit  $\rho$  ist und die Geschwindigkeit des Stromes sich während der Leistungsabgabe von  $v_0$  auf  $v$  verringert?
9. Wieso vergrößern sich die Amplituden einer Schaukel durch Bewegung des Schaukelnden (Ducken und Aufrichten)?
10. In der in der Abbildung dargestellten Anordnung bestehen alle Stäbe aus dem gleichen Material, die Massenverteilung ist homogen. Die Stäbe sind um die Drehpunkte reibungsfrei beweglich. Das System hat das Gewicht  $G$ . Wie groß ist die Kraft, die im Faden OM wirkt?

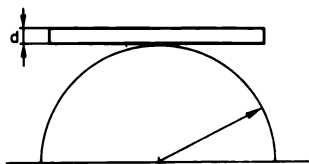


11. Ein Maxwell'sches Rad besteht aus einer Stahlscheibe (Dichte  $7800 \text{ kgm}^{-3}$  mit dem Radius 6 cm und der Dicke 0,8 cm auf einer Welle, ebenfalls aus Stahl, mit der Länge 10 cm und dem Radius 6 cm. Das Rad hängt an zwei Fäden, die an den Wellenenden befestigt sind. Die Fäden werden um die Welle gewickelt und das Rad dadurch um 60 cm gehoben. Danach wird das Gerät losgelassen. Wie groß ist die Winkelgeschwindigkeit der Scheibe an der tiefsten Stelle?

12. An den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks mit der Seitenlänge  $a = 1 \text{ m}$  befinden sich drei Kugeln mit den Massen  $m_1 = 1 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 2 \text{ kg}$  und  $m_3 = 3 \text{ kg}$ . Das ganze System dreht sich um eine Achse, die senkrecht auf der Dreiecksebene steht und durch den Schwerpunkt geht. Wie groß ist die Rotationsenergie des Systems?

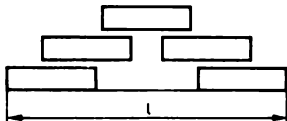
#### 2.4. Statik

1. Auf einem ruhenden Zylinder mit dem Radius  $R$  liegt ein Brett (Abb.) Die Dicke des Brettes ist  $d$ . Die Reibung zwischen Zylinder und Brett ist groß. Unter welchen Voraussetzungen ist das Gleichgewicht des Brettes stabil?



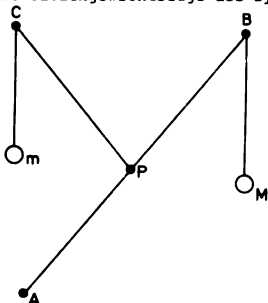
2. Auf die Seiten eines rechtwinklig gleichschenkligen Dreiecks zeichnen wir Quadrate. Die so entstandene Figur wird aus überall gleichstarkem homogenem Metallblech ausgeschnitten und an den Ecken des Dreiecks mit drei Nadeln so unterstützt, daß die gesamte Figur in waagerechter Lage ist. Welche Druckkraft entfällt auf jede Nadel, wenn das Gewicht der Figur  $0,27 \text{ N}$  beträgt?
3. Welche größte Last kann ein Mensch, dessen Gewicht  $F_1 = 800 \text{ N}$  beträgt, heben, wenn er eine
- a) feste Rolle
  - b) lose Rolle
- mit dem Wirkungsgrad  $\eta = 90 \%$  benutzt?

4. Welche maximale Länge kann eine "Brücke" aus fünf Dominosteinen (Abb.) haben?



5. Ein gerader glatter Stab AB mit vernachlässigbarer Masse kann um den Anfangspunkt A rotieren. Im Punkt B hängt ein Körper mit der Masse  $M$  (Abb.). Ein kleiner Ring P mit vernachlässigbarer Masse kann auf dem Stab gleiten. Ein Faden verbindet diesen Ring über eine kleine Rolle C im Abstand  $b$  von A mit einem Körper der Masse  $m$ .

Man berechne die Gleichgewichtslage des Systems!



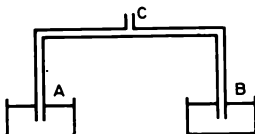
6. Fünf Kräfte mit gleichem Betrag greifen an einem Punkt an. Die Winkel zwischen je zwei benachbarten Kräften sind alle gleich. Ermitteln Sie die resultierende Kraft!

7. Eine Lampe mit einem Gewicht von 100 N ist an zwei gleich langen Seilen aufgehängt. Die Seile bilden einen Winkel von  $85^\circ$  mit den Befestigungsmasten. Welche Kräfte wirken auf die Seile?
8. Eine Lampe mit einem Gewicht von 150 N hängt an zwei Drähten, deren Längen 1,6 m und 1,2 m betragen. Die Schnüre sind an Haken an der Decke befestigt. Der Abstand der Haken voneinander beträgt 2 m. Mit welcher Kraft werden die Drähte gespannt?
9. Ein dünner homogener Stab mit dem Gewicht  $G$  und der Länge  $l$  ist an einem Ende um eine waagerechte Achse drehbar gelagert. Er wird an einem im Abstand  $\frac{1}{4} l$  befestigten Faden so aufgehängt, daß er waagerecht bleibt. Der Faden hängt dabei senkrecht. Wie groß ist die im Faden wirkende Kraft?
10. Im Mittelpunkt einer homogenen Kugel mit einer Masse von 4 kg greifen sechs Kräfte an, die in einer Ebene wirken, Sie bilden miteinander Winkel von  $60^\circ$ . Die Kräfte betragen 1 N, 2 N, 3 N, 4 N, 5 N, 6 N.  
In welcher Richtung und mit welcher Beschleunigung wird die Kugel bewegt?
11. Ein Körper mit einer Masse von 112 g ist am Ende B einer geraden Stange AB von vernachlässigbarer Masse befestigt. Die Stange ist 20 cm lang und um den Punkt A drehbar. Im Abstand 12 cm von A greift senkrecht zu AB eine Kraft  $F$  an. Es stellt sich Gleichgewicht ein, wenn die Stange mit der Vertikalen einen Winkel von  $60^\circ$  einschließt.  
Wie groß ist die Kraft  $F$ ?
12. Legt man einen Körper auf die Schale A einer Balkenwaage, dann wird ihm durch Wägestücke der Masse 3,5 kg auf der Schale B das Gleichgewicht gehalten. Wird der Körper dagegen auf die Schale B gelegt, dann herrscht Gleichgewicht, wenn auf der Schale A eine Masse von 4,5 kg liegt. Ein Käufer möchte 4 kg einer Ware kaufen. Er ist damit einverstanden, daß diese Menge in zwei Teilen mit Hilfe eines 2-kg-Wägestückes abgewogen wird.  
Zuerst legt man das Wägestück auf die Schale A und stellt mit einer entsprechenden Warenmenge auf der Schale B Gleichgewicht her. Bei der zweiten Wägung wird das Wägestück auf die Schale B gelegt und die Ware auf die Schale A.  
Wie groß ist die Masse der Ware, die der Käufer erhält, wirklich?

13. Der Zeigerausschlag einer Balkenwaage beträgt drei Skalenteile, wenn auf eine Waagschale eine Masse von 10 mg gelegt wird. Jeder Hebelarm ist 0,6 m lang und hat eine Masse von 450 g. Die Zeigerspitze beschreibt einen Kreis mit dem Radius 0,6 m, und die Skalenstriche haben voneinander den Abstand 3 mm. Wie weit ist der Schwerpunkt des Hebels einschließlich Zeiger von seinem Drehpunkt entfernt?
14. An einem 50 cm langen Faden hängt eine Kugel mit der Masse 100 g. Durch eine horizontale Kraft  $F$  wird die Kugel aus ihrer Ruhelage bis zu einem Abstand  $d = 30$  cm vom Lot durch den Aufhängepunkt des Fadens ausgelenkt.
- Wie groß ist die Kraft  $F$ ?
  - Wie groß ist die Fadenspannung bei ausgelenkter Kugel?

## 2.5. Mechanik der Flüssigkeiten, Gase und festen Körper

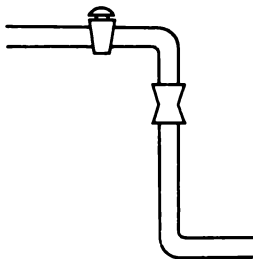
1. Ein Rohr, in dem ein Kolben mit Hilfe einer langen Kolbenstange verschoben werden kann, wird in einen Brunnen getaucht. Bis auf welche Höhe über der Wasseroberfläche kann das Wasser durch Hochziehen des Kolbens steigen, wenn der Luftdruck 101,3 kPa beträgt?
2. Im Unterwasserteil eines Schiffes befindet sich ein Leck mit einer Fläche von  $5 \text{ cm}^2$ . Dieses Leck befindet sich drei Meter unterhalb der Wasseroberfläche. Welche Kraft ist gerade erforderlich, um ein Abdeckungsblech von innen gegen das Leck zu drücken?
3. Die Schenkel A und B eines Glasrohres werden in je ein Gefäß mit Flüssigkeit getaucht. Dann wird durch den Rohransatz C Luft abgesaugt. Dadurch steigt im Schenkel A die Flüssigkeitssäule auf die Höhe  $h_1 = 10$  cm und im Schenkel B auf  $h_2 = 12$  cm gegenüber den Flüssigkeitsspiegeln in den Gefäßen. Wie groß ist die Dichte der Flüssigkeit im rechten Gefäß, wenn sich im linken Wasser befindet?



4. In zwei miteinander verbundenen Gefäßen mit gleichem Querschnitt  $A = 11,5 \text{ cm}^2$  befindet sich Quecksilber. In ein Gefäß wird auf das Quecksilber 1 l Wasser gegossen und darauf ein schwimmender Körper mit dem Gewicht  $G = 1,5 \text{ N}$  gesetzt. Um wieviel steigt das Quecksilber im anderen Gefäß?
5. Ein Aräometer der Länge  $l = 20 \text{ cm}$  mit dem äußeren Durchmesser  $D = 1,2 \text{ cm}$  und der Wanddicke  $d = 1 \text{ mm}$  taucht in eine Flüssigkeit. Im unteren Teil des Aräometerrohres befindet sich  $1 \text{ cm}^3$  Quecksilber. Welche Dichte darf die Flüssigkeit haben, die man mit diesem Aräometer noch messen kann?  
Die Dichte des Glases beträgt  $2,6 \text{ g cm}^{-3}$ .
6. Ein Stück Eisen hat im Wasser ein Gewicht von  $4 \text{ N}$ . Seine Dichte beträgt  $\rho = 7,8 \text{ g cm}^{-3}$ . Wie groß ist das Volumen des Eisenstückes?
7. Ein mit Luft gefülltes Gefäß hat ein Gewicht von  $G_1 = 1,26 \text{ N}$ . Wenn es mit Kohlensäure gefüllt wird, beträgt das Gewicht  $G_2 = 1,27 \text{ N}$ . Füllt man es mit Wasser, hat es das Gewicht  $G_3 = 11,25 \text{ N}$ . Es sind zu bestimmen:  
die Wichte der Kohlensäure,  
das Volumen  $V_0$  des Gefäßes und  
das Gewicht  $G_0$  des Gefäßes.  
Die Wichte der Luft ist  $\gamma_L = 0,0129 \text{ N.l}^{-1}$ .

5. An einem Wasserhahn ist mit einer Gummimuffe ein Glasröhrchen von 1 m Länge und  $0,3 \text{ cm}^2$  Querschnitt befestigt, das am Ende rechtwinklig gekrümmt ist (Abb.).

Um welchen Winkel weicht das Rohr von der Vertikalen ab, wenn das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s fließt? Die elastischen Kräfte des Gummischlauchs sind zu vernachlässigen.



9. Eine Platinkugel hängt an einem der beiden gleichlangen Hebelarme einer Waage. Das Gleichgewicht wird mit Messingstücken vom Gewicht  $G = 0,27 \text{ N}$  hergestellt.

Wie groß muß das Gewicht der Messingwägestücke sein, wenn das Gleichgewicht im Vakuum hergestellt werden soll?

Dichte Platin:  $21,5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

Dichte Messing:  $8,3 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

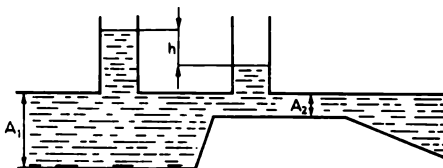
Dichte Luft:  $1,293 \text{ kg m}^{-3}$

10. In einer Flüssigkeit der Dichte  $\rho = 800 \text{ kgm}^{-3}$  befindet sich eine geneigte Ebene mit dem Neigungswinkel  $\alpha = 45^\circ$ . Auf dieser Ebene gleitet ein Körper der Masse  $m = 2 \text{ kg}$  und des Volumens  $V = 25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  infolge seines Gewichts herab. Der Reibungskoeffizient zwischen Körper und Ebene beträgt  $\mu = 0,18$ . Entgegengesetzt zur Richtung der Geschwindigkeit übt das Wasser eine Kraft  $F_0$  auf den Körper aus.

Welche maximale Geschwindigkeit  $v$  erreicht der Körper?

Bei einer Geschwindigkeit  $v_1 = 0,1 \text{ ms}^{-1}$  hat die Gegenkraft den Wert  $F_0 = 1,5 \text{ N}$ .

11. Aus einer runden Öffnung mit einem Querschnitt von  $2 \text{ mm}^2$  strömt Stadtgas mit einer Dichte von  $0,5 \text{ kg m}^{-3}$  bei einem Überdruck von  $600 \text{ Pa}$  aus.  
Wie groß sind die Ausströmungsgeschwindigkeit und das in zehn Stunden ausströmende Gasvolumen?
12. Eine Pumpe fördert stündlich  $300 \text{ m}^3$  Öl.  
Mit welcher Geschwindigkeit strömt das Öl durch das Förderrohr, wenn dessen Durchmesser  $100 \text{ mm}$  beträgt?
13. In einem Kessel befindet sich eine Öffnung mit einem Durchmesser von  $50 \text{ mm}$ . Der Flüssigkeitsstand im Kessel beträgt ständig  $3 \text{ m}$ .  
In welcher Zeit laufen  $1500 \text{ l}$  Flüssigkeit aus, wenn die Ausflußziffer  $\mu = 0,85$  beträgt?
14. Auf einer horizontalen Unterlage stehen zwei zylindrische Gefäße, deren Höhen  $h$  und  $2h$  betragen. Beide sind bis zum Rand mit Wasser gefüllt. Das erste Gefäß hat in der Höhe  $0,5h$  über dem Boden eine kleine Öffnung, aus der ein dünner Wasserstrahl austritt.  
In welcher Höhe über dem Boden muß das zweite Gefäß eine Öffnung haben, damit ein dort austretender Wasserstrahl in gleicher Entfernung auf die horizontale Unterlage trifft wie der erste Strahl?  
Es wird vorausgesetzt, daß durch Wasserzufluß die Höhe der Wassersäule in den Gefäßen während des Ausfließens konstant bleibt. Luftwiderstand, innere Reibung und Reibung an der Ausflußöffnung bleiben unberücksichtigt.
15. In einer horizontalen Röhre wird die Querschnittsfläche an einer Stelle von  $A_1$  auf  $A_2$  verringert (Abb.). Die Röhre wird von Wasser durchflossen. An der breiteren Stelle steigt das Wasser in einem Manometerrohr um  $h$  höher als in dem Manometerrohr, das am engeren Rohrteil angebracht ist.  
Welches Wasservolumen durchfließt das Rohr in der Zeit  $t$ , wenn stationäre Strömung vorausgesetzt wird?  
( $A_1 = 27 \text{ cm}^2$ ,  $A_2 = 3 \text{ cm}^2$ ,  $h = 8 \text{ cm}$ ,  $t = 1 \text{ min}$ ).



6. Aus einer Röhre mit einem Durchmesser von  $d = 1 \text{ cm}$  fließt Wasser mit einer Geschwindigkeit von  $v = 1 \text{ cm s}^{-1}$  und trifft senkrecht auf eine Wand. Es ist die auf die Wand wirkende Kraft zu bestimmen!
17. Durch ein senkrecht Rohre der Länge  $h$  strömt eine Flüssigkeit. Der Druckunterschied zwischen Anfang und Ende des Rohres ist  $\Delta p$ . Es ist eine Beziehung für die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  anzugeben.
18. Welche Form nimmt die unter Aufgabe 17 angegebene Beziehung für folgende Bedingungen an:
  - a) Der Druckunterschied  $\Delta p$  ist wesentlich größer als der Schweredruck
  - b) Der Schweredruck ist wesentlich größer als der Druckunterschied  $\Delta p$
19. In einer Gasleitung ist ein Prandtlisches Staurohr eingebaut. Es zeigt einen Druckunterschied  $\Delta p$  von  $60 \text{ Pa}$  an. Durch die Leitung strömt Kohlendioxid. Die Querschnittsfläche der Rohrleitung beträgt  $2 \text{ dm}^2$ . Es ist die Strömungsgeschwindigkeit des Gases und die innerhalb eines Tages hindurchströmende Gasmenge zu bestimmen!
20. Bei einem Föhn wird in einem in seinen Luftstrom gehaltenen Prandtlischen Staurohr ein Druckunterschied von  $40 \text{ Pa}$  gemessen.  
Wie groß ist die Strömungsgeschwindigkeit der Luft an der Meßstelle?

21. In einem Pumpspeicherwerk beträgt der Höhenunterschied zwischen Speicherbecken und Kraftwerk 600 m.  
Wieviel Wasser muß stündlich mindestens durch die Druckwasserleitung ins Kraftwerk fließen, damit die in diesem laufenden Turbinen eine Leistung von 73000 kW erreichen?
22. Ein stromlinienförmiger Körper mit einer größten Querschnittsfläche von  $25 \text{ cm}^2$  soll mit einer Geschwindigkeit von  $20 \text{ kmh}^{-1}$  durch Wasser bewegt werden.  
Welche Kraft muß dafür aufgewendet werden?  
Widerstandszahl  $c = 0,05$
23. Bei einem Springbrunnen steht das Wasser an der Ausflußöffnung unter einem Druck  $p = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Der Wasserstrahl erreicht dabei die Höhe  $h$ . Bei dieser Höhe würde eine ruhende Wassersäule einen Bodendruck von  $\frac{7}{10}$  des Druckes  $p$  ausüben.  
Wie groß sind die theoretische Ausströmgeschwindigkeit und die Höhe des austretenden Wasserstrahls?
24. Wie groß ist die Geschwindigkeit eines aus einem 75 m hohen Schornstein austretenden Luftstroms, wenn die Temperatur der Luft im Schornstein die der Außenluft um 85 K übertrifft?
25. Ein Lastwagen fährt mit einer Geschwindigkeit von  $70 \text{ kmh}^{-1}$ . Seine Querschnittsfläche beträgt  $4,5 \text{ m}^2$  und seine Widerstandszahl 0,55. Die Luftdichte wird mit  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$  angenommen.  
Welche Leistung muß der Motor des Wagens aufbringen?
26. Eine Messingkugel mit einem Radius von 0,25 mm fällt in einem weiten mit Motoröl gefüllten Gefäß mit einer Geschwindigkeit von  $2,5 \text{ ms}^{-1}$ . Die Dichte des Motorenöls beträgt  $\rho = 0,9 \text{ kg dm}^{-3}$ . Die Dichte des Messings beträgt  $8,9 \text{ kg dm}^{-3}$ .  
Wie groß ist die Viskosität des Motorenöls?
27. Die Abhängigkeit der Masse einer Kugel von ihrem Durchmesser ist auf doppeltlogarithmischem Papier darzustellen!  
(  $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ g cm}^{-3}$  )
28. Es ist in einem Diagramm auf doppeltlogarithmischem Papier die Abhängigkeit der Masse verschiedener Kugeln in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser darzustellen (  $\rho_{\text{Fe}} = 7,8 \text{ g cm}^{-3}$  ;

$$\rho_{\text{Kork}} = 0,2 \text{ g cm}^{-3}; \quad \rho_{\text{Cu}} = 8,9 \text{ g cm}^{-3};$$

$$\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g cm}^{-3}; \quad \rho_{\text{Au}} = 19,3 \text{ g cm}^{-3}$$

29. Aus dem Diagramm der Aufgabe 28 ist abzulesen:

- Welchen Durchmesser haben Kugeln mit einer Masse von 25 g aus Kupfer, Gold, Eisen?
- Welche Masse haben Kugeln mit dem Durchmesser von 4 cm aus Kork, Blei, Aluminium?

## 2.6. Molekularphysik, Innere Energie

- Die Entfernung Erde - Mond beträgt 374 000 km. Welche Wassermasse ist erforderlich, um eine Kette von Wassermolekülen von der Erde bis zum Mond zu bilden?
- Wieviel Gramm Sauerstoff können sich mit 150 g Kohlenstoff vollständig zu Kohlendioxid verbinden?
- Es werden die Moleküle von 18 kg Wasser gleichmäßig über die Erdoberfläche verteilt. Wieviel Wassermoleküle entfallen dann auf  $1 \text{ mm}^2$  Erdoberfläche?
- Welche Masse hat 1 mol Wasser?
- Worin liegt der Vorteil der Mengeneinheit mol?
- Man vergrößert folgende Gegenstände im Verhältnis  $1 : 10^{16}$ : ein Atom, eine Kirsche ( $d_1 = 1,5 \text{ cm}$ ), einen Tischtennisball ( $d_2 = 3,5 \text{ cm}$ ). Welche Ausdehnung haben diese Gegenstände dann?
- Alkohol hat die relative Molekularmasse  $M = 46$ . Wieviel Moleküle sind in 0,8 g Alkohol enthalten?
- Wieviel Gramm Sauerstoff entstehen bei der elektrolytischen Zerlegung von 5 mol Wasser?
- Ein Stecknadelkopf hat einen Durchmesser von 0,3 mm. Wieviel Eisenatome sind in ihm enthalten? (Man nehme die Eisenatome vereinfacht als kugelförmig an!)
- Mit Hilfe von Röntgenstrahlinterferenzen ist der Bindungsabstand der Kohlenstoffatome im Diamant zu  $r = 1,54 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  ermittelt worden (Tetraeder). Die Dichte vom Diamant beträgt  $\rho = 3,51 \text{ g cm}^{-3}$ . Wieviel Atome befinden sich in 1 g Diamant? (Raumerfüllung 34 %)

11. Wieviel Silberatome sind in  $1 \text{ m}^3$  Silber enthalten? Die kugelförmig angenommenen Atome sind so dicht wie möglich gepackt. Die Dichte des Silbers beträgt  $10,5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ .
12. Das Kristallgitter des Aluminiums ist kubisch-flächenzentriert. Die Dichte von Aluminium beträgt  $\rho = 2,6 \text{ g cm}^{-3}$ . Es ist die Gitterkonstante zu berechnen!
13. Es ist die mittlere Entfernung zwischen Molekülen gesättigten Wasserdampfes bei  $T = 373 \text{ K}$  zu bestimmen. Die Boltzmannkonstante  $k = \frac{R_0}{L}$  hat den Wert  

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$
14. Wieviel Uranatome befinden sich in  $60 \text{ g}$  Uranoxid ( $\text{U}_3\text{O}_8$ )?
15. Wieviel Wasserstoffatome sind in  $1 \text{ cm}^3$  des interstellaren Raumes enthalten? (Materiedichte im interstellaren Raum:  
 $\rho = 5 \cdot 10^{-27} \text{ kg cm}^{-3}$ )
16. Die Dichte eines Gases beträgt bei einer Temperatur von  $293 \text{ K}$  und einem Druck von  $5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$   $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ . Wie groß ist die molare Masse des Gases?
17. In einem Gefäß mit einem Rauminhalt von  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  befinden sich  $50 \text{ g}$  Sauerstoff unter einem Druck  $10^5 \text{ Pa}$ . Wieviel Moleküle Sauerstoff sind in dem Raum? Mit welcher mittleren quadratischen Geschwindigkeit bewegen sich die Moleküle?
18. Mit welcher Geschwindigkeit wächst die Dicke einer Silberschicht auf einer Platte, wenn die zerstäubten Silberatome eine Energie von  $10^{-17} \text{ J}$  haben und einen Druck von  $0,1 \text{ Pa}$  auf die Platte ausüben? (Dichte des Silbers  $10,5 \text{ g cm}^{-3}$ . Molmasse  $108 \text{ g/mol}$ )
19. Ein Aluminiumstab hat einen Durchmesser von  $d = 0,5 \text{ cm}$  und eine Länge von  $3 \text{ m}$ . Auf ihn wirkt eine Zugkraft von  $F = 5 \cdot 10^3 \text{ N}$ . Es sind zu bestimmen:
  - a) die Längenänderung,
  - b) die Änderung der inneren Energie des Stabes,
  - c) die Masse des Stabes und
  - d) die Massenänderung infolge Änderung der inneren Energie.

20. Es werden 5 kg Wasser von  $20^{\circ}\text{C}$  auf  $80^{\circ}\text{C}$  erwärmt.  
Wie groß ist die Änderung der inneren Energie dieser Wassermenge? Wie groß ist die Energiezunahme je Wassermolekül? Um welchen Wert wächst die Energie eines Wassermoleküls, wenn die Wassermenge vollständig verdampft wird?
21. Um wieviel vergrößert sich die Energie eines Kohlenstoffatoms, wenn Kohle verbrannt wird? Wie groß ist die infolge der Energieerhöhung auftretende Massenänderung?
22. In einem elektrischen Heißwasserspeicher sollen 80 l Wasser in 5 Stunden von  $15^{\circ}\text{C}$  auf  $90^{\circ}\text{C}$  erwärmt werden. Welche elektrische Leistung muß die Heizung mindestens haben?
23. Ein Auto mit einer Masse von 1040 kg wird von einer Geschwindigkeit von  $90\text{ km h}^{-1}$  auf  $0\text{ km h}^{-1}$  abgebremst. Wie groß ist die dabei entstehende Wärme?
24. Eine Bleikugel mit einer Masse von 20 g trifft mit einer Geschwindigkeit von  $600\text{ ms}^{-1}$  auf eine Wand. Wie groß wird die Temperaturänderung der Kugel, wenn die Bewegungsenergie vollständig in Wärmeenergie umgesetzt wird?  
Um welchen Betrag erhöht sich die Energie eines Bleiatoms dabei?  
 $\bar{\epsilon}_{\text{Pb}} = 0,12\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1}; \quad M_{\text{Pb}} = 207\text{ g mol}^{-1}$
25. Ein PKW Moskwitsch verbraucht auf einer Fahrstrecke von 50 km 5,6 kg Benzin. Welche Leistung muß der Motor entwickeln, wenn die Geschwindigkeit des Wagens  $90\text{ km h}^{-1}$  beträgt und der Wirkungsgrad des Motors bei  $\eta = 22\%$  liegt? Der Heizwert des Benzins soll  $q = 45 \cdot 10^6\text{ J kg}^{-1}$  betragen.
26. Ein Düsenflugzeug besitzt vier Antriebe mit einem Schub von jeweils  $F = 20\,000\text{ N}$ . Wieviel Kerosin (Petroleum) werden beim Überfliegen einer Flugstrecke von 5000 km mit einer Geschwindigkeit von  $810\text{ km h}^{-1}$  verbraucht? (Wirkungsgrad der Antriebe  $\eta = 25\%$ ; Heizwert  $q = 45 \cdot 10^6\text{ J kg}^{-1}$ ).
27. Ein Bleistück fällt auf die Erde und stößt mit einer Geschwindigkeit von  $330\text{ ms}^{-1}$  auf ein festes Hindernis.  
Welcher Anteil des Bleis schmilzt, wenn davon ausgegangen wird, daß die gesamte beim Aufprall erzeugte Wärmeenergie vom Bleikörper absorbiert wird?

28. Eine Eisenkugel mit einem Radius  $r = 1 \text{ cm}$  wird auf  $393 \text{ }^{\circ}\text{C}$  erhitzt und auf Eis gelegt. Wie tief sinkt die Kugel in das Eis ein?
- spezifische Wärmekapazität  $c_{\text{Fe}} = 475 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$   
 Dichte des Eises  $\rho_{\text{Eis}} = 900 \text{ kg m}^{-3}$   
 Dichte des Eisens  $\rho_{\text{Fe}} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$   
 Temperatur des Eises  $0^{\circ} \text{C}$   
 spezifische Schmelzwärme  $q_s = 3,34 \cdot 10^5 \text{ J kg}^{-1}$   
 Die Wärmeleitfähigkeit des Eises und die Erwärmung des Schmelzwassers werden vernachlässigt.
29. Bei der Herstellung von Eis im Kühlschrank werden fünf Minuten benötigt, um das Wasser von  $277 \text{ K}$  auf  $273 \text{ K}$  abzukühlen und dann noch einmal  $1 \text{ h } 40 \text{ Minuten}$ , um das Wasser in Eis zu verwandeln.
- Es ist aus diesen Angaben die spezifische Schmelzwärme des Eises zu bestimmen.
30. Ein elektrischer Generator strahlt Impulse mit einer Impulsenergie von  $E = 5 \text{ J}$  aus. Die Wiederholungsfrequenz beträgt  $f = 500 \text{ Hz}$ . Der Wirkungsgrad ist  $\eta = 50 \%$ .
- Wieviel Liter Wasser müssen durch das Kühlsystem des Generators strömen, wenn die Temperatur des Wassers  $20^{\circ}\text{C}$  nicht übersteigen soll?

## 2.7. Ausdehnung der Körper bei Temperaturänderung

- Ein Stück Stahlband ist mit einem Stück Messingband (Dicke  $d = 0,2 \text{ mm}$ ) zu einem Bimetallstreifen zusammengenietet. Bei  $293 \text{ K}$  ist dieser Bimetallstreifen gerade. Welchen Krümmungsradius hat der Bimetallstreifen bei einer Temperatur von  $393 \text{ K}$ ?  
 $(\alpha_{\text{Stahl}} = 10^{-5} \text{ K}^{-1}; \quad \alpha_{\text{Messing}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1})$
- Bei welcher Temperatur ist ein bei  $293 \text{ K}$  gemessenes Luftvolumen vervierfacht, wenn der äußere Druck konstant bleibt?
- Wieviel Alkohol fließt aus einem Pyknometer, das bei  $293 \text{ K}$  genau  $150 \text{ cm}^3$  faßt, wenn die Temperatur um  $30 \text{ K}$  steigt?  
 $\gamma_{\text{Alk}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \quad \gamma_{\text{Glas}} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
- Ein Glaszylinder nimmt bei einer Temperatur von  $T_0 = 273 \text{ K}$   $100 \text{ g}$  Quecksilber auf. Erhöht man die Temperatur auf  $293 \text{ K}$ ,

dann kann der Zylinder 99,7 g Quecksilber aufnehmen. In beiden Fällen sind die Temperaturen von Quecksilber und Glas gleich groß. Aus den angegebenen Werten ist der lineare Ausdehnungskoeffizient des Glases zu bestimmen.

$$(\gamma_{\text{Hg}} = 18 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1})$$

5. In einem von zwei verbundenen Gefäßen, die bei einer Temperatur von 283 K bis zu einer Höhe von 10 cm mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, ist die Temperatur um 6 K gestiegen. Welche Flüssigkeitsstands Differenz entsteht dabei zwischen den beiden Gefäßen?  
 $(\gamma_{\text{Fl}} = 0,0026 \text{ K}^{-1})$  Die Ausdehnung der Gefäße ist zu vernachlässigen.
6. Eine an einem Ende verschlossene Glasröhre mit der Länge  $l = 50 \text{ cm}$  und dem Querschnitt  $A = 0,5 \text{ cm}^2$  wird mit dem offenen Ende in Wasser getaucht. Welche Kraft muß man aufwenden, um die Röhre senkrecht so tief einzutauchen, daß das geschlossene Ende noch 10 cm aus dem Wasser herausragt?  
 Atmosphärendruck  
 $p_0 = 101,31 \text{ kPa}$ ;  
 Gewicht der Röhre:  $G = 15 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ .
7. Ein Gefäß enthält einen Liter Wasser mit einer Temperatur von 300 K. Wie groß wäre der Druck in dem Gefäß, wenn die zwischenmolekularen Kräfte plötzlich verschwinden würden?
8. Ein wärmeundurchlässiges verschlossenes Gefäß enthält Ozon mit einer Temperatur von 800 K. Nach einiger Zeit ist das Ozon vollständig in Sauerstoffmoleküle umgewandelt. Es ist der Druck anzugeben, wenn für die Erzeugung von 1 mol Ozon ( $\text{O}_3$ ) aus Sauerstoffmolekülen eine Wärmezufuhr von  $Q_0 = 142,5 \text{ J}$  erforderlich war.  
 Es ist anzunehmen, daß die Wärmekapazität für 1 mol Sauerstoff bei konstantem Volumen  $\bar{c}_V = 21 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$  beträgt.
9. Es ist jene Menge Ammoniak zu ermitteln, die in einem Ballon mit dem Volumen  $V = 20 \text{ l}$  bei einer Temperatur von 300 K und einem Druck von 25,33 k Pa enthalten ist!
10. Welchen Druck haben die Wände einer bei 293 K und einem Druck von 102 k Pa mit Luft gefüllten und dann verschlossenen Hohlkugel auszuhalten, wenn diese auf 893 K erwärmt wird?

11. Bis zu welcher Temperatur wird trockene Luft von 288 K abgekühlt, wenn sie von der Meeresküste in eine Höhe von 500 m aufsteigt?
12. Wie groß ist der Rauminhalt von  $300 \text{ cm}^3$  Stickstoff unter gewöhnlichem Druck und bei 273 K, wenn er vorher bei einem Druck von 90 k Pa und einer Temperatur von 293 K gemessen wurde?
13. Ein Luftballon hat ein Volumen von  $V = 224 \text{ m}^3$ . Die Masse der Hülle beträgt  $m = 145 \text{ kg}$ . Der Ballon ist mit heißer Luft bei normalem Atmosphärendruck gefüllt. Welche Temperatur muß die Luft haben, damit sich der Ballon erhebt?  
(Lufttemperatur außerhalb der Hülle  $0^\circ\text{C}$ ;  $M_{\text{Luft}} = 29 \text{ g mol}^{-1}$ )
14. Eine Metallscheibe hat die in der Abbildung dargestellte Form. Wie ändert sich der Winkel  $\alpha$ , wenn die Scheibe erwärmt wird?



15. Ein fester Körper mit dem Volumen  $V$  schwimmt auf der Oberfläche einer Flüssigkeit mit der Temperatur  $0^\circ\text{C}$ . Der aus der Flüssigkeit herausragende Teil habe das Volumen  $v$ . Bei welcher Temperatur würde der Körper gerade vollständig in die Flüssigkeit eintauchen?

Die kubischen Ausdehnungskoeffizienten sind

für den festen Körper  $\gamma_1 = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  und

für die Flüssigkeit  $\gamma_2 = 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

Außerdem gilt:  $\frac{v}{V} = 0,02$ .

## 2.8. Energieaustausch zwischen thermodynamischen Systemen

1. Ein Glas heißes Wasser soll innerhalb von zehn Minuten so weit wie möglich abgekühlt werden. Was ist günstiger: Man gibt einen Löffel Schnee in das Wasser und wartet dann zehn Minuten, oder man wartet zuerst zehn Minuten und gibt dann den Schnee hinein?
2. Zur Bereitung eines Bades wird warmes Wasser der Temperatur  $66\text{ }^{\circ}\text{C}$  mit kaltem von  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  gemischt. Wieviel von jeder Sorte wird gebraucht, damit man 550 l Badewasser von  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$  erhält?
3. In einem Gefäß befindet sich Quecksilber der Temperatur  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Man führt Wärme zu, und das Volumen des Quecksilbers vergrößert sich um  $\Delta V = 0,015\text{ cm}^3$ . Wie groß ist die vom Quecksilber aufgenommene Wärmemenge, wenn die spezifische Wärmekapazität des Quecksilbers  $c = 138\text{ J/kg}\cdot\text{K}$  und die Dichte bei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\rho_0 = 13,6 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$  ist?
4. Das Gehäuse eines Verbrennungsmotors hat die Masse 410 kg. In einer Fabrik werden zum Schmelzen solcher Gehäuse täglich  $21,44 \cdot 10^3\text{ kWh}$  Elektroenergie gebraucht. Wieviele Motorgehäuse können an einem Tage geschmolzen werden, wenn die Anfangstemperatur des Eisens  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist und der Wirkungsgrad des Elektroschmelzofens 90 % beträgt?
5. Ein Kraftfahrzeug legt eine Strecke  $s = 648\text{ km}$  mit einer Leistung von 22 kW bei einem Wirkungsgrad von 20 % zurück und verbraucht dabei 103,7 kg Benzin mit dem Heizwert  $46\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ .
  - a) Wie groß war die Durchschnittsgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs?
  - b) Wie lang war die Fahrzeit?
6. Wenn man bei Frost nacheinander Holz und Eisen gleicher Temperatur berührt, erscheint das Eisen kälter. Wie kommt das?
7. Wie groß ist die Temperaturdifferenz bei einem Wasserfall zwischen dem Ober- und dem Unterwasser, wenn die Höhendifferenz 120 m beträgt? Wie läßt sich diese Temperaturänderung erklären?
8. Im Kessel einer Dampfmaschine herrscht eine Temperatur von  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die Temperatur im Kondensator beträgt  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Wie groß ist die maximale Arbeit, die von der Dampfmaschine verrichtet wird, wenn 200 kg Kohlen mit einem Heizwert von

31,4 MJ/kg verbrannt werden und der Wirkungsgrad der Maschine 50 % des höchsten theoretisch möglichen Wirkungsgrades ist?

9. Welche Mischungstemperatur stellt sich ein, wenn 150 g Wasser mit einer Temperatur von 40 °C mit 250 g Wasser mit einer Temperatur von 15 °C gemischt werden?
10. Einem Stück Kupfer mit einer Masse von 75 g wird in jeder Minute eine thermische Energie von 150 J zugeführt. Die Temperatur des Kupferstückes steigt zehn Minuten lang und bleibt dann konstant, weil von diesem Moment an soviel thermische Energie an die Umgebung abgegeben wie aufgenommen wird.
- a) Es ist eine funktionale Beziehung anzugeben, die es gestattet, die Temperatur des Körpers zu jedem Zeitpunkt anzugeben!
- b) Es ist die Höchsttemperatur des Körpers anzugeben!
- ( $\bar{c}_{\text{Cu}} = 0,39 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )

11. Für Luft sind die spezifischen Wärmen bei konstantem Druck und bei konstanter Temperatur

$$c_p = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{und} \quad c_v = 0,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Erklären Sie den Unterschied!

Berechnen Sie den Umrechnungsfaktor von kcal. auf J. Die Dichte der Luft beträgt im Normalzustand  $\rho_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$ .

## 2.9. Zustandsänderung von Gasen

1. In einem engen Glasrohr befindet sich eine Quecksilbersäule. Das Rohr wurde in horizontaler Lage an beiden Enden zugeschmolzen, so daß an jedem Ende eine Luftmenge unter Normaldruck eingeschlossen wurde. Das Volumen  $V_1$  der Luft auf der einen Seite ist doppelt so groß wie das Luftvolumen  $V_2$  auf der anderen Seite. Hält man das Rohr senkrecht, gilt für die Luftvolumina:
- $$V_1' : V_2' = 3 : 1$$
- Wie lang ist die Quecksilbersäule?
2. Eine zylindrische Röhre der Länge  $L$  ist an einem Ende verschlossen und wird mit heißer Luft gefüllt. Sie wird mit dem offenen Ende nach unten ins Wasser getaucht, bis das verschlossene Ende sich in Höhe des Wasserspiegels befindet. Nach Temperaturengleich ist die Röhre zu  $\frac{2}{3}$  mit Wasser gefüllt. Zu be-

rechnen ist die Anfangstemperatur der Luft in der Röhre.

Für die Wassertemperatur ist  $T_1$  und für den Luftdruck  $p_0$  anzusetzen.

3. In einem Kolbenprober mit dem Volumen  $20 \text{ cm}^3$  befindet sich ein poröses Material, außerdem Luft unter dem Druck  $0,1 \text{ MPa}$ . Wie groß ist das Volumen des porösen Materials, wenn bei Verkleinerung des Zylindervolumens auf  $10 \text{ cm}^3$  der Druck sich auf  $0,22 \text{ MPa}$  erhöht?
4. Ein Torricellirohr wird mit Quecksilber gefüllt und mit dem offenen Ende in eine Quecksilberwanne eingetaucht. Dabei tritt etwas Luft in die Röhre ein, und die Höhe der Quecksilbersäule verringert sich auf  $h_1$ . Neigt man das Rohr so weit, daß der Höhenunterschied zwischen den Quecksilberoberflächen in der Wanne und im Rohr  $h_2$  beträgt, dann verringert sich das Volumen der eingeschlossenen Luft auf  $\frac{1}{n}$  des Anfangsvolumens. Berechnen Sie den Atmosphärendruck!
5. Aus einer Druckgasflasche, die nicht ganz dicht verschlossen ist, entweicht Wasserstoffgas. Das Volumen der Flasche beträgt  $10 \text{ l}$ . Bei einer Temperatur von  $7^\circ \text{C}$  zeigte das Manometer einen Druck von  $5 \text{ MPa}$  an. Zu einer späteren Zeit wurde der gleiche Druck bei  $17^\circ \text{C}$  angezeigt.  
Wie groß ist die Masse des inzwischen ausgeströmten Wasserstoffs?  
Die Dichte des Wasserstoffs im Normalzustand ist  
 $\rho_{\text{H}} = 0,089 \text{ kg/m}^3$ .
6. In einem Beobachtungspunkt einer Arktisexpedition stand nur noch ein einziges Quecksilberbarometer zur Verfügung, in das etwas Luft eingedrungen war, so daß bei einer Temperatur von  $7^\circ \text{C}$  ein Druck von  $720 \text{ Torr}$  anstatt  $760 \text{ Torr}$  angezeigt wurde. Dabei war die Länge der Röhre oberhalb des Quecksilbers  $14 \text{ cm}$ .
  - a) Wie groß ist der Luftdruck an einem Tage, an dem die Temperatur  $7^\circ \text{C}$  ist und das Barometer  $700 \text{ Torr}$  anzeigt?
  - b) Wie groß ist der Luftdruck, wenn bei  $0^\circ \text{C}$   $720 \text{ Torr}$  angezeigt werden?
  - c) Wie groß ist der Luftdruck, wenn das Barometer bei  $-33^\circ \text{C}$  einen Druck von  $700 \text{ Torr}$  anzeigt?

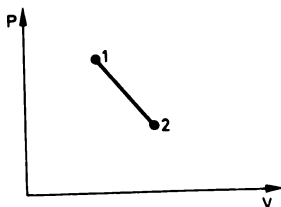
Die Ausdehnung des Glases und des Quecksilbers kann vernachlässigt werden.

7. In einem großen Rezipienten ist 1 kg Luft bei der Temperatur  $17^{\circ}\text{C}$  und dem Druck 0,1 MPa eingeschlossen.

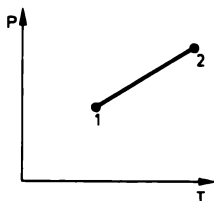
Wie groß ist die von der Luft aufgenommene Wärmemenge, wenn der Druck auf 0,4 MPa steigt?

Die spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Volumen ist  $c_v = 0,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ .

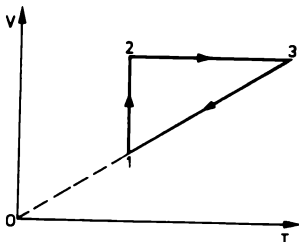
8. Das Gas in einem Zylinder wird durch einen Kolben abgeschlossen. Mit Hilfe eines Thermostaten wird die Temperatur geändert. Wie kann man dem dargestellten p-V-Diagramm die Art der Temperaturänderung entnehmen?



9. Die grafische Darstellung zeigt die Abhängigkeit des Druckes von der absoluten Temperatur bei einem Edelgas. Erfolgt, wenn das Gas erhitzt wird, eine Kompression oder eine Expansion?



10. In einem Zylinder mit beweglichem Kolben ist ein Gas eingeschlossen, dessen Zustandsgrößen verändert werden können. Im T-V-Diagramm (Abb.) ist ein Prozeß dargestellt. Stellen Sie diesen Prozeß im p-V-Diagramm dar, bezeichnen Sie die entsprechenden Punkte mit den Ziffern aus dem T-V-Diagramm und gehen Sie an, bei welchen Teilprozessen das Gas Wärme aufnimmt und bei welchen es Wärme abgibt!



11. In einem Gefäß mit Kolben befindet sich Knallgas, das unter Normalbedingungen ein Volumen von  $10^{-4} \text{ m}^3$  einnimmt. Beim schnellen Zusammendrücken entzündet sich das Gas. Gesucht ist die Zündtemperatur des Gases, wenn die Arbeit bei der Kompression  $46,4 \text{ J}$  beträgt.

12. Ein Gas mit einem Volumen von  $1 \text{ m}^3$  steht unter einem Druck von  $12 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ . Es ist die Isotherme zu zeichnen, die eine Ermittlung zueinander gehörender Druck- und Volumenwerte gestattet!
13. In einem Zylinder bewegt sich ein Kolben unter Einwirkung des Druckes von Wasserdampf um eine Strecke von 40 cm. Dabei fällt der Druck im Zylinder gleichmäßig von  $2,2 \cdot 10^6 \text{ Nm}^{-2}$  auf  $2 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ . Der Kolben hat eine Fläche von  $250 \text{ cm}^2$ . Welche mechanische Arbeit hat der Wasserdampf verrichtet?

## 2.10. Aggregatzustandsänderungen

1. In ein Kalorimetergefäß aus Messing mit der Masse  $m_1$ , in dem sich eine Eismenge mit der Masse  $m_2$  bei der Temperatur  $0^\circ\text{C}$  befindet, bringt man geschmolzenes Zinn mit der Schmelztemperatur von Zinn und mit der Masse  $m$ . Welche Mischungstemperatur stellt sich ein?  
(Lösung allgemein)
2. In einem Kalorimeter aus Messing mit der Masse 500 g befindet sich 1 kg Eis der Temperatur  $-10^\circ\text{C}$ . In dieses Gefäß fließt mit konstanter Geschwindigkeit Wasser der Temperatur  $80^\circ\text{C}$ , und zwar in jeder Minute 50 g. Das Kalorimetergefäß ist wärmeisoliert und das Eis fein zerstoßen, so daß der Wärmeaustausch sehr schnell erfolgt.
- a) Nach welcher Zeit ist das Eis vollständig geschmolzen?  
b) Nach welcher Zeit ist die Temperatur  $10^\circ\text{C}$ ?  
Die spezifische Wärmekapazität von Messing ist  $418 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ , die des Eises  $2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{g} \cdot \text{K}}$  und die spezifische Schmelzwärme von Eis  $334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ .
3. Ein großer Eisblock wird mit einer tiefen Höhlung versehen. Dann führt man folgende Versuche durch:
- a) Man erwärmt einen Wismutklumpen mit der Masse 5 kg bis zur Schmelztemperatur und bringt ihn dann in die Höhlung im Eis.  
Nach einiger Zeit nimmt man den Klumpen wieder heraus und bestimmt die Masse des entstandenen Schmelzwassers. Man erhält 508 g. Was kann aus diesem Experiment geschlossen werden?

- b) Man schmilzt in einem Schmelztiegel eine größere Menge Wismut.

Nachdem alles geschmolzen ist, läßt man die Schmelze abkühlen, bis ein Teil erstarrt ist. Nun gießt man den Rest der Schmelze in die Höhlung im Eisblock.

Wenn die Temperatur sich nicht mehr ändert, stellt man die Masse des Wismuts in der Höhlung und die des Schmelzwas-  
sers fest. Man erhält für Wismut  $m_1 = 1439 \text{ g}$  und für das  
Wasser  $m_2 = 380 \text{ g}$ .

Was kann man nach diesem Versuch bestimmen, wenn man weiß,  
daß die Schmelztemperatur von Wismut  $271^\circ \text{C}$  ist?

4. Ein Gemisch aus Wasser und Alkohol wird destilliert. Zur Ab-  
kühlung wird der Alkoholdampf, der mit einer Temperatur von  
 $89^\circ \text{C}$  aus dem Gemisch entweicht, durch eine Kühlschlange ge-  
leitet, die von Wasser umspült wird. Das Wasser fließt mit  
einer Temperatur  $T_1 = 10^\circ \text{C}$  in den Kühler ein und verläßt ihn  
mit der gleichen Temperatur, auf die der kondensierte Alkohol  
sich abkühlt, nämlich  $t_2 = 40^\circ \text{C}$ .

Wieviel Wasser muß durch den Kühler fließen, damit man 20 kg  
Alkohol erhält?

Die spezifische Verdampfungswärme von Alkohol ist  $2,2 \text{ MJ/kg}$ ,  
die spezifische Wärmekapazität  $2,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ .

5. Für eine Trocknerei werden bei einem Luftdruck von 1000 mbar  
stündlich  $250 \text{ m}^3$  Luft von  $15^\circ \text{C}$  mit einer relativen Luftfeuch-  
tigkeit  $\varphi_1 = 0,7$  angesaugt und auf  $40^\circ \text{C}$  erwärmt.
- a) Wie groß ist die dazu erforderliche Wärmemenge?
- b) Wieviel kg Wasser können von der Luft aufgenommen werden,  
wenn diese den Trockenraum mit  $\varphi_2 = 0,9$  verläßt?

## 2.11. Elastizität und Festigkeit bei Festkörpern

1. Wenn von einer Stanzpresse in ein Blech Löcher von dem Durch-  
messer  $d = 30 \text{ mm}$  gestanzt werden, so treten Kräfte quer zu  
zwei aneinanderliegenden Flächen auf, in diesem Fall Kräfte  
zwischen der Randfläche des ausgestanzten Blechstückes und dem  
Rand des Loches.

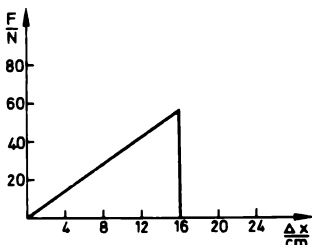
Für die sogenannte Scherspannung wird angenommen, daß die  
Kräfte gleichmäßig über die gestanzte Fläche verteilt sind.  
Somit kann die Definition für Spannungen angewendet werden.

Zuweilen wird die auftretende Spannung auch Tangentialspannung  $\tau$  genannt (z. B. bei Nieten). Eine Presse stanzt mit der Kraft  $F = 2 \cdot 10^4$  N Löcher mit einem Durchmesser von 30 mm in ein Blech der Dicke 0,8 cm. Wie groß ist die auftretende Scherspannung?

2. Bei einer Dampfkesselnietung sind 1,4 cm starke Eisenbleche mit Stahlnieten von 25 cm Durchmesser zusammengenietet. Der Abstand von Niet zu Niet (Mitte) beträgt 50 mm. Welche Zugspannung tritt an den Flächen in der Nietreihe auf, wenn die Niete mit einer Abscherspannung von  $10\,000 \text{ N/cm}^2$  beansprucht werden?
3. Es soll Rundstahl von 10 cm Stärke durch zwei Niete untereinander verbunden werden, so daß eine Zugkraft von  $30\,000 \text{ N}$  aufgenommen werden kann. Wie groß muß der Durchmesser der Niete sein, wenn die zulässige Abscherspannung  $1000 \text{ N/cm}^2$  beträgt?  
Wie breit muß der Rundstahl sein, wenn die zugelassene Zugspannung  $10\,000 \text{ N/cm}^2$  beträgt?
4. Um wieviel cm verlängert sich eine Zugstange aus Stahl St 50 mit einer Länge von  $1000 \text{ cm}$ , wenn eine zulässige Spannung von  $5000 \text{ N/cm}^2$  in der Stange wirksam ist?
5. Eine Zugstange aus St 42 von 5 m Länge und einer Querschnittsfläche von  $5 \text{ cm}^2$  wird mit einer Kraft von  $100\,000 \text{ N}$  in Richtung der Stabachse belastet.  
Wie groß sind die Längenänderung, die Dehnung und die Zugspannung?
6. Ein Stahldraht mit einem Querschnitt von  $1 \text{ cm}^2$  ist zwischen zwei Masten gespannt. Um wieviel vergrößert sich die Kraft auf die Masten, wenn der Draht um  $\Delta T = 5 \text{ K}$  abgekühlt wird? Der Abstand der Masten beträgt 5 m. (Linearer Ausdehnungskoeffizient  $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ; Elastizitätsmodul:  $E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$ ). Man nehme an, der Draht hängt im Anfangszustand waagrecht.
7. Ein homogenes Stahlblech mit einer Masse von  $100 \text{ kg}$  hängt an drei Drähten gleicher Länge, die symmetrisch angeordnet sind.  
Wie groß ist die Spannung in den Drähten, wenn der mittlere Draht aus Stahl und die beiden anderen Drähte aus Kupfer sind? Alle Drähte haben die gleiche Querschnittsfläche. Es ist bei

der Lösung davon auszugehen, daß der Elastizitätsmodul von Stahl etwa doppelt so groß ist wie der von Kupfer.

8. In der Grafik ist das Dehnungsverhalten einer Schraubenfeder dargestellt. Wie groß war in dem angegebenen Fall die Dehnungsarbeit? Wie groß ist die Federkonstante  $k$ ?



9. Eine Schraubenfeder erfährt durch Anhängen eines Körpers mit der Masse  $m$  eine Elongation von 2 cm in Luft und desselben Körpers eine Elongation von 1,2 cm in Wasser. Wie groß ist die Dichte des angehängten Massestückes?

## 2.12. Schwingungen und Wellen

1. Auf eine straff gespannte Membran fallen feine Sandkörner. Die Membran führt dabei Schwingungen mit einer Frequenz  $f = 500$  Hz aus. Wie groß ist die Amplitude der schwingenden Membran, wenn die Sandkörner 3 mm über die Gleichgewichtslage der Membran hoch geschleudert werden?
2. Welche Zeit wäre erforderlich, damit die Schallwelle einer Explosion auf die entgegengesetzte Seite der Erde gelangt?
3. An einer Feder hängt ein Körper, dessen Masse so bemessen ist, daß die Schwingungsdauer des Systems 0,5 s beträgt. Es wird ein zweiter Körper angehängt. Die Schwingungsdauer beträgt dann 0,6 s. Es ist die Ausdehnung der Feder zu bestimmen, nachdem der zweite Körper angehängt wurde.
4. Ein Motor mit einer Masse von 128 kg ist auf vier Federn montiert. Jede dieser Federn hat eine Federkonstante  $k = 2 \cdot 10^4 \text{ N m}^{-1}$ .

Es sind Schwingungsdauer und Frequenz des Systems zu bestimmen.

5. Parallel zu einem Sekundenpendel hängt eine Eisenkugel der Masse  $m = 812 \text{ mg}$  an einem Faden mit der Länge  $l = 1,25 \text{ m}$ . Unterhalb der Kugel befindet sich ein Magnet, der die Kugel mit einer konstanten Kraft anzieht, die lotrecht und proportional zur Masse der Kugel wirkt. Bringt man beide Pendel zum Schwingen, so bemerkt man, daß die Schwingungsdauer des zweiten Pendels etwas geringer ist als die des Sekundenpendels. Andererseits wird beobachtet, daß beide Pendel zu folgenden Zeiten zur gleichen Zeit durch die Lotrechte gehen. 8 Uhr 32 min 43 s; 8 Uhr 37 min 41 s; 8 Uhr 42 min 39 s. Es ist die Anziehungskraft des Magneten auf die Kugel zu bestimmen.
6. Ein Pendel mit einer Schwingungsdauer von  $0,5 \text{ s}$  wird an einem Wagen befestigt. Dieser fährt eine geneigte Ebene herab und danach auf einer horizontalen Ebene weiter (Neigungswinkel der Ebene  $\alpha = 45^\circ$ ). Es ist die Schwingungsdauer zu bestimmen, wenn
- a) der Wagen die geneigte Ebene herabfährt
  - b) der Wagen auf der waagerechten Ebene rollt.
- Reibungskräfte sind zu vernachlässigen.
7. Es ist die Frequenz der Grundschiwingung eines Stahldrahtes zu ermitteln. Seine Länge beträgt  $l = 50 \text{ cm}$ , sein Durchmesser  $d = 1 \text{ mm}$ . Der Draht ist mit einer Kraft von  $F = 151 \cdot 10^3 \text{ N}$  gespannt. Die Dichte des Stahls beträgt  $\rho = 7,8 \text{ g cm}^{-3}$ .
8. Eine Stimmgabel hat eine Grundschiwingung der Frequenz  $f = 340 \text{ Hz}$ . Sie schwingt über einem zylindrischen Gefäß von einem Meter Länge. In das Gefäß wird langsam Wasser gefüllt. Bei welcher Wasserhöhe im Gefäß wird der Ton der Stimmgabel maximal verstärkt?
9. Ein Turbinenflugzeug fliegt mit einer Geschwindigkeit von  $500 \text{ m s}^{-1}$  in einem Abstand von  $6 \text{ km}$  an einem Beobachter vorbei. Welchen Abstand vom Beobachter hat das Flugzeug zu dem Zeitpunkt, wenn der Beobachter den Schall des Motors hört?
10. Unter der Mitte einer gespannten Stahlsaite, die eine Länge von  $l_0 = 1,57 \text{ m}$  und eine Masse von  $m = 0,628 \text{ g}$  hat, ist ein

kleiner Elektromagnet angebracht. Durch seine Spule fließt ein Wechselstrom, der in einem elektrischen Schwingkreis erzeugt wurde. ( $C = 2 \mu\text{F}$ ,  $L = 0,5 \text{ H}$ ) Bei welchen Spannkraften für die Saite können durch den Magneten Eigenschwingungen der Saite erzeugt werden? Welche Schwingungsformen können dabei entstehen?

11. Eine einseitig geschlossene Luftsäule von 15 cm Länge wird von einer schwingenden Stimmgabel zum Mitschwingen gebracht. Wird die Luftsäule allmählich auf 25 cm verlängert, so entsteht wiederum eine Resonanz der Luftsäule. Wie groß ist die Frequenz der Stimmgabel, wenn eine Schallgeschwindigkeit von  $340 \text{ m s}^{-1}$  angenommen wird?
12. In einer Kundt'schen Röhre entstanden auf einer Länge von 41 cm fünf Knotenabstände, wenn die Röhre mit Luft gefüllt war. Wurde die Röhre mit Wasserstoffgas gefüllt, so entstanden drei Knotenabstände auf 93,6 cm. Es sind die Erregerfrequenz und die Schallgeschwindigkeit im Wasserstoff ( $v_L = 340 \text{ m s}^{-1}$ ) zu bestimmen.
13. Welche Frequenz haben der Grundton und die beiden ersten Obertöne einer gedeckten Lippenpfeife, deren Länge 3,75 m beträgt?
14. Welchen Ton erhält man durch die Längsschwingung eines 1,2 m langen Holzstabes, wenn die Schallgeschwindigkeit in dem Holz 12 mal so groß ist wie in der Luft?
15. Ein Schiff sendet über und unter Wasser einen Meßton der Frequenz  $f = 1000 \text{ Hz}$  aus. In einer Küstenstation empfängt man den Luftschall mit einer Frequenz  $f_2 = 1040 \text{ Hz}$ . Wie schnell fährt das Schiff? Welche Frequenz empfängt die Küstenstation beim Unterwassersignal?
16. Ein elektrischer Schwingkreis besteht aus einem Kondensator mit einer Kapazität von  $C = 2 \cdot 10^{-7} \text{ F}$  und einer Spule mit einer Induktivität von  $L = 5 \cdot 10^{-4} \text{ H}$ . Auf welche Frequenz ist der Schwingkreis abgestimmt, wenn man den Widerstand des Kreises vernachlässigen darf.
17. Ein elektrischer Schwingkreis besteht aus einem Kondensator mit einer Kapazität von  $5 \mu\text{F}$  und einer Spule mit einer Induktivität von  $0,4 \text{ H}$ , die einen Ohmschen Widerstand von  $100 \text{ Ohm}$

hat. Auf dem Kondensator befindet sich eine elektrische Ladung von  $Q = 5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ . Wie groß sind die Schwingungsdauer und das logarithmische Dämpfungsdekrement der Schwingungen?

18. Es ist die Frequenz folgenden elektrischen Schwingkreises zu bestimmen:

Kupferspule mit einer Länge von 3 cm und einer Querschnittsfläche von  $1 \text{ cm}^2$ . Plattenkondensator mit einer Plattenfläche von  $30 \text{ cm}^2$  und einem Plattenabstand von 0,1 cm.

Die Spule trägt 1 000 Windungen.

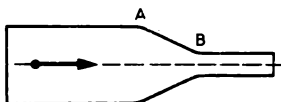
19. Der Schwingkreis eines UKW-Senders besteht aus einem Kondensator mit der Kapazität 5 pF und einer Spule mit einer Induktivität von  $2 \cdot 10^{-6} \text{ H}$ . Es ist die Länge des Sendedipols zu bestimmen!

### 2.13. Elektrische Ladung und elektrisches Feld

1. Zwei gleiche Kugeln sind mit gleichartigen Ladungen aufgeladen. Bei einem gegebenen Abstand wirkt zwischen ihnen eine Abstoßungskraft  $F_1 = 1 \text{ N}$ . Nähert man die Kugeln einander, bis sie sich berühren und bringt sie dann auf einen Abstand der halb so groß ist wie der zuvor, dann beträgt die Abstoßungskraft  $F_2 = 4,5 \text{ N}$ .

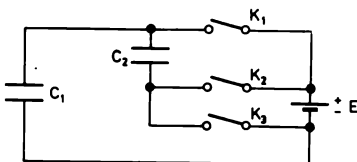
Bestimmen Sie das Verhältnis der Ladungen der beiden Kugeln am Anfang.

2. Welche Kraft wirkt auf eine Ladung  $Q$ , die sich in der Nähe zweier metallischer Halbebenen befindet, wenn diese Ebenen einen Winkel von  $90^\circ$  einschließen und die Ladung von beiden den gleichen Abstand  $a$  hat?
3. Längs der Achse eines Metallrohres, das sich im Abschnitt AB verjüngt, (Abb.) bewegt sich ein geladenes Teilchen. Ändert sich die Geschwindigkeit des Teilchens beim Durchgang durch den Abschnitt AB?

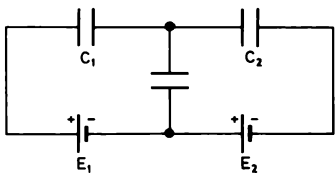


4. Eine Punktladung  $Q = 3 \mu\text{C}$  erzeugt in ihrer Umgebung ein elektrisches Feld. Darin sind zwei Punkte gegeben: A in der Entfernung  $r_1 = 0,3 \text{ m}$  und B in der Entfernung  $r_2 = 90 \text{ cm}$  von der Ladung. Es sind zu bestimmen:
  - a) Die Feldstärke im Punkt A,
  - b) das elektrische Potential im Punkt A,
  - c) die Potentialdifferenz zwischen den Punkten A und B,
  - d) die mechanische Arbeit, die verrichtet werden muß, um eine Ladung  $q = 70 \text{ nC}$  von A nach B zu transportieren.
5. Eine Million Blutropfen mit dem Radius  $90 \mu\text{m}$  vereinigen sich zu einem einzigen Tropfen. Jeder Tropfen trug vor der Vereinigung die Ladung  $1 \text{ pC}$ . Bestimmen Sie das Potential der Kugeln vor und nach der Vereinigung.
6. Ein Plattenkondensator wird mit einer Spannung von  $12 \text{ kV}$  aufgeladen. Bringt man zwischen die Platten des Kondensators eine Porzellanplatte, deren Dicke gleich dem halben Plattenabstand ist, verringert sich die Spannung auf  $7 \text{ kV}$ . Bestimmen Sie die Dielektrizitätskonstante von Porzellan!
7. Die Platten eines Kondensators haben eine Fläche von je  $1 \text{ dm}^2$ , ihr Abstand voneinander beträgt  $1 \text{ cm}$ , zwischen ihnen befindet sich Luft. Die Potentialdifferenz zwischen den Platten ist  $300 \text{ V}$ .  
Bestimmen Sie:
  - a) die Ladung des Kondensators und
  - b) die zwischen den Platten wirkende Kraft.

- c) Die Platten des geladenen Kondensators werden auf 10 cm voneinander entfernt. Welche mechanische Arbeit muß verrichtet werden und welche Potentialdifferenz herrscht nun zwischen den Platten? Vergleichen Sie die mechanische Arbeit mit der Änderung der Energie des Kondensators!
- d) Die Entfernung der Platten wird wieder von 1 cm auf 10 cm vergrößert, sie bleiben dabei jedoch an der Spannungsquelle angeschlossen, so daß die Spannung 300 V konstant gehalten wird. Wie groß ist jetzt die verrichtete mechanische Arbeit, und wie groß ist die Ladung des Kondensators nach dem Auseinanderziehen der Platten? Vergleichen Sie die Arbeit mit der Änderung der Energie des Kondensators!
- e) Man bringt die Platten wieder auf den Abstand 1 cm und lädt den Kondensator noch einmal mit einer Spannung von 300 V auf. Dann isoliert man ihn von der Spannungsquelle und verdrängt die Luft zwischen den Platten durch ein Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_r = 5$ . Wie groß sind jetzt die Potentialdifferenz zwischen den Platten und die zwischen ihnen wirkende Kraft?
- f) Man ersetzt nun die Luft durch das gegebene Dielektrikum, hält dabei jedoch die Spannung zwischen den Platten konstant. Berechnen Sie für diesen Fall die Ladung des Kondensators und die zwischen den Platten wirkende Kraft!
8. In der gegebenen Schaltung sind zunächst alle Schalter geöffnet, die Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$  sind entladen. Die Schalter  $K_1$  und  $K_3$  werden geschlossen und nach einiger Zeit wieder geöffnet. Danach wird  $K_2$  geschlossen. Welche Potentialdifferenz ergibt sich am Kondensator  $C_1$  nach dem Schließen von  $K_2$ ?

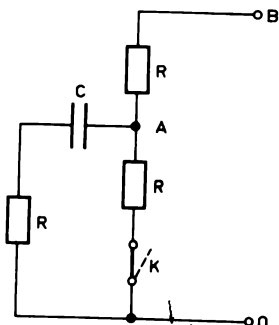


9. In der vorgegebenen Schaltung haben die drei Kondensatoren die Kapazitäten  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  und die Spannungsquellen die Urspannungen  $E_1$  und  $E_2$ .



Die Ladung auf jedem einzelnen Kondensator ist zu berechnen. Die Kondensatoren können als ideal betrachtet werden.

10. Zwischen den Punkten B und O (Abb.) liegt eine Gleichspannung von 200 V an. Die Widerstände betragen alle  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Der Kondensator hat eine Kapazität  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ . Der Schalter K ist zunächst geschlossen und wird dann plötzlich geöffnet. Wie groß ist die Spannung zwischen A und O unmittelbar nach dem Ausschalten und nach einiger Zeit?



11. Zwei gleichnamige elektrische Punktladungen  $Q_1 = 1C$  und  $Q_2 = 2C$  befinden sich im Abstand von 70 cm voneinander. Es ist der Punkt auf der Verbindungsgeraden beider Ladungen zu bestimmen, in dem die elektrische Feldstärke den Wert Null hat.

#### 2.14. Elektrische Ströme in Metallen

- Wie groß ist der Gesamtwiderstand von vier parallel zueinander geschalteten Widerständen von 1,2 Ohm, 3,4 Ohm, 4 Ohm und 6 Ohm?
- Wie groß muß der Widerstand eines Nebenschlusses sein, wenn die Hauptleitung einen Widerstand von 6 Ohm besitzt und der Gesamtwiderstand 4 Ohm betragen soll?
- Welcher Widerstand R muß zu einem Galvanometer mit einem Innenwiderstand von  $R_i = 10000$  Ohm parallel geschaltet werden, wenn dessen Empfindlichkeit um das 50fache erniedrigt werden soll?
- Zwei Widerstände von je 60 Ohm sind in Reihe geschaltet. An ihnen liegt eine Spannung von  $U = 120$  V.  
Es ist die über einem der Widerstände gemessene Spannung  $U_1$  anzugeben, wenn der Innenwiderstand des Meßgerätes  $R_i = 120$  Ohm beträgt.

5. Ein Elektroofen ist für eine Spannung von 220 V konstruiert. Er soll mit einer Spannung von 110 V betrieben werden und die gleiche Leistung behalten. Die Heizspulen sollen nicht verändert oder gekürzt werden. Wie ist zu verfahren?
6. Eine elektrische Kochplatte hat drei Heizwendeln. Wenn zwei von ihnen parallel und die dritte dazu in Reihe geschaltet werden, dann beginnt eine Wassermasse  $m$  nach 20, 40 oder 16 Minuten zu siedern, je nachdem wie die Kombination der Heizwendeln gewählt wird.  
Nach welcher Zeit beginnt die Wassermasse  $m$  zu siedern, wenn die Heizwendeln alle in Reihe oder alle parallel geschaltet werden?
7. Ein Akkumulator mit einer elektromotorischen Kraft  $E = 10 \text{ V}$  und einem Innenwiderstand  $R_1 = 1 \text{ Ohm}$  ist an einen Außenwiderstand angeschlossen, der eine Leistung von 9 W aufnimmt. Es ist die Spannung an den Enden der Batterie zu bestimmen.
8. Vier Widerstände von 1 Ohm, 2 Ohm, 3 Ohm und 4 Ohm sind so untereinander verbunden, daß der Gesamtwiderstand 1 Ohm beträgt. Wie groß ist die im Widerstand von 2 Ohm umgesetzte elektrische Leistung, wenn durch den Widerstand von 3 Ohm eine Stromstärke von 3 A fließt?
9. Eine Glühlampe und ein veränderlicher Widerstand sind in einem Stromkreis hintereinandergeschaltet. Die Spannung an den Klemmen der Glühlampe beträgt 80 V, der Spannungsabfall am Widerstand 20 Ohm. Lampe und Widerstand haben zusammen eine elektrische Leistung von 200 W.
  - a) Welche Stromstärke fließt im Stromkreis?
  - b) Welche Wärmeenergie wird in einer Stunde in der Lampe erzeugt?
  - c) Welche Temperatur hat der Glühfaden der Lampe, wenn sein Widerstand bei  $0^\circ \text{C}$  2,5 Ohm beträgt und der Temperaturkoeffizient des Widerstandes  $5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  beträgt?
10. Bei einem Elektroheißwasserspeicher wird die Temperatur von 30 l Wasser mit der elektrischen Energie von 2,8 kWh von  $15^\circ \text{C}$  auf  $85^\circ \text{C}$  erhöht. Wie groß ist der Wirkungsgrad des Gerätes? Welchen Widerstand haben die Heizdrähte, wenn die Temperaturerhöhung in 12 min erfolgt und das Gerät mit einer Spannung von 220 V betrieben wird?

11. Durch die Wicklungen eines Elektromotors fließt bei einer Spannung von 220 V eine Stromstärke von 5 A. Es wird eine mechanische Leistung von 0,8 kW abgegeben. Wie groß ist der Wirkungsgrad? Welche Wärmeenergie entsteht bei einem zweistündigen Betrieb durch Reibung und den elektrischen Strom?
12. Eineinhalb Liter Wasser mit einer Temperatur von 20 °C werden in 15 Minuten auf einem Elektrokoher mit zwei Heizdrähten gleichen Widerstandes erhitzt. Wenn die Drähte parallel geschaltet sind, wird die Siedetemperatur erreicht und 100 g Wasser verdampfen. Was geschieht, wenn die Drähte in Reihe geschaltet werden und das Wasser damit während einer Zeit von 60 Minuten erwärmt wird? Die Verdampfungswärme beträgt  $2,25 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ . Welche Zeit ist erforderlich, um das Wasser bis zum Siedepunkt zu erwärmen, wenn nur ein Draht eingeschaltet wird?
13. Wie groß ist die elektrische Ladungsmenge, die durch den Querschnitt eines Leiters fließt, wenn die Stromstärke in 10 s gleichmäßig von 0 A auf 4 A ansteigt?

## 2.15. Elektrische Leitung in Elektrolyten

1. Es soll Kupfer elektrolytisch gereinigt werden. Zwischen Anode und Katode des Elektrolysegefäßes liegt eine Spannung von 1,5 V. Wie hoch sind die Kosten für die Reinigung von 2 kg Kupfer, wenn ein Preis von 0,04 M je kWh angenommen wird?
2. Der Anlasser eines PKW entnimmt einem 12 V-Akkumulator für sechs Sekunden eine elektrische Leistung von 1400 Watt. Welche Wasserstoffmenge entsteht dabei im Elektrolyten jeder Zelle bei der Reduktion von Bleidioxid?
3. Auf einer rechteckigen Fläche ( $a = 20 \text{ cm}$ ,  $b = 12 \text{ cm}$ ) soll eine 0,15 mm dicke Kupferschicht aufgetragen werden. Die Stromdichte soll  $1,8 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$  nicht überschreiten. Wieviel negative Elementarladungen werden dabei durch den Elektrolyten transportiert?
4. Eine elektrolytische Spannungsquelle ist aus absolut reinem Material hergestellt. Welche Zinkmasse und Masse an Kupfersulfatkristallen ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$ ) werden verbraucht, wenn diese Zelle acht Stunden lang einen Strom von 0,2 A liefert?

5. In einer elektrolytischen Spannungsquelle werden 444 kJ Energie freigesetzt, wenn sich eine molare Masse Zink mit Schwefelsäure verbindet und 235 kJ Energie verbraucht, wenn eine molare Masse Kupfer aus Kupfersulfat freigesetzt wird. Wie groß ist die elektromotorische Kraft dieser Spannungsquelle?
6. Im äußeren Stromkreis einer Spannungsquelle, die aus zehn hintereinandergeschalteten Elementen besteht, befindet sich ein Meßgerät mit Silbernitrat (Silbervoltameter). Jedes Element hat eine EMK von 1,5 V und einen Innenwiderstand von 0,4 Ohm. An der Katode des Meßgerätes werden 0,67 g Silber in fünf Minuten abgeschieden.
  - a) Wie groß ist der Spannungsabfall in der Spannungsquelle beim Betrieb?
  - b) Wie groß ist der elektrische Widerstand des Voltameters?
  - c) Welche Elektrizitätsmenge fließt durch das Meßgerät?

## 2.16. Elektrische Leitung in Halbleitern

1. In 0,5 kg reinem Germanium werden 0,1 g Antimon verteilt. Was für ein Halbleitertyp entsteht dadurch?  
Es ist die ungefähre Vergrößerung der elektrischen Leitfähigkeit, die durch diesen Antimonzusatz entsteht, anzugeben.
2. Es ist der spezifische Widerstand eines p-Germanium-Halbleiters zu bestimmen. Die Störstellendichte soll  $3 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$  betragen. Die Löcherbeweglichkeit beträgt  $u = 0,18 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .
3. Für das Konzentrationsverhältnis der Elektronen bei den Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  gilt

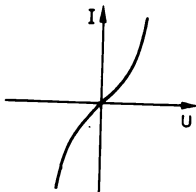
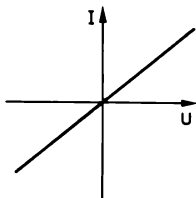
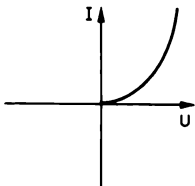
$$\frac{n_1}{n_2} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{\frac{\Delta}{2K} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

In einem Eigenhalbleiter wurde durch Hall-Effekt-Messungen die Elektronenkonzentration bei 400 K zu  $1,3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  und bei 350 K zu  $6,2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  ermittelt. Es ist die Bandlücke  $\Delta$  des Materials zu bestimmen, wenn angenommen wird, daß diese sich mit der Temperatur linear ändert.

4. Durch einen Leiter mit dem Durchmesser  $d = 0,5 \text{ mm}$  fließt ein elektrischer Strom der Stärke 20 A. Die Leiterfläche wird senkrecht zum Strom und zur langen Seite von einem magnetischen Feld mit der magnetischen Induktion  $B = 1 \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$  durchsetzt.

Die dabei erzeugte Hallspannung beträgt  $U_H = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ V}$ .  
Aus welchem Material könnte der elektrische Leiter bestehen?

5. Ein elektrischer Strom der Stärke  $I = 5 \text{ A}$  fließt durch ein Indiumantimonplättchen der Dicke  $d = 0,1 \text{ mm}$ . Das Plättchen befindet sich in einem magnetischen Feld, welches senkrecht zur Stromrichtung und zu  $d$  verläuft. Die magnetische Induktion beträgt  $B = 0,5 \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$ . Es ist die entstehende Hall-Spannung zu bestimmen!
6. Ein Halbleiter wird mit monochromatischem Licht der Wellenlänge  $\lambda = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  bestrahlt. Die absorbierte Lichtenergie beträgt  $10^{-4} \text{ J}$ . Jedes auftreffende Photon bewirkt das Entstehen eines Ladungsträgers. Es ist die elektrische Ladungsmenge zu bestimmen, die durch den Halbleiter driftet, wenn die vorhandene Feldstärke so groß ist, daß sämtliche Ladungsträger die Elektroden erreichen.
7. In Experimenten wurde die Abhängigkeit der Stromstärke  $I$  von der Spannung  $U$  an einer black-box ermittelt. Die grafischen Darstellungen sind nachfolgend angegeben. Was für Bauelemente befanden sich in der black-box?



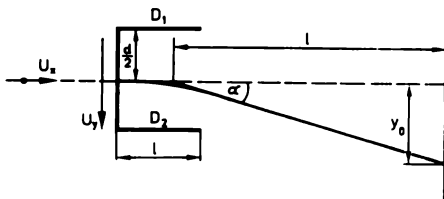
## 2.17. Elektrische Leitung in Gasen und im Vakuum

1. Welche Geschwindigkeit erreicht ein Sauerstoffion, wenn es in einem elektrischen Feld mit der Spannung von 2000 V beschleunigt wird? Wie groß ist die Energie des Ions?
2. In einer Katodenstrahlröhre beträgt der Abstand zwischen der Katode und der Anode 1,5 cm. Die Anodenspannung beträgt 1,5 kV. Welche Geschwindigkeit erreichen die austretenden Elektronen?
3. Die Anodenspannung an einer Katodenstrahlröhre beträgt 2 000 V. Die beschleunigten Elektronen, die hinter der Anode mit konstanter Geschwindigkeit weiter fliegen, durchfliegen ein elektrisches Feld der Länge  $l = 2$  cm zwischen zwei Ablenkplatten. Die Feldstärke beträgt  $2 \cdot 10^4 \text{ V m}^{-1}$ . Um welche Strecke  $\Delta x$  wird der Strahl senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung abgelenkt?
4. Ein elektrisches Feld mit der Feldstärke von  $2\,000 \text{ Vm}^{-1}$  und ein magnetisches Feld mit einer magnetischen Induktion von  $0,2 \text{ Vs.m}^{-2}$  sind so überlagert, daß ihre Richtungen gleichsinnig und parallel verlaufen.  
Senkrecht zu diesen Feldern bewegt sich ein Elektron mit einer Geschwindigkeit  $v = 3 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$ .  
Welche Kräfte wirken auf das Elektron?
5. Ein Kondensator mit einer Kapazität von  $C = 2 \mu\text{F}$  und einem Plattenabstand von  $d = 3 \text{ mm}$  wird an eine Hochspannungsquelle über einen Widerstand von  $R = 10^3 \text{ Ohm}$  angeschlossen.  
Mit Hilfe von Röntgenstrahlen wird die Luft zwischen den Kondensatorplatten ionisiert. Es entstehen dabei  $n = 10^4$  Ionenpaare je Sekunde in einem Kubikzentimeter. Die Ionen haben die Ladung eines Elektrons. Wie groß ist der Spannungsabfall am Widerstand, wenn vorausgesetzt wird, daß alle Ionen die Platten vor einer Rekombination erreichen?
6. Ein Elektron wird mit einer Spannung  $U_x$  beschleunigt. Es fliegt in horizontaler Richtung auf der Symmetrieachse in das elektrische Ablensystem einer Bildröhre mit den Platten  $D_1$  und  $D_2$  (Abb.). Die Länge der Platten beträgt  $l$ , ihre Entfernung  $d$ . An den Platten liegt eine Spannung  $U_y$

Es sind zu bestimmen (in allgemeiner Lösung):

- der Ablenkwinkel für das Elektron,
- die Ausdehnung  $y_0$  auf dem Bildschirm, der von der Mitte des Ablensystems die Entfernung  $L$  hat,
- die Geschwindigkeit des Elektrons beim Austritt aus dem Ablensystem,
- die Bedingung für  $U_y$ , damit das Elektron nicht auf die positive Ablenkplatte gelangt.

Das elektrische Feld zwischen  $D_1$  und  $D_2$  ist als homogen anzusehen. Es wird vorausgesetzt, daß das Elektron sich zwischen den Platten auf einer Kreisbahn und danach auf deren Tangente bewegt. Die rückwärtige Verlängerung dieser Tangente schneidet die Symmetrieachse in der Mitte des Systems und bildet mit der ursprünglichen Bewegungsrichtung den Winkel  $\alpha$ .



7. Der Anodenstrom einer Röhrendiode kann als Funktion der Anodenspannung in folgender Weise angegeben werden:

$$I_a = A \cdot U_a + B U_a^2$$

Es ist der Anodenstrom einer Röhrendiode ( $A = 0,15 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$ ,  $B = 0,005 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-2}$ ) zu bestimmen, die mit einem Widerstand von  $R_a = 20 \text{ k}\Omega$  in Reihe an eine Spannungsquelle mit einer EMK von  $120 \text{ V}$  angeschlossen wurde.

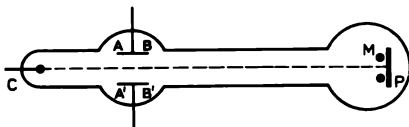
8. Unter normalen Bedingungen erfolgt eine elektrische Entladung in Luft bei einer Feldstärke von  $30 \text{ kV/cm}$ .

Welche Entfernung muß ein Elektron bis zu einem Zusammenstoß

mit einem Teilchen zurücklegen, um es zu ionisieren, wenn es dazu eine Energie von  $2,4 \cdot 10^{-11}$  erg besitzen muß?

9. Wieviele Elektronen treten in einer Sekunde aus der Katode einer Elektronenröhre aus, wenn der Anodenstrom 1 mA beträgt?
10. Zwischen Katode und Anode einer Röhrendiode herrscht eine Potentialdifferenz von 300 V.  
Der Abstand zwischen Katode und Anode beträgt 10mm. Die Geschwindigkeit der Elektronen an der Katode ist Null.  
Berechnen Sie:
- a) die Geschwindigkeit, die die Elektronen bis zur Anode erreichen und
  - b) die Beschleunigung der Elektronen und die Zeit ihrer Bewegung innerhalb der Röhre.
11. Eine Fernsehbildröhre arbeitet mit einer Spannung von 30 kV. Berechnen Sie die kinetische Energie eines Elektrons beim Auftreffen auf den Bildschirm, wenn seine Anfangsgeschwindigkeit beim Austritt aus der Katode Null ist!
12. Berechnen Sie den Spannungsabfall am Anodenwiderstand einer Elektronenröhre  $R_a = 50 \text{ k}\Omega$ , wenn der Heizdraht der Röhre den Durchmesser 0,1 mm und die Länge 3 cm hat und in jeder Sekunde je Quadratmillimeter seiner Oberfläche  $2 \cdot 10^{15}$  Elektronen emittiert!
13. Aus der Platte C treten Katodenstrahlen aus. Durch die kleine Öffnung O einer Blende treffen sie auf einen Fluoreszenzschirm F und erzeugen darauf einen Lichtfleck. Der ausgeblendete Strahl bewegt sich zwischen den Platten eines Kondensators hindurch, zwischen denen ein homogenes elektrisches Feld besteht, das durch AA' und BB' begrenzt ist. Ist die Feldstärke Null, entsteht der Lichtfleck in M, ist die Feldstärke E, dann entsteht der Fleck in P.
- a) Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen, die den Katodenstrahl bilden. Die Masse eines Elektrons ist  $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , seine Ladung  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , das elektrische Feld zwischen den Platten hat die Feldstärke  $E = 10 \text{ kV/m}$ ;  $AB = A'B' = l = 1 \text{ cm}$ ; der Leuchtschirm F hat von AA' die Entfernung  $D = 30 \text{ cm}$ ;  $MP = d = 5,3 \text{ cm}$ .

- b) Aus dem Kondensator AA', BB' und einer Spule wird ein Schwingkreis gebildet und die Spule so angeordnet, daß ihr Magnetfeld mit der Feldstärke  $H$  parallel zum Feld  $E$  liegt und im gleichen Bereich auf den Katodenstrahl wirkt. Beschreiben Sie qualitativ die Form der Kurve, die der Leuchtfleck in F beschreibt, wenn die Ablenkung des Strahls der magnetischen Feldstärke proportional ist.



14. In einer Röntgenröhre werden Elektronen mit einer Spannung von 300 000 V beschleunigt und fließen mit einer Stromstärke von 5 mA.

Berechnen Sie:

- die Geschwindigkeit der Elektronen beim Auftreffen auf die Antikathode,
- die Anzahl der in einer Sekunde aus der Kathode austretenden Elektronen,
- die minimale Wellenlänge der erzeugten Röntgenstrahlen.

## 2.18. Elektromagnetische Induktion

- Ein elektrischer Leiter von 10 cm Länge wird in einem homogenen Magnetfeld senkrecht zur Feldrichtung mit einer Geschwindigkeit  $v = 10 \text{ cm s}^{-1}$  bewegt. Die magnetische Induktion des Feldes beträgt  $B = 0,4 \text{ Wb.m}^{-2}$ .

Wie groß ist die induzierte elektrische Spannung?

2. Eine rechteckige Leiterschleife mit den Seitenlängen  $a = 5 \text{ cm}$  und  $b = 10 \text{ cm}$  befindet sich in einem homogenen Magnetfeld mit der magnetischen Induktion  $B = 2 \text{ T}$ . Die Leiterschleifenfläche steht senkrecht zum Magnetfeld. Beim Einschalten der magnetischen Felder wird der Maximalwert der Feldstärke in  $0,02 \text{ s}$  erreicht. Wie groß ist der Mittelwert der induzierten Spannung?
3. Ein Kupferdraht mit einer Länge von  $0,5 \text{ m}$  wird um eine Achse gedreht, die senkrecht durch eines seiner Enden geht. Diese Achse verläuft parallel zu einem Magnetfeld mit der Induktion  $3 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ .  
Welche Umdrehungszahl ist erforderlich, damit zwischen den Enden des Drahtes ein Potentialunterschied von  $0,5 \text{ mV}$  entsteht?
4. Wie ist die induzierte elektrische Spannung an den Enden eines  $10 \text{ cm}$  langen Leiters, der sich durch ein magnetisches Feld mit der Induktion  $B = 0,5 \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$  mit einer Geschwindigkeit von  $1 \text{ m s}^{-1}$  unter einem Winkel von  $30^\circ$  zu den Feldlinien bewegt?
5. Eine runde Kupferscheibe ist drehbar senkrecht zwischen den Polen eines Magneten angeordnet. Die Stromzuführung erfolgt an der Achse und über ein Quecksilberbad, in das die Scheibe eintaucht. Zwischen den beiden Stromzuführungen ist ein Galvanometer angeschlossen.  
Welche Richtung hat der induzierte Strom, wenn die Scheibe
  - a) im Uhrzeigersinn,
  - b) entgegen dem Uhrzeigersinn
 rotiert?
6. Die Primärspule eines Transformators ohne Eisenkern ist  $20 \text{ cm}$  lang. Sie hat einen Durchmesser von  $5 \text{ cm}$  und besteht aus  $600 \text{ Wdg.}$  Zu errechnen ist die in der Sekundärspule mit  $1200 \text{ Wdg.}$  induzierte Spannung, wenn folgende Daten bekannt sind:
  - a) die Stromstärke in der Primärspule wächst in  $0,6 \text{ s}$  gleichmäßig auf  $9,9 \text{ A}$ , wenn der Stromkreis geschlossen wird,
  - b) die Stromstärke des Primärstromes sinkt beim Ausschalten in  $0,01 \text{ s}$  auf Null. .
7. Durch eine lange Spule mit  $n_1$  Windungen und der Länge  $l_1$  fließt ein Strom der Stärke  $I_1$  (im Innern der Spule befindet sich Luft). In der Mitte der Spule wird eine kleine Spule angebracht. Diese hat  $n_2$  Windungen vom Radius  $r$ . Der Draht dieser kleinen Spule

hat eine Querschnittsfläche  $A_2$  und einen spezifischen Widerstand  $\rho_2$ . Die Achse der zweiten Spule bildet mit der Feldrichtung der ersten Spule einen Winkel  $\alpha$ .

Welche elektrische Ladung  $Q$  fließt in der zweiten Spule, wenn der Strom in der ersten Spule unterbrochen wird?

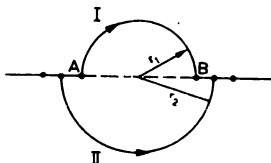
( $n_1 = 2500$ ,  $l_1 = 2$  m,  $I_1 = 32$  A,  $n_2 = 200$ ,  $r = 2$  cm,  $A_2 = 10^{-2}$  mm<sup>2</sup>,  $\rho_2 = 1,78 \cdot 10^{-2}$   $\Omega$  mm<sup>2</sup> m<sup>-1</sup>,  $\alpha = 30^\circ$ )

8. Ein gußeiserner Ring mit dem Umfang  $l = 80$  cm hat einen Luftzwischenraum  $d_1 = 1$  mm. Eine magnetomotorische Spannung  $E_m$  erzeugt in ihm die magnetische Induktion  $B = 0,6$  T. Die Magnetfeldstärke in Gußeisen sei  $H_1$  und in Stahlguß  $H_2$ . Wie groß muß der Luftzwischenraum  $d_2$  in einem Ring aus Stahlguß sein, der den gleichen Umfang hat, damit in ihm bei gleich großer magnetomotorischer Spannung die gleichgroße magnetische Induktion erzeugt wird?
- Es wird vorausgesetzt  $d_1 \ll l$ ;  $d_2 \ll l$ .

## 2.19. Magnetismus

1. a) Berechnen Sie die magnetische Feldstärke  $H$  des Feldes um einen Abschnitt AB eines geraden Leiters, durch den ein Strom der Stärke  $I$  fließt. Zeigen Sie, daß das Magnetfeld in jedem beliebigen Punkt M die Feldstärke  $H = I \cdot \frac{\cos \alpha + \cos \beta}{4 \cdot \pi \cdot h}$  besitzt, wobei  $\alpha$  und  $\beta$  die Basiswinkel des Dreiecks ABM sind und  $h = MP$  die Höhe dieses Dreiecks auf der Basis ist.
- b) Bestimmen Sie die Kraft, die zwischen zwei quadratischen Drahtrahmen ABCD und A'BC'D wirkt, die die Basisflächen eines geraden Prismas bilden, wenn durch den einen Draht ein Strom  $I = 1$  A und durch den anderen ein Strom  $I' = 3$  A fließt. Die Länge einer Quadratseite ist  $a = 0,5$  m und der Abstand zwischen den Rahmen  $d = 1$  cm.
2. Durch einen hinreichend langen waagerecht befestigten Stab fließt ein Strom der Stärke 342 A. In welchem Abstand von diesem Stab befindet sich ein parallel zu ihm verlaufender Kupferdraht mit dem Durchmesser 1 mm, durch den ein Strom von 10 A in der gleichen Richtung wie im Stab fließt, wenn die magnetische Kraft gerade das Gewicht des Kupferdrahtes kompensiert? Die Dichte des Kupfers ist  $8,9 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>.

3. Durch einen verzweigten Stromkreis, der aus zwei Halbkreisen mit gemeinsamem Mittelpunkt O und den Radien  $r_1 = 30 \text{ cm}$  und  $r_2 = 4 \text{ cm}$  (Abb.) besteht, fließt ein Strom der Stärke  $I = 0,7 \text{ A}$ . Dabei ist der Halbkreis II fest, während I um die Achse AB drehbar ist. Man berechne die magnetische Feldstärke im Mittelpunkt O für die Fälle, daß der Halbkreis I unter den Winkeln  $\alpha_1 = 90^\circ$ ,  $\alpha_2 = 180^\circ$ ,  $\alpha_3 = 270^\circ$ ,  $\alpha_4 = 360^\circ$  befestigt ist und im Fall der Abbildung diese Feldstärke 0 ist!



4. Ein elektrischer Strom fließt nacheinander durch eine Tangentenbussole und ein Voltameter und bewirkt einen Ausschlag von  $\alpha = 2^\circ 35'$  und eine Zersetzung von 3 mg Wasser. Welche Wassermenge würde in der gleichen Zeit ein elektrischer Strom zersetzen, der in der gleichen Tangentenbussole einen Ausschlag von  $4^\circ 7'$  hervorruft?
5. Eine 50 cm lange Zylinderspule hat 500 Windungen. Jede Windung hat einen Radius  $R = 4 \text{ cm}$ .
- Es ist die magnetische Feldstärke in der Mitte der Spule für den Fall zu berechnen, daß die Stromstärke  $I = 12 \text{ A}$  beträgt.
  - Wie groß ist der relative Fehler, den man begeht, wenn man die Spule als unendlich lang ansieht?
6. Ein isolierter Draht ist nach Abbildung a geformt. An der Kreuzungsstelle liegen die Punkte M und N des Stromkreises übereinander. Der Radius der Schleife I ist  $r_1$ , der der Schleife II  $r_2$ .
- Berechnen Sie die Potentialdifferenz zwischen den Punkten M und N für den Fall, daß die Schleifen von einem Magnetfeld

senkrecht durchsetzt werden, dessen magnetische Induktion  $B$  sich nach der Beziehung  $B = B_0 \cdot t$  ändert!

- b) Wie groß ist die Potentialdifferenz zwischen M und N, wenn der Draht unter sonst gleichen Bedingungen die Form in Abbildung b hat?



a)



b)

7. In einem Magnetfeld mit einer magnetischen Induktion von  $0,05 \text{ T}$  dreht sich ein Stab mit einer Länge von  $1 \text{ m}$ . Die Drehachse, die durch eines der Stabenden geht, verläuft parallel zu den Kraftlinien des Magnetfeldes. Gesucht ist der magnetische Fluß, der von dem Stab bei jeder Umdrehung durchschnitten wird.
8. Ein Eisenkörper befindet sich in einem Magnetfeld mit einer Feldstärke  $796 \text{ A/m}$ . Wie groß ist die relative Permeabilität des Eisens unter diesen Bedingungen?
9. Die Länge des Eisenkerns einer Ringspule beträgt  $2,5 \text{ m}$ , die Breite seines Luftspalts  $1 \text{ cm}$ . Die Windungszahl beträgt  $1\,000$ . Bei einer Stromstärke von  $20 \text{ A}$  beträgt die magnetische Induktion im Luftspalt  $1,6 \text{ T}$ . Zu bestimmen ist die relative Permeabilität des Eisenkerns.
10. Eine Galvanometerspule besteht aus  $600$  Drahtwindungen und ist an einem  $10 \text{ cm}$  langen Faden mit einem Durchmesser von  $0,1 \text{ mm}$  in einem Magnetfeld mit der Feldstärke  $16 \cdot 10^4 \text{ A.m}^{-1}$  so aufgehängt, daß ihre Ebene parallel zur Richtung des Magnetfeldes steht. Der Spulenquerschnitt ist ein Rechteck mit den Seitenlängen  $a = 2,2 \text{ cm}$  und  $b = 1,8 \text{ cm}$ . Wie groß ist die Stärke des

durch die Spulenwicklungen fließenden Stromes, wenn sich die Spule um  $0,5^\circ$  dreht? Der Torsionsmodul des Fadenmaterials ist  $5886 \text{ N/mm}^2$ .

## 2.20. Gesetze des Wechselstroms

1. Eine Bogenlampe wird mit einer Wechselspannung unbekannter Frequenz gespeist. Man beobachtet den Lichtbogen durch eine rotierende Scheibe mit 40 radialen Spalten. Durch diese Spalte kann man die Lampe sehen. Wenn die Scheibe sich dreht, scheint der Lichtbogen zu flackern. Vergrößert man die Drehzahl allmählich - bei Null beginnend -, dann verschwindet das Flackern bei  $150 \text{ U/min}$ . Wie groß ist die Frequenz des Wechselstromes?
2. Durch die beiden Zweige eines verzweigten Wechselstromkreises fließen die Ströme  $I_{1\text{eff}} = 8 \text{ A}$  und  $I_{2\text{eff}} = 4 \text{ A}$ . Die Spannung, die an beiden Zweigen anliegt, beträgt  $U_{\text{eff}} = 110 \text{ V}$ . Die Stromstärke  $I_1$  ist mit der Spannung phasengleich,  $I_2$  bleibt um  $\frac{1}{8}$  der Periodendauer hinter ihr zurück. Bestimmen Sie
  - a) den Effektivwert der Gesamtstromstärke und
  - b) die Wirkleistung in beiden Zweigen!
3. Ein Wechselstrom mit der Frequenz  $50 \text{ Hz}$  und der Effektivstromstärke  $0,1 \text{ A}$  fließt durch eine Spule mit dem Ohmschen Widerstand  $10 \Omega$  und der Induktivität  $\frac{0,1}{\pi} \text{ H}$ . Berechnen Sie
  - a) die Effektivspannung der Spannungsquelle und
  - b) die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung!
4. In einem Stromkreis sind eine Spule mit der Induktivität  $L = 0,1 \text{ H}$ , ein Kondensator mit der Kapazität  $C = 1 \mu\text{F}$  und ein Widerstand  $R = 10 \Omega$  in Reihe geschaltet.
  - a) Bei welcher Wechselstromfrequenz wird die Stromstärke am größten?
  - b) Wie groß sind bei einer Spannung von  $U = 120 \text{ V}$  bei der berechneten Frequenz und bei Verdopplung dieser Frequenz die Stromstärken?
5. Ein Stromkreis besteht aus einer Wechselspannungsquelle, einer Glühlampe mit dem Widerstand  $R_1 = 20 \Omega$  und einer Spule mit dem Widerstand  $R$  und der Induktivität  $L$  (beide sind unbekannt). Alle Elemente sind in Reihe geschaltet. Mit einem Hitzdraht-Meßgerät werden folgende Spannungen gemessen: Über der Glüh-

lampe  $U_1 = 50 \text{ V}$ , über der Spule  $U_2 = 70 \text{ V}$  und an den Klemmen der Spannungsquelle  $U = 87 \text{ V}$ .

Berechnen Sie:

- die Stromstärke im Stromkreis,
- den Widerstand  $R$  der Spule,
- die Induktivität  $L$  der Spule,
- die von der Glühlampe umgesetzte Wirkleistung, die Leistung, die von der Spule aufgenommen wird und die von der Spannungsquelle abgegebene Leistung und
- den Leistungsfaktor im Stromkreis.

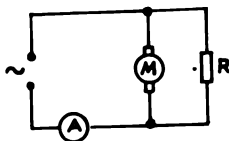
Die Frequenz der Wechselspannung ist  $f = 50 \text{ Hz}$ .

6. Durch die Primärspule eines Transformators fließt bei einer angelegten EMK von  $E = 550 \text{ V}$  ein Strom der Stärke  $I = 10 \text{ A}$ . Der Transformator setzt die Spannung auf ein Fünftel herab, wobei der Wirkungsgrad  $\eta = 96 \%$  ist.

Wie groß ist die Stromstärke im Sekundärkreis?

7. Ein Transformator in einem Ölbad beginnt sich infolge Überlastung zu erwärmen. Wie groß ist der Wirkungsgrad des Transformators, wenn bei einer Nennleistung von  $75 \text{ kVA}$  in der Primärspule und bei einem Leistungsfaktor  $\cos \varphi = 0,8$  das Öl in vier Minuten um  $20 \text{ K}$  erwärmt wird? Die Masse des Öls ist  $40 \text{ kg}$  und seine spezifische Wärme  $c = 210 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ .

8. In einem Werk werden ein Motor und ein Elektroofen vom Netz gespeist. Während des Betriebes beträgt der ohmsche Widerstand des Motors  $26,4 \Omega$  und sein induktiver Widerstand  $62 \Omega$ . Der Ofen hat einen Widerstand von  $32 \Omega$ . Die Netzspannung beträgt  $220 \text{ V}$ . Es ist die Stromstärke, die vom Stromstärkemesser angezeigt wird, zu bestimmen!



5. Ein Lichtstrahl trifft auf eine planparallele Platte unter einem Einfallswinkel von  $30^\circ$  auf. Die Platte ist 2 cm dick, ihr Glas hat einen Brechungsindex von 1,5. Um welche Strecke wurde der Lichtstrahl parallel verschoben?
6. In einem mit Wasser gefülltem kugelförmigem Aquarium befindet sich ein Fisch auf der entgegengesetzten Seite des Aquariums in Richtung des vom Beobachter ausgehenden Radius. Der Radius beträgt R, der Brechungsindex  $n = \frac{4}{3}$ . Wo sieht der Beobachter den Fisch?
7. Am Ufer eines Flusses steht ein Beobachter auf der Böschung, so daß sich seine Augen 6 m über dem Flußspiegel befinden. Er sieht das Spiegelbild einer Baumspitze, dessen Höhe 20 m beträgt und der am anderen Ufer steht unter einem Winkel von  $15^\circ$  gegen die Horizontale. Wie breit ist der Fluß?
8. Ein rechtwinkliges gläsernes Gefäß ist mit einer Flüssigkeit gefüllt. Es wird von unten durch eine Lampe beleuchtet, die sich unmittelbar über dem Gefäßboden befindet. Welchen kleinsten Wert der Brechzahl muß die Flüssigkeit haben, damit man die Lampe nicht durch eine Seitenwand sehen kann?
9. Es ist der Ablenkwinkel für einen Lichtstrahl zu bestimmen, der durch ein luftgefülltes Glasprisma, das sich in Wasser befindet, verläuft (Einfallswinkel  $\alpha = 22^\circ$ ; Prismenwinkel (brechender Winkel)  $\epsilon = 30^\circ$ ).

## 2.22. Interferenz und Beugung des Lichtes

1. Ein Lichtbündel ( $\lambda = 5,82 \cdot 10^{-7}$  m) fällt auf einen Glaskeil. Der Keilwinkel beträgt  $25'$ . Welches ist die Zahl der dunklen Interferenzstreifen je Einheit der Keillänge? Der Brechungsindex des Glases beträgt  $n = 1,5$ .
2. Eine plankonvexe Linse mit einer sehr kleinen Krümmung liegt auf einer ebenen Fläche. Bei senkrechter Beleuchtung mit Natriumlicht bilden sich helle und dunkle Ringe. Der sechste Ring hat einen Durchmesser  $d = 8,4$  mm. Wie groß ist der Krümmungsradius der Linse?

3. Es ist die minimale Stärke einer dünnen Schicht (Film) mit einem Brechungskoeffizienten 1,33 zu ermitteln, bei der Licht mit einer Wellenlänge von  $0,64 \mu\text{m}$  eine maximale Reflexion erfährt und Licht mit einer Wellenlänge von  $0,40 \mu\text{m}$  überhaupt nicht reflektiert wird. Der Einfallswinkel des Lichtes beträgt  $30^\circ$
4. Auf einen dünnen Film (Schicht) ( $n = 1,33$ ) fällt ein paralleles Bündel weißen Lichtes. Der Einfallswinkel beträgt  $\alpha = 52^\circ$ . Bei welcher Stärke des Films wird das durch Spiegelwirkung reflektierte Licht am stärksten in gelbes Licht verfärbt ( $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$ )?
5. Gestreutes monochromatisches Licht mit der Wellenlänge  $\lambda = 0,60 \mu\text{m}$  fällt auf einen dünnen Film eines Stoffes mit einem Brechungskoeffizienten  $n = 1,5$ . Es ist die Stärke des Films zu ermitteln, wenn der Winkelabstand zwischen zwei benachbarten Maxima, die im reflektierten Licht unter Winkeln von annähernd  $\varphi_1 = 45^\circ$  beobachtet werden,  $\delta_1 = 3,0^\circ$  beträgt.
6. Bei senkrechtem Auftreffen des Lichtes auf ein Beugungsgitter wird festgestellt, daß bei einem Beugungswinkel von  $35^\circ$  die Maxima der Linien mit den Wellenlängen  $0,63 \mu\text{m}$  und  $0,42 \mu\text{m}$  zusammenfallen, wobei die maximale Ordnung für die zweite Linie im Spektrum dieses Gitters gleich fünf ist. Es ist die Periode des Gitters zu bestimmen.
7. Auf ein Beugungsgitter fällt senkrecht Licht. Hierbei ist der Beugungswinkel für die Linie  $\lambda_1 = 0,65 \mu\text{m}$  bei der zweiten Ordnung gleich  $\varphi = 45^\circ$ . Es ist der Beugungswinkel für die Linie dritter Ordnung bei  $\lambda_2 = 0,50 \mu\text{m}$  zu bestimmen.
8. Ein paralleles monochromatisches Lichtbündel der Wellenlänge  $5890 \text{ \AA}$  fällt senkrecht auf einen Spalt der Breite  $2 \mu\text{m}$ . Es sind die Winkel zu bestimmen, in deren Richtung die Minima des Lichtes beobachtet werden.
9. In den Weg, den eine ebene Lichtwelle mit der Wellenlänge  $\lambda = 0,54 \mu\text{m}$  durchläuft, wurden eine dünne Sammellinse mit der Brennweite  $f = 50 \text{ cm}$  und unmittelbar danach eine Blende

mit kreisförmiger Öffnung sowie im Abstand  $b = 75 \text{ cm}$  von der Blende entfernt eine Projektionsfläche angebracht.

Bei welchen Öffnungsradien der Blende besitzt das Zentrum des Beugungsbildes auf der Projektionsfläche eine maximale Beleuchtungsstärke?

10. Eine Punktlichtquelle sendet monochromatisches Licht der Wellenlänge  $5000 \text{ \AA}$  aus. Sie befindet sich in einem Abstand von  $a = 6,75 \text{ m}$  von einer Blende mit dem Öffnungsdurchmesser  $d = 4,5 \text{ mm}$ . In einem Abstand von  $b = a$  von der Blende befindet sich ein Schirm.  
Wie ändert sich die Beleuchtung in einem Punkt B des Schirms, der auf der Achse des Lichtbündels liegt, wenn die Öffnung der Blende auf  $d_2 = 5,2 \text{ mm}$  vergrößert wird?
11. Ein schmales Bündel Röntgenstrahlen fällt unter einem Glanzwinkel von  $60^\circ$  auf die Kristallfläche eines NaCl-Monokristalls, dessen Dichte  $2,16 \text{ g/cm}^3$  beträgt. Bei Spiegelreflexion an dieser Fläche bildet sich ein Maximum zweiter Ordnung.  
Es ist die Wellenlänge der Strahlung zu bestimmen.
12. Von einer Glühlampe  $5 \text{ m}$  entfernt steckt eine Nadel so, daß die Lichtstrahlen senkrecht auf die Nadelfläche fallen (Lampe  $U = 4,5 \text{ V}$ ,  $I = 0,2 \text{ A}$ ; Nadelfläche  $A = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$ ). Die Glühlampe sendet monochromatisches Licht der Wellenlänge  $\lambda = 600 \text{ nm}$  aus.  
Es ist die Anzahl der Photonen zu bestimmen, die bei dieser Strahlung auf die Nadelfläche treffen, wenn vorausgesetzt wird, daß 3 % der elektrischen Energie in Lichtenergie umgewandelt werden.

## 2.23. Linsenkombinationen und optische Instrumente

1. Beim normalsichtigen Auge beträgt der Abstand zwischen der Netzhaut und der Augenlinse  $2,25 \text{ cm}$ . Wie groß ist die Brennweite der Linse, wenn ein Fernsehbild, das aus  $3 \text{ m}$  Entfernung betrachtet wird, scharf gesehen wird?
2. Ein Schüler trägt eine Brille mit zwei verschiedenen Sammellinsen. Mit der rechten Linse erhält er auf einer  $50 \text{ cm}$  entfernten Wand das scharfe Bild eines Fensterkreuzes. Damit er mit der linken Linse ebenfalls das Fensterkreuz scharf abbil-

den kann, muß er die Brille 15 cm näher an die Wand heranbringen. Welche Brennweite hat das linke Brillenglas, wenn die Brechkraft des rechten Glases 2 Dptr. beträgt?

3. Eine kurzsichtige Person kann ihre Augen auf folgende Punkte akkomodieren:  $l_1 = 12 \text{ cm}$ ,  $l_2 = 60 \text{ cm}$ .

Um ferne Gegenstände deutlich zu erkennen, benutzt sie eine Brille. Es ist der minimale Abstand  $l_3$  zu bestimmen, bei der mit der Brille ein Buch gelesen werden kann!

4. Ein Schüler mit kurzsichtigen Augen kann eine kleine Schrift im Abstand von nicht mehr als 20 cm vor den Augen deutlich lesen. Welche Brechkraft müssen Brillengläser haben, die die Kurzsichtigkeit beseitigen?

5. In einem Park ist eine blanke Kugel aus Aluminium mit einem Durchmesser von 32 cm aufgestellt. Aus welchem maximalen Abstand wird ein kurzsichtiger Mensch ohne seine Brille entfernte Gegenstände sehen, die sich auf der Kugeloberfläche spiegeln, wenn er normalerweise Brillengläser mit einer Brechkraft von - 5 Dptr. benutzt?

6. Worauf ist es zurückzuführen, daß bei einer Abbildung mit Hilfe einer Sammellinse großen Durchmessers nur jeweils der Rand oder die Mitte des Bildes scharf wird?

7. Durch welches Mittel kann die chromatische Aberration vermindert werden?

8. Das Objektiv des Fotoapparates "Moskwa 5" hat eine Brennweite von 10,5 cm. In welchem Abstand vom Objektiv muß sich der Gegenstand befinden, damit ein Bild von ihm  $1/6$  seiner wirklichen Größe hat?

9. Die Kamera eines Vermessungsflugzeuges hat eine Brennweite von 20 cm. Ein Bild, das auf das 10fache des Negativs vergrößert wurde, zeigt Eisenbahnschienen in einer Länge von 70 cm. Wie groß ist die wahre Länge der aufgenommenen Eisenbahnstrecke, wenn das Negativ aus einer Höhe von 3 000 m aufgenommen wurde?

10. Auf der Mattscheibe einer Ausziehkamera erhält man in einem Abstand des Gegenstandes von 30 m vom Objektiv ein Bild mit der Größe  $y' = 30 \text{ mm}$ . Befindet sich derselbe Gegenstand 9 m vom

vom Objektiv, so hat das Bild eine Größe  $y' = 51 \text{ mm}$ .

Wie groß ist die Brennweite des Objektivs?

11. In der Brennpunktebene eines Fotoobjektivs wird eine Mattglasscheibe aufgestellt. Auf ihr können noch Einzelheiten im Abstand von  $d = 0,2 \text{ mm}$  aufgelöst werden, wenn der zugehörige Gegenstand  $5 \text{ m}$  entfernt steht.

Die Brennweite des Objektivs beträgt  $f = 10 \text{ cm}$ .

Wie groß ist die Lichtstärke des Objektivs?

Anmerkung: Die Lichtstärke eines Objektivs ist das Quadrat des Quotienten aus Durchmesser und Brennweite des Objektivs  $\left(\frac{d}{f}\right)^2$ .

12. Es ist der Kondensor eines Projektionsapparates zu berechnen ( $D, f$ ), wenn die Lichtquelle einen Durchmesser von  $6 \text{ mm}$  hat und der Objektivdurchmesser  $D_o = 2 \text{ cm}$  beträgt, Der Abstand zwischen der Lichtquelle und dem Objektiv beträgt  $l = 40 \text{ cm}$ .

Das Diapositiv hat eine Größe von  $6 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$ .

13. In welchem Abstand vom Objektiv mit einer Brennweite von  $f = 12,5 \text{ cm}$  muß das Diapositiv  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$  eingeordnet werden, damit auf dem Schirm ein Bild von der Größe  $30 \text{ cm} \times 120 \text{ cm}$  erhalten wird?

14. Auf dem Objektiv des Mikroskops steht das Kennzeichen  $40 \times$  und auf dem Okular -  $10 \times$ .

Welche Vergrößerung liefert das Mikroskop mit diesem Okular und diesem Objektiv?

Welches Okular muß man nehmen, damit man bei demselben Objektiv eine Vergrößerung von  $600 \times$  erhält?

15. Die stärksten Mikroskope haben ein Objektiv mit der Brennweite von  $1,25 \text{ mm}$ .

Berechnen Sie die Vergrößerung des Mikroskops, wenn die Länge seines Tubus  $16 \text{ cm}$  und die Brennweite des Okulars  $1,0 \text{ cm}$  beträgt.

16. Die Beleuchtungsstärke einer punktförmigen Lichtquelle ist  $I = 100 \text{ cd}$ .

Wie groß sind der Lichtstrom, der von dieser Quelle ausgesandt wird und die Beleuchtungsstärke  $E$  an der Oberfläche  $S$ , die sich senkrecht zu der Richtung der Strahlen im Abstand  $R = 10 \text{ m}$  befindet?

17. Das Objektiv eines Fernrohrs hat eine Brennweite  $F_1 = 30 \text{ cm}$  und das Okular eine Brennweite  $F_2 = 4 \text{ cm}$ . Das Rohr ist ins Unendliche gerichtet.  
An welcher Stelle muß man die Blende aufstellen, damit das Sehfeld scharf beschränkt wird?  
Wie groß ist der Sehwinkel, wenn der Durchmesser der Blende  $12 \text{ mm}$  ist?  
Wie ist die Winkelvergrößerung des Rohres?  
Anmerkung: Mit der Winkelerweiterung (Winkelvergrößerung) bezeichnet man das Verhältnis der Tangens der Winkel, die das ein- und austretende Strahlenbündel mit der optischen Achse bilden.
18. Das Objektiv des Fernrohrs hat eine Brennweite von  $F_1 = 25 \text{ cm}$  und einen Durchmesser von  $5 \text{ cm}$ , und das Okular hat eine Brennweite von  $F_2 = 5 \text{ cm}$ . Das Rohr ist ins Unendliche gerichtet. Wenn man hinter dem Okular ein Milchglas anbringt, so hat bei einem gewissen Abstand der Kreis auf dem Milchglas minimalen Durchmesser und scharf begrenzte Ränder. Wie ist dabei der Abstand vom Milchglas bis zum Okular und zu dem Durchmesser des Kreises?
19. Ein Fernrohr hat eine Brennweite des Objektivs  $F_1 = 50 \text{ cm}$  und eine Brennweite des Okulars  $F_2 = 10 \text{ cm}$ .  
Wie groß ist der Winkel, unter dem zwei entfernte Gegenstände durch das Rohr zu sehen sind, wenn bei der Beobachtung mit bloßem Auge dieser Winkel gleich  $30^\circ$  ist?  
Das Rohr ist ins Unendliche gerichtet.
20. Eine Sammellinse und ein sphärischer Hohlspiegel werden in einem Abstand von  $34 \text{ cm}$  voneinander aufgestellt. Ein  $1 \text{ cm}$  großer Gegenstand befindet sich in einem Abstand von  $32 \text{ cm}$  vor der Linse. Es sind die Größe und die Lage des Bildes zu bestimmen. Die Brennweite der Linse beträgt  $16 \text{ cm}$  und die Brennweite des Spiegels  $20,9 \text{ cm}$ .
21. Es ist die Brechungszahl einer bikonvexen Linse mit dem Krümmungsradius  $R_1 = R_2 = 10 \text{ cm}$  zu bestimmen. Es ist bekannt, daß bei einem Abstand von  $l = 90 \text{ cm}$  zwischen Gegenstand und Schirm der Abstand zwischen Linse und Schirm für ein scharfes Bild auf dem Schirm  $d = 73 \text{ cm}$  beträgt.

22. Auf eine Zerstreuungslinse mit einer Brennweite von 20 cm fällt ein Bündel Sonnenlicht. In einem Abstand von 40 cm wird hinter der Zerstreuungslinse eine Sammellinse mit einer Brennweite von 30 cm aufgestellt. In welchem Abstand von der Sammellinse muß ein Schirm aufgestellt werden, wenn man auf ihm ein scharfes Bild der Sonne erhalten will?
23. Ein optisches System besteht aus zwei schmalen Sammellinsen, die eine gemeinsame optische Achse haben. Die Brennweite der ersten Linse beträgt  $f_1 = 10$  cm. Die Linsen sind in einem Abstand  $d = 48$  cm angeordnet. In einem Abstand von  $A = 15$  cm vor der ersten Linse wird ein Gegenstand angeordnet. Wie groß ist die Brennweite der zweiten Sammellinse, wenn das Bild, das durch dieses Linsensystem abgebildet wird, genauso groß ist wie der Gegenstand? Handelt es sich bei dem Bild um eine reelles oder um ein virtuelles Bild?
24. Gegeben sind drei Linsen mit den Brennweiten  $f_1 = 12,5$  cm,  $f_2 = 50$  cm und  $f_3 = -100$  cm. Die Linsendicke kann vernachlässigt werden. Wie muß man die drei Linsen anordnen, um ein Fernrohr mit maximaler Vergrößerung zu erhalten? Wie groß ist die Vergrößerung des Fernrohrs?

## 2.24. Atomphysik

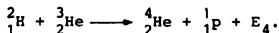
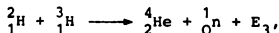
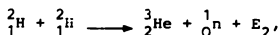
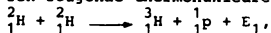
- Der Radius des niedrigsten Energieniveaus im Bohrschen Atommodell ist  $0,53 \text{ \AA}$ . Berechnen Sie:
  - die Bahngeschwindigkeit eines Elektrons, das sich auf diesem Niveau bewegt,
  - wievielfach so groß diese Geschwindigkeit im Vergleich zur ersten kosmischen Geschwindigkeit ist,
  - wievielfach so groß die Umlauffrequenz dieses Elektrons im Vergleich zu der des Rotors einer Turbine mit der Drehzahl  $12000/\text{min}$  ist!
- Beschießt man das Isotop  $^{35}_{17}\text{Cl}$  mit Neutronen, so geht es in radioaktiven Schwefel  $^{35}_{16}\text{S}$  über. Dieser ist instabil und hat eine Halbwertszeit von 87 Tagen, wobei eine Energie von 168 keV frei wird.
  - Geben Sie die Reaktionsgleichung für diese Umwandlungen an!

- b) Berechnen Sie die Reaktionsenergie bei der Entstehung von radioaktivem Schwefel. Ist der Prozeß exotherm oder endotherm?
- c) Berechnen Sie die Zahl der für die erste Reaktion notwendigen Neutronen, damit bei der Entstehung des radioaktiven Schwefels eine Wärmemenge von 10 J in einer Sekunde auftritt, unter der Voraussetzung, daß 75 % der Neutronen ihr Ziel treffen!

Gegeben sind: die Massenzahlen

$$m_p = 1,00795; m_n = 1,00898; m_{Cl} = 34,98007; m_S = 34,98002.$$

3. Mit schwerem Wasserstoff, der in schwerem Wasser auftritt, laufen folgende thermonukleare Reaktionen ab:



Berechnen Sie:

- a) die Energien in Elektronenvolt, die in diesen vier Reaktionen frei werden. Die Massenzahlen sind für

$${}_1^2\text{H} \dots 2,01474, {}_1^3\text{H} \dots 3,01700, {}_2^3\text{He} \dots 3,01697,$$

$${}_2^4\text{He} \dots 4,00387.$$

- b) Wieviel Liter Benzin liefern so viel Energie, wie ein Liter Wasser, mit dessen schwerem Wasserstoff die vier Reaktionen verwirklicht werden, wenn
- unter 6 000 gewöhnlichen Wassermolekülen eines von schwerem Wasser auftritt,
  - die vier erwähnten Reaktionen mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten,
  - der Heizwert von Benzin  $46 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$ , die Dichte  $800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  beträgt und wenn außerdem gilt  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ?
- c) Aus wieviel Uran 235 wird die gleiche Energie frei wie aus dem Wasserstoff von einem Liter Wasser bei dem Kernprozeß?
- Bei der Spaltung eines Atoms  ${}_{92}^{235}\text{U}$  wird eine Energie von 200 MeV frei.

d) In welcher Zeit wird beim Zerfall einer Tonne Radium diese Energie frei?

1 g Radium gibt beim radioaktiven Zerfall  $580 \frac{\text{J}}{\text{h}}$  frei.

4. Die künstlichen radioaktiven Kerne  $^{32}\text{P}$  und  $^{131}\text{J}$  haben die Halbwertszeiten  $T_{\text{P}} = 14 \text{ d}$  und  $T_{\text{J}} = 7 \text{ d}$ .

Unter der Voraussetzung, daß zu Beginn die Zahl der radioaktiven Jodkerne doppelt so groß ist wie die der Phosphorkerne, bestimme man die Zeit, nach der das Verhältnis der noch nicht zerfallenden Kerne gerade umgekehrt ist.

5. Ein  $\gamma$ -Quant der Wellenlänge  $\lambda = 10^{-11} \text{ m}$  stößt mit einem Elektron zusammen ( $m = 9.10^{-31} \text{ kg}$ ). Das  $\gamma$ -Quant wird um  $90^\circ$  aus seiner Richtung abgelenkt.

Es ist der dem Elektron beim Zusammenstoß zugeführte Energiebetrag zu bestimmen.

6. Eine radioaktive Substanz der Aktivität 0,2 Ci strahlt  $\alpha$ -Strahlen der Energie 5 MeV aus. Die Substanz wird in einem Kalorimeter mit der Wärmekapazität von  $16,5 \text{ J.K}^{-1}$  untergebracht. Wie groß ist die Temperaturänderung des Wassers im Kalorimeter in einer Zeit von zehn Stunden?

## 2.25. Experimentelle Aufgaben aus verschiedenen Gebieten der Physik

1. Es ist die Ionengeschwindigkeit von  $\text{MnO}_4^-$ -Ionen zu bestimmen!
2. Wie groß ist die Luftgeschwindigkeit, die zum Ausblasen einer Kerze erforderlich ist?
3. Es ist der durchschnittliche Durchmesser der Kapillaren von Löschpapier zu bestimmen!
4. Es ist die Schallgeschwindigkeit in einem unbekannten Gas zu bestimmen. Vorhanden ist eine Stimmgabel mit bekannter Frequenz. Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist bekannt. Sie beträgt  $v_{\text{L}} = 343 \text{ ms}^{-1}$ .
5. Es sind zwei unabhängige Meßverfahren zu beschreiben, mit denen das Plancksche Wirkungsquantum bestimmt werden kann!
6. Welche Volumenänderung erfährt NaCl, wenn es in Wasser gelöst wird?

7. Wie groß ist die Fallgeschwindigkeit eines rechteckigen Stückes Papier? Ihre Abhängigkeit von den Abmessungen ist zu ermitteln.
8. Es ist der elektrische Widerstand mit Hilfe der Substitutionsmethode zu bestimmen!
9. Es ist die Brennweite dünner Linsen experimentell zu bestimmen!
10. Es ist die Kennlinie einer Zenerdiode aufzunehmen! Der dynamische Widerstand der Diode ist zu ermitteln!
11. Es ist das Trägheitsmoment eines Zylinders dadurch zu bestimmen, daß man diesen mit Hilfe eines auf ihn aufgewickelten Fadens und zweier Massen  $m_1$  und  $m_2$  nacheinander in Drehung versetzt.
12. Es ist die Ausflußgeschwindigkeit von Wasser aus einer Öffnung eines Standzylinders zu bestimmen!
13. Es ist die Dichtebestimmung für eine Flüssigkeit mit einem Pyknometer vorzunehmen!
14. Es ist der Reibungskoeffizient für eine Kombination zwischen einer festen und einer losen Rolle zu ermitteln!
15. Die spezifische Wärme eines Festkörpers ist experimentell zu bestimmen!
16. Es ist ein Rundkolben mit heißem Wasser zu füllen (etwa 1 l). Die Abhängigkeit der Wassertemperatur von der Zeit  $t$  der Abkühlung ist zu ermitteln. Bei vorgegebener Umgebungstemperatur ändert sich die Temperatur nach dem Gesetz

$$T(t) = \alpha \cdot 2^{-t/\tau} + T_0$$

$T_0$  ... Umgebungstemperatur       $\alpha \tau$  ... Konstante

Die Werte für  $\alpha$  und  $\tau$  sind zu bestimmen. Man wiederhole das Experiment mit einem engen zylindrischen Gefäß. Welche physikalische Bedeutung haben  $\alpha$  und  $\tau$ ? Man begründe, wie man die größte Genauigkeit (geringe Meßunsicherheit) für  $\alpha$  und  $\tau$  erreichen kann!

17. Es ist mit Hilfe der rollenden Bewegung eines Hohlzylinders auf einer geneigten Ebene die Erdbeschleunigung zu ermitteln!

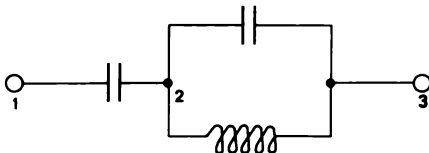
Das gleiche ist mit einer rollenden Kugel zu wiederholen!

18. Es stehen zur Verfügung:

- Spannungsmesser für Wechselstrom
- Stromstärkenmesser für Wechselstrom
- Widerstände und Kondensatoren bekannter Kenndaten
- Batterie mit bekannter EMK
- Netztransformator ( $U < 30 \text{ V}$ ).

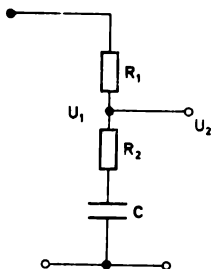
Es ist eine Versuchsanordnung zu entwickeln, mit der die Frequenz des Wechselstromes bestimmt werden kann. Die Frequenz der Netzwechselspannung ist mit möglichst großer Genauigkeit zu bestimmen.

19. Es sind die Parameter des angegebenen Stromkreises zu ermitteln.

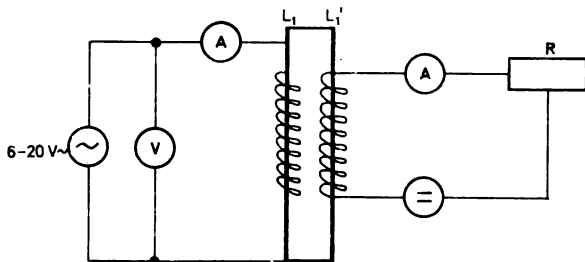


20. Für den angegebenen frequenzabhängigen Spannungsteiler sind zu bestimmen:

- das Verhältnis  $\beta = U_2/U_1$  für  $R_1 = 80 \Omega$  ;  $R_2 = 20 \Omega$
- die Kapazität  $C$  , für die bei einer Frequenz von  $400 \text{ Hz}$  das Verhältnis  $\beta$  den Wert  $1/2$  hat,
- die Größe  $\beta$  als Funktion der Frequenz  $f$  ist grafisch auf halblogarithmischem Papier darzustellen (Frequenzwerte  $10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000 \text{ Hz}$ ).



21. Es ist die Induktivität einer Spule in Abhängigkeit von der Magnetisierung des Eisenkerns zu bestimmen.  
Dafür ist folgende Schaltung aufzubauen:



- a) Es ist mit einer beliebigen Methode der Widerstand  $R_1$  der Spule  $L_1$  zu bestimmen.  
b) Es ist die Gleichung

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_{eff}}{I_{eff}}\right)^2 - R_C^2}}{\omega} \quad (1)$$

herzuleiten.

- c) Es ist durch Verändern des Widerstandes  $R$  die Stromstärke  $I_0$  von Null auf 1 A in Abständen von 0,05 A zu verändern und die Induktivität  $L$  zu bestimmen (Gl. 1).

d) Es ist die Funktion  $L = f(I_0)$  darzustellen.

e) Fehlerrechnung und Diskussion des Ergebnisses sind durchzuführen.

22. Bei einer Halbleiterdiode hängt die Stromstärke von der angelegten Spannung bei der absoluten Temperatur nach folgendem Gesetz ab:

$$I(U, T) = I_0(T) \cdot (10^{aU/T} - 1)$$

a ... Konstante

Es ist durch Aufnahme der Kennlinie einer Germaniumdiode bei Zimmertemperatur und in flüssigem Stickstoff die Siedetemperatur des Stickstoffs zu bestimmen.

Hinweis: Wird die Stromstärke  $I = 0,1 \text{ mA}$ , so kann der Summand 1 auf der rechten Seite der Gleichung vernachlässigt werden, sofern die Diode DZG-7 benutzt wird.