PHYSIK

Ergänzungen für Klassen 9 und 10

Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung

PHYSIK

Ergänzungen für Klassen 9 und 10

Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung

Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1988

Autor
Dr. Christian Hache

An der Auswahl der Aufgaben, der Ausarbeitung von Lösungen und der Erprobung dieses Materials waren Physiklehrer aller Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung beteiligt.

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Schulbuch bestätigt.

ISBN 3-06-020923-5

1. Auflage
© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1988
Lizenz Nr. 203·1000/88 (E 02 09 23-1)
Zeichnungen: Heinz Grothmann
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Einband: Manfred Behrendt
Redaktionsschluß: 20. November 1987
LSV 0681
Bestell-Nr. 731 384 8
Schulpreis DDR: 3,80

Inhalt

1. Elektrizitätslehre 5

1.1. Gleichstromkreis 5
1.2. Elektro- und Magnetostatik 11
1.3. Elektromagnetische Induktion 17
1.4. Elektrische Leitungsvorgänge 21

2. Mechanik 27

2.1. Kinematik 27
2.2. Dynamik 32
2.3. Statik 39
2.4. Arbeit, Energie, Leistung 42
2.5. Kraftstoß und Impuls 49
2.6. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase 55

3. Praktikum 59

3.1. Einführung 59
3.2. Praktikumsexperimente 62

4. Schwingungen und Wellen 76

4.1. Mechanische Schwingungen und Wellen 76

Anhang 81

Lösungen ausgewählter Aufgaben 81
Tabellen 84

1. ELEKTRIZITÄTSLEHRE

1.1. Gleichstromkreis

Grundlagen

Ohmsches Gesetz:

Für den Fall konstanter Temperatur sind bei metallischen und verschiedenen anderen Leitern Spannung U und Stromstärke I einander proportional.

$$U \sim I \qquad\qquad U = R \cdot I$$

Temperaturabhängigkeit des ohmschen Widerstandes R:
Für kleine Temperaturdifferenzen gilt die lineare Näherung:

$$R_\vartheta = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$$

(R_ϑ: Widerstand bei der Temperatur ϑ, R_0: Widerstand bei Anfangstemperatur, z. B. 20 °C, $\Delta\vartheta = \vartheta - 20$ °C, α : Temperaturkoeffizient $[\alpha] = \frac{1}{K}$).

Kirchhoffsche Gesetze:

Knotensatz: In Knotenpunkten eines elektrischen Netzwerkes ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden.
Maschensatz: In Maschen eines elektrischen Netzwerkes ist die Summe aller Urspannungen (unter Beachtung des Vorzeichens) gleich der Summe aller Spannungsabfälle an den Widerständen.

Spannungsteilerregel für die Reihenschaltung mehrerer Widerstände: Die Spannungsabfälle stehen im selben Verhältnis wie die zugehörigen Widerstände.
An der Reihenschaltung zweier Widerstände gilt deshalb:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{und} \quad \frac{U_1}{U_g} = \frac{R_1}{R_g}.$$

Stromteilerregel für die Parallelschaltung mehrerer Widerstände: Die Produkte aus Stromstärke und Widerstand an den einzelnen Widerständen sind gleich groß.
An der Parallelschaltung zweier Widerstände gilt deshalb:

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 \quad \text{und} \quad I_1 \cdot R_1 = I_g \cdot R_g.$$

Als Ersatz- oder Gesamtwiderstand bei Reihenschaltung von insgesamt n Widerständen ergibt sich:

$$R_g = R_1 + R_2 + \ldots + R_n.$$

Als Ersatz- oder Gesamtwiderstand bei Parallelschaltung von n Widerständen ergibt sich:

$$\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}.$$

Mit der Größe Leitwert $G = \frac{1}{R}$, $[G] = \mathrm{S}$ (Siemens), kann bei Parallelschaltung auch geschrieben werden:

$$G_g = G_1 + G_2 + \ldots + G_n.$$

Am Widerstand R wird die Leistung $P = U \cdot I$ umgesetzt. Mit dem ohmschen Gesetz erhält man daraus:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{oder} \quad P = I^2 \cdot R.$$

An einer Spannungsquelle (linearer aktiver Zweipol) ist die Klemmenspannung abhängig von der Stromstärke. Es gilt:

$$U = U_o - I \cdot R_i.$$

U_o, die Leerlauf- bzw. Urspannung, und R_i, der Innenwiderstand, charakterisieren das elektrische Verhalten der Spannungsquelle.

Ein Grundstromkreis entsteht, wenn an die Klemmen der Spannungsquelle ein ohmscher Widerstand angeschlossen wird. An diesem Widerstand R_a gilt: $U = R_a \cdot I$ und für den Kreis:

$$I = \frac{U_o}{R_i + R_a}.$$

Die Leistung am äußeren Widerstand R_a ist:

$$P_a = U_o^2 \cdot \frac{R_a}{(R_i + R_a)^2}.$$

Beispiel

Ein 50 m entfernter Verbraucher soll mit Elektroenergie versorgt werden. Über die Zuleitung muß dazu ein Strom von 10 A fließen. Welchen Querschnitt muß die Doppelleitung aus Kupfer haben, damit der Spannungsabfall an der Leitung 5,0 V nicht übersteigt?

Lösung:

Gegeben: $U = 5{,}0\ \mathrm{V}$ — Gesucht: A

$I = 10\ \mathrm{A}$

$l = 100\ \mathrm{m}$

$\varrho_{Cu} = 0{,}016\ \Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$

Es gelten hier folgende Gesetze:

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{und} \quad R = \varrho \cdot \frac{l}{A}.$$

Daraus ergibt sich die allgemeine Lösung:

$$A = \frac{\varrho \cdot l \cdot I}{U}.$$

Setzt man die gegebenen Größen ein, so entsteht

$$A = \frac{0{,}016\ \Omega\ \mathrm{mm}^2 \cdot 100\ \mathrm{m} \cdot 10\ \mathrm{A}}{5{,}0\ \mathrm{V} \cdot \mathrm{m}}$$

$$\underline{\underline{A = 3{,}2\ \mathrm{mm}^2}}$$

Ergebnis: Damit der Spannungsabfall an der Zuleitung 5,0 V nicht übersteigt, ist mindestens ein Leitungsquerschnitt von 3,2 mm^2 notwendig.

Aufgaben

1.1.1. Ein aus Kupferdraht bestehender ohmscher Widerstand besitzt bei 20 °C einen Widerstand von 120 Ω. Welchen Wert nimmt sein Widerstand bei 70 °C an? Begründen Sie, warum die Zunahme des Widerstands nicht an der temperaturbedingten Vergrößerung der geometrischen Abmessungen liegt.
($\alpha_{Cu} = 0{,}0039\ \mathrm{K}^{-1}$)

1.1.2. An eine Spannungsquelle mit der Urspannung $U_0 = 10{,}0\ \mathrm{V}$ und dem Innenwiderstand $R_i = 0{,}50\ \Omega$ wird bei 20 °C eine Reihenschaltung aus einem Konstantendraht mit $R_K = 100\ \Omega$ und einem

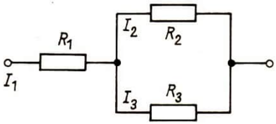
Kupferdraht mit R_{Cu} = 120 Ω angeschlossen. Man bestimme die Spannungsabfälle an den beiden Widerstandsdrähten bei einer Temperatur von 20 °C und bei 100 °C.

($\alpha_K = -0{,}000\,005\ K^{-1}$, $\alpha_{Cu} = 0{,}0039\ K^{-1}$)

1.1.3. An der folgenden Schaltung aus den drei Widerständen $R_1 = R_2 = 50\ \Omega$ und $R_3 = 100\ \Omega$ tritt die Gesamtspannung $U_g = 5{,}0$ V auf. Ermitteln Sie:

a) den Spannungsabfall an R_1 und

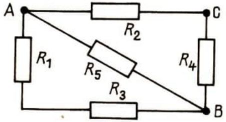
b) die Ströme I_1, I_2 und I_3 durch die drei Widerstände.



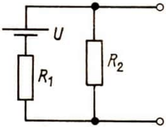
1.1.4. Wie groß ist der Gesamtwiderstand der folgenden Schaltung aus 5 Widerständen $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 50\ \Omega$, $R_5 = 100\ \Omega$

a) zwischen den Punkten A und B,

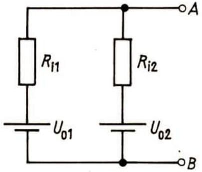
b) zwischen den Punkten B und C?



1.1.5. Zu der vorliegenden Schaltung soll eine Ersatzspannungsquelle berechnet werden. In der Schaltung ist U = 1,5 V, $R_1 = 50\ \Omega$ und $R_2 = 100\ \Omega$.



1.1.6. Man ermittle für die angegebene Parallelschaltung zweier realer Spannungsquellen zunächst Leerlaufspannung und Innenwiderstand einer Ersatzspannungsquelle. Weiterhin ermittle man die Spannung zwischen den Klemmen A und B, wenn ein Widerstand $R_a = 5,0\,\Omega$ angeschlossen wird.
Es sei:
$U_{o1} = 2,0$ V, $U_{o2} = 4,0$ V, $R_{i1} = 1,0\,\Omega$ und $R_{i2} = 0,5\,\Omega$.



1.1.7. An eine Spannungsquelle mit der Urspannung 12 V und mit dem inneren Widerstand $5,0\,\Omega$ wird ein in den Grenzen $0\,\Omega \leqq R_a \leqq 25\,\Omega$ stufenlos veränderbares ohmsches Bauelement angeschlossen. Formulieren Sie die funktionalen Abhängigkeiten der Klemmenspannung, des Klemmenstromes und der äußeren Leistung jeweils vom Widerstand R_a. Skizzieren Sie die Graphen der drei Funktionen: $U(R_a)$, $I(R_a)$ und $P_a(R_a)$.

1.1.8. An die Klemmen einer Spannungsquelle mit der Urspannung 4,5 V und dem Innenwiderstand $1,0\,\Omega$ werden Anfang und Ende eines Potentiometers angeschlossen. Die lineare Widerstandsbahn des Potentiometers besitzt den Gesamtwiderstand $R_{AE} = 1,0\,\mathrm{k}\Omega$. Der Schleifer S des Potentiometers wird genau auf die Mitte der Widerstandsbahn eingestellt.

a) Ermitteln Sie die Spannung zwischen Anfang und Schleifer des Potentiometers, wenn nur ein Spannungsmesser mit dem Innenwiderstand $R_{iV} = 200\,\mathrm{k}\Omega$ angeschlossen wird!
b) Welche Spannung zeigt der Spannungsmesser, wenn das Potentiometer mit einem ohmschen Bauelement von $100\,\Omega$ belastet wird?

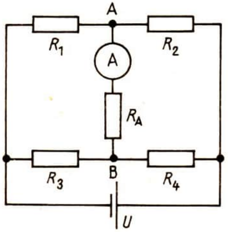
1.1.9. Das Meßwerk eines Strommessers hat einen Innenwiderstand von $200\,\Omega$ und einen Endausschlag bei 0,01 A. Um den Meßbereich auf 0,1 A zu erweitern, muß durch eine Stromaufteilung dafür gesorgt werden, daß durch das Meßwerk bei Endausschlag nur der höchstzulässige Strom von 0,01 A fließt und der darüber hinausgehende am Meßwerk vorbeigeleitet wird. Das geschieht durch einen parallelgeschalteten Widerstand (Shunt).

a) Skizzieren Sie die Schaltung!
b) Welchen Wert muß der Shunt haben und für welche Leistung muß er ausgelegt werden?
c) Wieviel Meter eines 1,0 mm dicken Konstantandrahtes werden zur Anfertigung des Shunt benötigt?

1.1.10. Welche Stromstärke zeigt der Strommesser im Falle der "verstimmten Wheatstone-Brücke" entsprechend der Skizze? Bestimmen Sie die Stromstärke rechnerisch oder experimentell!

Hinweis: Nutzen Sie das Verfahren "Zweipoltheorie". Zerlegen Sie hierzu die Schaltung in den Teil passiver Zweipol (Innenwiderstand R_A des Strommessers) und aktiver Zweipol (Spannungsquelle und R_1 bis R_4).

$R_1 = R_2 = R_3 = 50\ \Omega$
$R_4 = 100\ \Omega$, $U = 3{,}0$ V
$R_A = 2{,}0\ \Omega$



1.2. Elektro- und Magnetostatik

Grundlagen

Elektrische Ladung:
Symbole: Q, q; Einheit: $[Q] = C$ $\quad 1\ C = 1\ A \cdot s$

Elementarladung:

$$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19} C$$

Jede Ladung ist ein ganzzahliges Vielfaches n der Elementarladung: $Q = n \cdot e$.
Für einen konstanten Strom I gilt: $Q = I \cdot t$.
Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße in einem abgeschlossenen System.

Kraft zwischen zwei Punktladungen Q_1 und Q_2 im Abstand r (Coulombkraft):

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot r^2}$$

Im Vakuum gilt:

$$\varepsilon = \varepsilon_o = 8{,}86 \cdot 10^{-12} \frac{A \cdot s}{V \cdot m}$$

ε: elektrische Feldkonstante

Elektrische Feldstärke:

Definition der elektrischen Feldstärke: $E = \frac{F}{q}$. Durch das Feld wird an diesem Ort auf die Probeladung q die Kraft F ausgeübt.
Einheit der Feldstärke: $[E] = \frac{N}{A \cdot s}$ und $1 \frac{N}{A \cdot s} = 1 \frac{V}{m}$.
Feldstärke einer Punktladung Q im Abstand r: $E = \frac{Q}{4 \pi \cdot \varepsilon \cdot r^2}$.

Kondensatoren:

Die von einem Kondensator aufgenommene Ladung Q ist proportional der angelegten Spannung U.
Es gilt: $Q = C \cdot U$,
wobei C als Kapazität des Kondensators definiert ist.

Einheit der Kapazität: $[C] = \frac{A \cdot s}{V}$ und $1 \frac{A \cdot s}{V} = 1$ F.

Die vom Kondensator gespeicherte Energie ist:

$$E = \frac{1}{2} Q \cdot U \quad \text{und} \quad E = \frac{1}{2} C \cdot U^2.$$

Plattenkondensator:

Für die Kapazität gilt:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}; \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r.$$

(ε_r: relative Dielektrizitätskonstante, A: Plattenfläche, d: Plattenabstand).

Die Feldstärke des homogenen Feldes zwischen den Platten ergibt sich aus $E = \frac{U}{d}$.

Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren erhält man für die Gesamtkapazität C:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n};$$

Magnetische Flußdichte (Induktion des Magnetfeldes):

Definition der magnetischen Flußdichte: $B = \frac{F}{I \cdot l}$, Einheit:

$$[B] = \frac{N}{A \cdot m} \qquad 1 \frac{N}{A \cdot m} = \frac{V \cdot s}{m^2} = 1 \text{ T}$$

Auf einen Leiter der Länge l, der von einem Strom mit der Stromstärke I durchflossen wird, wirkt in einem homogenen Magnetfeld der Flußdichte B, wenn die Ladungsträger senkrecht zu den Feldlinien des magnetischen Feldes fließen, die zu diesen beiden Richtungen jeweils senkrecht wirkende Kraft:

$$F = I \cdot l \cdot B.$$

Lorentzkraft:

Auf eine Ladung q, die sich senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfeldes mit der Geschwindigkeit v im Magnetfeld bewegt, wirkt jeweils senkrecht die Kraft mit dem Betrag

$$F_L = q \cdot v \cdot B.$$

Magnetfeld einer geraden langen Spule:

Für die magnetische Flußdichte einer langen Spule ($l > 5\ d$) gilt
$B = \mu_o \cdot \mu_r \cdot \frac{I \cdot N}{l}$ ($\mu_o = 1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{V \cdot s}{A \cdot m}$,
μ_r: relative Permeabilität, N: Windungszahl, l: Spulenlänge,
d: Spulendurchmesser, μ_o: magnetische Feldkonstante).
Der Term $\frac{I \cdot N}{l}$ wird als magnetische Feldstärke H einer Spule bezeichnet.
Damit gilt: $B = \mu \cdot H$ mit $\mu = \mu_o \cdot \mu_r$.

Beispiel

Wieviel Elektronen fließen in einer Sekunde durch einen 10 m langen Kupferdraht, dessen Querschnittsfläche 1 mm^2 beträgt, wenn an die Enden eine Spannung von 10 V angelegt wird?
Lösung:

Gegeben:
$U = 10\ V$
$t = 1\ s$
$A = 1\ mm^2$
$l = 10\ m$
$\varrho_{Cu} = 1{,}6 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$
$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ A \cdot s$

Gesucht: n (Anzahl der Elektronen)

Bei konstanter Spannung fließt durch den Kupferdraht ein konstanter Strom. In der Zeit t fließt durch den Leiter die Ladung
$Q = I \cdot t$ (1).
Die Ladung Q ist ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung
$Q = n \cdot e$ (2).
Aus (1) und (2) erhält man

$$n = \frac{I \cdot t}{e} \quad (3)$$

Für den Kupferdraht gelten das ohmsche Gesetz
$U = R \cdot I$ (4) und das Widerstandsgesetz
$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$ (5).
Aus (4) und (5) folgt

$$I = \frac{U \cdot A}{\varrho \cdot l} \quad (6).$$

Nach Einsetzen von (6) in (3) ergibt sich:

$$n = \frac{U \cdot t \cdot A}{\varrho \cdot l \cdot e}.$$

Mit den gegebenen Werten erhält man

$$n = \frac{10\ V \cdot 1\ s \cdot 10^{-6}\ m^2}{1,6 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m \cdot 10\ m \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}\ A \cdot s}$$

$$n = 3,9 \cdot 10^{20}$$

Ergebnis: Durch den Kupferdraht fließen in einer Sekunde $3,9 \cdot 10^{20}$ Elektronen.

Aufgaben

1.2.1. Wir betrachten ein H-Atom als System von zwei Punktladungen in einem Abstand von $r = 10^{-10}$ m.

a) Mit welcher Kraft ziehen sich Proton und Elektron an?

b) Wie groß ist die Feldstärke des Protons im Bereich des Elektrons?

1.2.2. Welche Ladung tragen zwei an horizontalen Federn befestigte Punktmassen, wenn die Federn bei einem Abstand der Ladungen von 1 mm um 10 cm zusammengedrückt werden? Die Federkonstante beträgt $k = 1\ N \cdot m^{-1}$.

1.2.3. Um welchen Faktor ändert sich die Coulombkraft zwischen zwei Punktladungen, wenn der Wert jeder Ladung vervierfacht und der Abstand halbiert wird?

1.2.4. Beschreiben Sie den Vorgang, der stattfindet, wenn zwei an Fäden der Länge l aufgehängte Kugeln, die gleichnamig geladen sind, in den Zustand der Schwerelosigkeit versetzt werden! Geben Sie die Endlage der beiden Kugeln an!

1.2.5. Zwei punktförmige Ladungen verhalten sich wie 1:3 und befinden sich im Vakuum in 30 cm Abstand voneinander. Welchen Abstand müßten sie in Wasser voneinander haben, damit in beiden Medien die Wechselwirkungskraft 0,3 N beträgt?

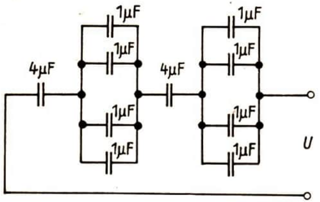
1.2.6. Zwei kleine Metallkugeln von gleicher Größe mit gleichnamigen Ladungen werden in Berührung gebracht und dann auf $r = 10$ cm voneinander entfernt. Wie groß ist die Wechselwirkungskraft, wenn die Ladungen vor der Berührung 70 nC und 30 nC betrugen?

1.2.7. Ein Plattenkondensator ($A = 100$ cm^2, $d = 1$ mm und $\varepsilon_r = 100$) wird an eine Spannungsquelle mit $U = 150$ V angeschlossen.

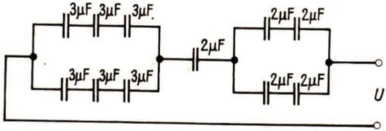
a) Welche Ladung nimmt er auf?

b) Wie groß ist die gespeicherte Energie?

1.2.8. Gegeben ist eine Schaltung gemäß Skizze. Diese Kondensatoranordnung wird an eine Spannungsquelle mit $U = 10$ V angeschlossen. Welche Energie kann gespeichert werden?



1.2.9. In der gegebenen Schaltung wurde eine Ladung von $Q = 20\ \mu$C gespeichert. Welche Spannung mußte dazu angelegt werden?



1.2.10. An zwei parallel geschalteten Kondensatoren liegt eine Spannung von 25 V. Die gespeicherte Ladung beträgt 175 μC. Wie groß ist die Kapazität des einen Kondensators, wenn die des anderen 3 μF beträgt?

1.2.11. Zwei Kondensatoren sind in Reihe an eine Spannung von 100 V angeschlossen. Wie groß sind die Teilspannungen, wenn die Kapazitäten $C_1 = 2\ \mu F$ und $C_2 = 3\ \mu F$ betragen? In welchem Verhältnis stehen die Ladungen?

1.2.12. Zwei Kondensatoren ($C_1 = 2\ \mu F$, $U_1 = 150$ V, $C_2 = 3\ \mu F$, $U_2 = 120$ V) werden
a) gleichsinnig und
b) entgegengesetzt gepolt
parallel geschaltet. Welche Spannungen stellen sich ein?

1.2.13. Ein Plattenkondensator ($\varepsilon_r = 1$, Kapazität C_1) und ein anderer Kondensator (Kapazität $C_2 = 2 \cdot C_1$) werden auf die Spannungen $U_1 = 10$ V und $U_2 = 15$ V aufgeladen und gleichsinnig gepolt parallel geschaltet und mit einem idealen Spannungsmesser verbunden. Welchen Wert zeigt der Spannungsmesser? In den Plattenkondensator C_1 wird jetzt ein Dielektrikum mit $\varepsilon_r = 10$ eingeschoben, so daß der Innenraum des Plattenkondensators vollständig ausgefüllt ist. Wie groß ist die Spannungsänderung am Spannungsmesser?

1.2.14. Bei einem Millikan-Experiment schwebte ein Öltröpfchen bei einer Spannung von 100 V. Wieviel Elementarladungen trug das Tröpfchen, wenn der Plattenabstand 2 cm, der Tröpfchenradius 2,0 μm, die Öldichte 0,8 $g \cdot cm^{-3}$ und die Fallbeschleunigung 9,81 $m \cdot s^{-2}$ betragen?

1.2.15. Ein Kupferdraht befindet sich in einem homogenen Magnetfeld (B = 50 mT) mit einer Länge von 5 cm. Auf den Draht wirkt eine Kraft von 2,5 mN. Welche Stromstärke fließt durch den Draht?

1.2.16. Ein Elektron wird mit einer Geschwindigkeit von $v = 10^5\ m \cdot s^{-1}$ in ein homogenes Magnetfeld mit B = 60 mT eingeschossen. Die Geschwindigkeit steht senkrecht auf der Feldlinienrichtung. Welche Kraft wirkt auf das Elektron? Wieviel Elektronen müßten sich auf einem Körper befinden, damit unter den gleichen Bedingungen die Kraft 1 mN beträgt?

1.2.17. Eine lange Spule ($N = 1000$, $l = 10$ cm, $\mu_r = 300$) wird von einem Strom mit der Stromstärke $I = 1{,}5$ A durchflossen. Man berechne die magnetische Flußdichte und die magnetische Feldstärke in der Spule!

1.2.18. In ein homogenes Magnetfeld, das von einer Spule der Windungszahl $N = 10000$ und der Länge $l = 5$ cm bei einer Stromstärke $I = 2$ A erzeugt wird, wird ein Alpha-Teilchen eingeschlossen, so daß Geschwindigkeit und Feld senkrecht aufeinander stehen. Welche Geschwindigkeit hatte das Teilchen, wenn die Lorentzkraft $F_L = 1$ pN beträgt?

1.3. Elektromagnetische Induktion

Grundlagen

Induktionsgesetz:

In einer Spule mit der Querschnittsfläche A, deren N Windungen alle der zeitlichen Änderung $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ eines Magnetfeldes senkrecht zu A ausgesetzt sind, entsteht (für kleine Δt) die Induktionsspannung:

$$U_i = - N \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}.$$

Wird eine Spule mit N Windungen in einem homogenen Magnetfeld der magnetischen Induktion B so bewegt, daß eine zeitliche Änderung $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ der wirksamen Querschnittsfläche eintritt, so entsteht (für kleine Δt) die Induktionsspannung:

$$U_i = - N \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}.$$

Die wirksame Querschnittsfläche ist hierbei die Projektion der geometrischen Fläche in die Ebene senkrecht zur Richtung der Feldlinien des Magnetfeldes.

Treten beide Änderungen auf, so gilt:

$$U_i = - N \cdot \frac{\Delta(A \cdot B)}{\Delta t}, \text{ (Induktionsgesetz)}$$

Das Produkt $A \cdot B$ wird als magnetischer Fluß bezeichnet.

Lenzsches Gesetz:

Die bei der Induktion entstehenden Ströme bzw. Spannungen sind stets so orientiert, daß sie ihrer Ursache entgegengerichtet sind.

Selbstinduktion, Induktivität einer Spule:

Bei zeitlicher Stromänderung entsteht in einer Spule die Selbstinduktionsspannung:

$$U_i = -\left(\mu_o \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}\right) \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

wobei $L = \mu_o \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$ die Induktivität der Spule ist.
(A: Spulenquerschnittsfläche, l: Spulenlänge).
Einheit der Induktivität: $[L] = H$ und $1\ H = 1\ \frac{V \cdot s}{A}$.

Transformator:

Ein idealer Transformator wandelt Stromstärken und Spannungen so, daß die Leistung erhalten bleibt. Es gelten folgende Gesetze:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2},\ U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \text{ und } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Beim realen Transformator treten "Verluste" auf, so daß $P_2 < P_1$ wird.
Für den Wirkungsgrad gilt

$$\eta = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1}.$$

Beispiel

Eine quadratische Leiterschleife mit 40 cm Seitenlänge wird gleichförmig aus einem feldfreien Gebiet innerhalb 0,5 s in ein Magnetfeld mit B = 2 T geschoben. Man berechne:
a) die induzierte Spannung,
b) die Stromstärke, wenn der Drahtquerschnitt 50 mm^2 ist.
Der Draht besteht aus Kupfer!

Lösung:

Gegeben: $B = 2\ T$ Gesucht: U_i

$t = 0{,}5\ s$

$A = a^2 = 0{,}16\ m^2$

$a = 0{,}4\ m$

$\varrho_{Cu} = 1{,}6 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$

$A_D = 50\ mm^2$

a) Aus dem Induktionsgesetz $U_i = -N \cdot \frac{\Delta(B \cdot A)}{\Delta t}$

folgt wegen B = Konstant, N = 1 für den Betrag der Spannung:

$$U_i = B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

$$\underline{\underline{U_i = 0{,}64\ V}}$$

b) Wegen $I = \frac{U}{R}$ und $R = 4 \cdot \varrho \cdot \frac{a}{A_D}$

ist $I = \frac{U_i \cdot A_D}{4 \cdot \varrho \cdot a}$

$$\underline{\underline{I = 1250\ A}}$$

Ergebnis: Die Induktionsspannung beträgt 0,64 V und die Stromstärke 1250 A.

Aufgaben

1.3.1. Ein Metall- und ein Holzkörper gleicher Abmessungen fallen durch ein inhomogenes Magnetfeld. Was wird zu beobachten sein?

1.3.2. Eine Zylinderspule mit 300 Windungen und 10 cm Länge hat einen Querschnitt von 20 cm^2. Die Stromstärke wird in 0,6 s gleichförmig um 10 A geändert. Wie groß ist die Induktionsspannung in einer Induktionsspule mit 500 Windungen, die das von der ersten Spule erzeugte Magnetfeld vollständig umfaßt? Welche Selbstinduktionsspannung entsteht in der ersten Spule?

1.3.3. Welche Spannung wird in einer in den Tragflächen eines Flugzeuges gespannten Antenne induziert (Fluggeschwindigkeit 2160 km h^{-1}; Vertikalkomponente des magnetischen Erdfeldes: $B = 4{,}1 \cdot 10^{-5}$ T; Antenne: gestreckte Schleife mit zwei 30 m

langen parallelen Leiterteilen quer zur Flugrichtung)?
Ist diese Spannung meßbar?

1.3.4. In einer Spule mit 75 Windungen ändert sich die magnetische Flußdichte in 3 s gleichförmig um 50 μT. Dabei wird eine Spannung von 1,25 mV induziert. Wie groß ist die Fläche der Spule?

1.3.5. In die Spule, die in Reihe mit einem Strommesser an eine Spannungsquelle angeschlossen ist, wird 1. ein Eisenstab, 2. ein Glasstab hineingeschoben und wieder herausgezogen.
a) Was wird am Strommesser zu beobachten sein?
b) Überprüfen Sie experimentell Ihre Vermutung!
c) Erklären Sie Ihr Ergebnis mittels bekannter Gesetze!

1.3.6. Warum erwärmt sich der Eisenkern einer Spule bei angelegter Wechselspannung, jedoch nicht bei Gleichspannung?

1.3.7. In einer Spule ($N = 1500$, $A = 2\ cm^2$, $l = 10$ cm und $\mu_r = 300$) steigt die Stromstärke von 1 A auf 2 A. Dabei wird eine Spannung von 170 V in der Spule induziert. In welcher Zeit erfolgte die Änderung der Stromstärke?

1.3.8. Ein idealer Transformator ($N_1 = 1000$, $N_2 = 300$) wird primär an die Spannung 220 V angeschlossen. Der Gesamtwiderstand der Primärseite beträgt 110 Ω. Wie groß sind Sekundärspannung und Sekundärstromstärke?

1.3.9. Welcher Primärstrom muß fließen, damit bei einem Wirkungsgrad von 97 %, einer Primärspannung von 220 V und einer Sekundärspannung von 12 V ein Sekundärstrom von 2 A entnommen werden kann?

1.3.10. Welche Energie ist nach einer Betriebsstunde bei einem Transformator mit einem Wirkungsgrad von 95 %, einer Primärspannung von 220 V und einem Primärstrom von 1 A nicht nutzbar?

1.3.11. Ein Reihenschlußmotor wird mit einem Strommesser in der Zuleitung in Betrieb gesetzt.

a) Beobachten Sie den Strommesser bis zum Erreichen der höchsten Drehzahl!

b) Erklären Sie Ihre Beobachtung mittels bekannter Gesetze!

1.3.12. Informieren Sie sich anhand der Fachliteratur über den prinzipiellen Aufbau eines MHD-Generators und erklären Sie seine Wirkungsweise mit Hilfe des Induktionsgesetzes.

1.4. Elektrische Leitungsvorgänge

Grundlagen

Leitungsvorgänge in Metallen, Flüssigkeiten und Gasen:

In metallischen Festkörpern stehen für den Leitungsvorgang aufgrund der Metallbindung frei bewegliche Elektronen in gleichbleibend hoher Konzentration zur Verfügung. Durch ein äußeres elektrisches Feld werden sie zusätzlich zu ihrer ungeordneten Wärmebewegung zu einer gerichteten Bewegung gezwungen. Bei wachsender Temperatur wird diese gerichtete Bewegung zunehmend behindert.

In Flüssigkeiten und Gasen kommt elektrische Leitung zustande, wenn neben frei beweglichen Elektronen auch Ionen entstehen. Die gerichtete Bewegung elektrischer Ladungen ist dabei zwangsläufig mit Stofftransport verbunden. Im Vakuum können nur Elektronen, die man aus einer Elektrode herauslöst, einen elektrischen Strom ermöglichen.
Als spezifische elektrische Leitfähigkeit bezeichnet man das Reziproke des spezifischen elektrischen Widerstandes $\varkappa = \frac{1}{\varrho}$. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit wird um so größer, je rascher die frei beweglichen Ladungsträger (Elektronen oder Ionen) bei einer bestimmten Feldstärke driften können und je größer ihre Konzentration ist. Bei Temperaturerhöhung wird im allgemeinen die Driftgeschwindigkeit herabgesetzt, bei Flüssigkeiten und Halbleitern steigt dabei jedoch die Konzentration der freien Ladungsträger stark an.

Elektronische Vakuumbauelemente:

Fotozelle, Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Elektronenstrahlröhre sind Vakuumbauelemente. Durch Energiezufuhr an der Katode (in den ersten beiden Bauelementen durch Lichteinstrahlung und im letzteren Falle durch Aufheizen) wird die notwendige Ablösearbeit für Elektronen aufgebracht und dadurch Elektronen mit einer gewissen kinetischen Energie aus dem Katodenmaterial emittiert. Ein elektrisches Feld zwischen der Katode und einer bzw. mehreren Anoden beschleunigt die Elektronen. Es entsteht ein Elektronenstrom durch das Vakuum.
Bei Fotozelle und SEV ist die Stromstärke ein Maß für die Lichtintensität. Diese beiden Bauelemente werden deshalb meist als Fotodetektoren verwendet.
In der Elektronenstrahlröhre wird durch ein System von Anoden neben der Beschleunigung auch eine Bündelung des Elektronenstrahls erreicht. Seine Stärke kann durch ein Gegenfeld zwischen Katode und dem unmittelbar davor befindlichen Wehneltzylinder gesteuert werden. Der Elektronenstrahl wird nach Passieren des Anodensystems durch elektrische oder magnetische Felder horizontal und vertikal abgelenkt und trifft dadurch einen gewünschten Ort des Bildschirmes. Dort wird das Leuchtschichtmaterial durch die kinetische Energie der Elektronen zum Leuchten angeregt. Deshalb kann der Schirm bei der Wiedergabe zweidimensionaler Bilder Verwendung finden.

Halbleiterbauelemente:

In hochreinen Halbleitern sind bei sehr tiefen Temperaturen alle Valenzelektronen fest gebunden, es ist kein Stromfluß möglich. Durch Lichteinstrahlung oder Erwärmung werden Elektronen aus ihren Bindungen gelöst und als freie Elektronen für den Leitungsvorgang nutzbar. Gleichzeitig entsteht dadurch im Bereich der gebundenen Elektronen ein freier Platz (Loch oder Defektelektron), an den ein benachbartes, gebundenes Elektron nachrücken kann. Bei dieser Eigenleitung werden also stets Elektronen-Loch-Paare generiert. Gelangen freie Elektronen in Löcher (Rekombination), so wird der entsprechende Energiebetrag wieder frei. In Fotowiderständen nutzt man die optische Generation und in Thermistoren die thermische Generation zur Erhöhung der Ladungsträger-Konzentration und damit zur Vergrößerung der spezifischen Leitfähigkeit.

Durch Dotieren werden Fremdatome auf Gitterplätze des Grundmaterials gebracht und damit von vornherein Plätze für freie Elektronen (n-leitend) oder Löcher im Bereich der gebundenen Elektronen (p-leitend) erzeugt. Grenzen ein p- und ein n-leitendes Gebiet aneinander, so entsteht ein p-n-Übergang, an dem durch wechselseitige Diffusion freie Elektronen aus dem n-Gebiet in Löcher des p-Gebietes gelangen. Damit entsteht eine an frei beweglichen Ladungsträgern verarmte Grenzschicht. Das durch diese Ladungsverschiebung entstehende innere elektrische Feld (Diffusionsfeld) verhindert die weitere Wanderung. Durch Anlegen eines äußeren elektrischen Feldes kann bei geeigneter Polung das Diffusionsfeld unterstützt und damit die ladungsträgerverarmte, isolierende Grenzschicht verbreitert werden. Das wird in Kapazitätsdioden genutzt.
Polt man das äußere Feld jedoch um und erhöht die Feldstärke über die des inneren Diffusionsfeldes hinaus, so werden Löcher und freie Elektronen in die Grenzschicht gedrückt und rekombinieren dort. Ein freies Elektron im n-Gebiet wandert dann, durch das äußere Feld getrieben, in die Grenzschicht, rekombiniert dort und wandert weiter als gebundenes Elektron im p-Gebiet. Es wird ein durchgehender Stromfluß möglich. Die p-n-Grenzschicht weist deshalb eine Ventilwirkung auf. Das wird in Gleichrichterdioden technisch genutzt. Die bei der Rekombination in der Grenzschicht frei werdende Energie tritt vorwiegend in thermischer Form auf (Kühlung notwendig), zum Teil jedoch auch als Strahlung im optischen Bereich. Die letzte Tatsache findet in Leuchtdioden technische Anwendung.
Wird in einer n-leitenden Schicht (Kollektor) eine Grube aus ebenfalls n-leitenden Halbleitermaterial (Emitter) durch eine sehr schmale Grubenwand aus p-leitendem Material (Basis) getrennt, so entsteht ein npn-Transistor.
Da für sein Funktionieren sowohl Elektronen als auch Löcher bedeutsam sind, heißt ein solches Bauelement bipolar.
Wird (in einer sogenannten Emitterschaltung) durch Anlegen geeigneter Spannung die Basis-Emitter-Grenzschicht in Durchlaßrichtung betrieben, so kann auch in einem Emitter-Kollektor-Kreis Strom

fließen. Wegen der geringen Breite der Basiszone und ihrer relativ schwachen Dotierung führt bereits ein geringer Strom im Basis-Emitter-Kreis zu einem wesentlich größeren Strom im Emitter-Kollektor-Kreis. Der bipolare Transistor ist deshalb ein stromgesteuertes Bauelement mit Verstärkerwirkung. Er kann als aktives Bauelement in Analogverstärkern und als Schalter in der Digitaltechnik verwendet werden. Ohne Basisstrom ist die Emitter-Kollektor-Strecke hochohmig (Schalter offen). Läßt man einen genügend großen Basisstrom fließen, so wird die Emitter-Kollektor-Strecke niederohmig (Schalter geschlossen). Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Spannungen und Stromstärken am Transistor werden in einem Kennlinienfeld deutlich gemacht (s. Abb. zu Beispiel 2).
Im Gegensatz zu bipolaren Transistoren wird bei Feldeffekttransistoren der Strom nur durch eine Ladungsträgerart getragen. Sie heißen deshalb unipolar. Mit Hilfe einer isoliert aufgebrachten Steuerelektrode (Tor, Gate) beeinflußt man die Leitfähigkeit eines schmalen Kanales zwischen zwei Elektroden, der Quelle (Source) und der Senke (Drain). Die Stromstärke zwischen Quelle und Senke wird entscheidend durch das elektrische Feld zwischen der isolierten Torelektrode und dem Substrat gesteuert. Man spricht deshalb von einem spannungsgesteuerten Bauelement mit hohem Eingangswiderstand. Feldeffekttransistoren finden sowohl in der Analog- als auch der Digitaltechnik Verwendung.

Beispiel 1

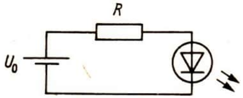
Wie groß muß der Vorwiderstand zu einer Leuchtdiode gewählt werden, wenn diese an eine Spannungsquelle von 3,0 V angeschlossen werden soll, der Diodenstrom aber 20 mA nicht übersteigen darf? Wie groß sind die an Diode und Vorwiderstand auftretenden Leistungen? Die Diodenkennlinie liegt vor.

Lösung:
Bei der Diode handelt es sich um einen nichtlinearen passiven Zweipol. Faßt man die gegebene Spannungsquelle und den Vorwiderstand als aktiven linearen Zweipol auf, so können die Grundstromkreisbetrachtungen angewendet werden. In das Diagramm mit der

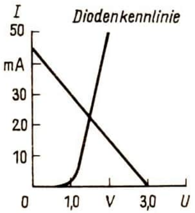
Diodenkennlinie kann die fallende Gerade des aktiven Zweipols mit eingetragen werden. Der Schnittpunkt der beiden Graphen kennzeichnet den sich einstellenden Betriebszustand.

Gegeben: $I = 20$ mA
$U_o = 3{,}0$ V
$U_D = 1{,}6$ V (aus Kennlinie)

Gesucht: R
P_R
P_D



Stromlaufplan



Kennlinien

Vorwiderstand:

$$R = \frac{U_o - U_D}{I}$$

$\underline{\underline{R = 70\ \Omega}}$

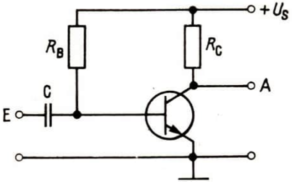
Leistung an der Diode: $P_D = U_D \cdot I = \underline{\underline{32\ \text{mW}}}$

Leistung am Vorwiderstand: $P_R = I^2 \cdot R = \underline{\underline{28\ \text{mW}}}$

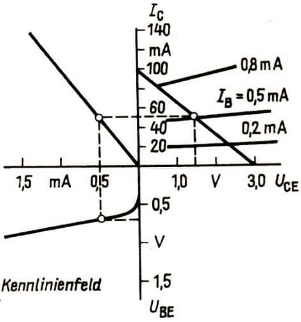
Der Vorwiderstand muß 70 Ω betragen, an ihm werden 28 mW und an der Diode 32 mW umgesetzt.

Beispiel 2

In einem Kleinsignalverstärker soll ein npn-Transistor in Emitterschaltung als aktives Bauelement Verwendung finden.
Anhand des Kennlinienfeldes ist der Arbeitspunkt des Transistors festzulegen. Die dazu notwendigen Widerstände R_B und R_C sollen berechnet werden, wenn eine Spannungsquelle mit der Spannung 3,0 V zur Verfügung steht.



Stromlaufplan



Kennlinienfeld

Die Arbeitspunktwerte (U_{BEA}, I_{BA}, U_{CEA}, I_{CA}) werden so gewählt, daß der Transistor jeweils in nahezu linearen Bereichen der Kennlinien arbeiten kann. U_{CEA} soll etwa die halbe Betriebsspannung U_S betragen.

Lösung:

Gegeben bzw. aus dem Kennlinienfeld entnommen:

Gesucht: R_B, R_C

$U_S = 3{,}0$ V $\qquad I_{CA} = 50$ mA

$U_{BEA} = 0{,}7$ V $\qquad U_{CEA} = 1{,}5$ V

$I_B = 0{,}5$ mA

Die Widerstände R_B und R_C können mit Hilfe des ohmschen Gesetzes berechnet werden. Es müssen dann allerdings die jeweils nächstliegenden Normwerte gewählt werden:

$$R_B = \frac{U_S - U_{BEA}}{I_{BA}} \approx \underline{\underline{4{,}7\ \mathrm{k}\Omega}} \qquad R_C = \frac{U_S - U_{CEA}}{I_{CA}} \approx \underline{\underline{33\ \Omega}}$$

Als Basiswiderstand muß 4,7 kΩ und als Kollektorwiderstand 33 Ω gewählt werden.

2. MECHANIK

2.1. Kinematik

Grundlagen

Bewegung auf einer Geraden mit konstanter Beschleunigung:

Mit den Definitionen für die Geschwindigkeit und die Beschleunigung $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ und $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (jeweils für sehr kleine Δt) ergeben sich für konstante Beschleunigung a (gleichmäßig beschleunigte Bewegung):

Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz: $v(t) = a \cdot t + v_o$

Ort-Zeit-Gesetz: $x(t) = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_o \cdot t + x_o$

Weg-Zeit-Gesetz: $s(t) = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_o \cdot t$

Für a = 0 erhält man die Gesetzmäßigkeiten der gleichförmigen Bewegung:

Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz: $v = v_o$ = konst.,
Ort-Zeit-Gesetz: $x = v_o \cdot t + x_o$,
Weg-Zeit-Gesetz: $s = v_o \cdot t$.
Einheiten: $[s] = [x] = m$, $[v] = m \cdot s^{-1}$, $[a] = m \cdot s^{-2}$

Überlagerungsprinzip:

Ein Körper kann zugleich mehrere Bewegungen (ohne deren gegenseitige Störung) ausführen.
Als Wurf bezeichnet man die Überlagerung einer geradlinig gleichförmigen Bewegung mit dem freien Fall.
Für den waagerechten Wurf entsteht der Wurfparabel mit der Gleichung $y = y_o - g \cdot \frac{x^2}{2 \cdot v_o^2}$.

Bewegung auf einer Kreisbahn:

Die Gesetze der Bewegung auf einer Kreisbahn lassen sich formäquivalent zu den Gesetzen der geradlinigen Bewegung formulieren.

Mit der Definition der Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ (für sehr kleine Δt), φ : Drehwinkel, Einheit $[\omega] = s^{-1}$ und der Definition der Winkelbeschleunigung $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ (für sehr kleine Δt), Einheit $[\alpha] = s^{-2}$ ergeben sich für konstante Winkelbeschleunigung die Gesetze für die gleichmäßig beschleunigte Kreisbewegung:

Winkelgeschwindigkeit-Zeit-Gesetz: $\omega(t) = \alpha \cdot t + \omega_0$,

Drehwinkel-Zeit-Gesetz: $\varphi(t) = \frac{\alpha}{2} \cdot t^2 + \omega_0 \cdot t + \varphi_0$.

Für die gleichförmige Kreisbewegung mit konstanter Winkel- bzw. Bahngeschwindigkeit gilt: $\varphi = \omega \cdot t + \varphi_0$ (Drehwinkel-Zeit-Gesetz).

Außerdem gilt: $v_b = \omega \cdot r$ und $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$.

Für die dabei notwendige Radialbeschleunigung a_r ergibt sich:

$$a_r = \omega^2 \cdot r = \frac{v^2}{r}.$$

Beispiel

Ein PKW fährt im ersten Drittel seiner Fahrzeit mit $v_1 = 40\ km \cdot h^{-1}$ und in den letzten zwei Dritteln mit $v_2 = 80\ km \cdot h^{-1}$. Bestimmen Sie den Wert für die Durchschnittsgeschwindigkeit aus dem s-t- und dem v-t-Diagramm durch die Nutzung der Bedeutung des Anstieges und der Fläche!

Berechnen Sie die Durchschnittsgeschwindigkeit!

Lösung:

Gegeben: $v_1 = 40\ km \cdot h^{-1}$ Gesucht: $\bar{v}$

$t_1 = \frac{1}{3}\ t$, t: Gesamtfahrzeit

$v_2 = 80\ km \cdot h^{-1}$

$t_2 = \frac{2}{3}\ t$

Für die Durchschnittsgeschwindigkeit gilt: $\bar{v} = \frac{s}{t}$.

Der Weg s setzt sich aus den Teilwegen s_1 und s_2 zusammen, die mit den Geschwindigkeiten v_1 und v_2 in den Zeiten $t_1 = \frac{1}{3}$ t und $t_2 = \frac{2}{3}$ t durchfahren werden.

Damit gilt: $\bar{v} = \frac{s_1 + s_2}{t}$ (1)

Für die Teilwege s_1 und s_2 gilt: $s_1 = v_1 \cdot t_1$ (2)

$s_2 = v_2 \cdot t_2$ (3)

Durch Einsetzen von (2) und (3) in (1) folgt:

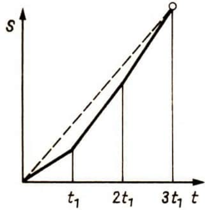
$$\bar{v} = \frac{v_1 \cdot t_1 + v_2 \cdot t_2}{t} \quad (4).$$

Mit $t_1 = \frac{1}{3}$ t und $t_2 = \frac{2}{3}$ t erhält man aus Gleichung (4):

$$\bar{v} = \frac{v_1 \cdot \frac{1}{3} t + v_2 \cdot \frac{2}{3} t}{t} = \underline{\underline{\frac{1}{3} v_1 + \frac{2}{3} v_2}}$$

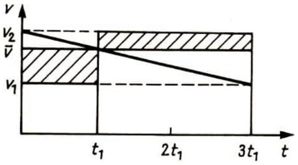
und mit den gegebenen Werten: $\underline{\underline{\bar{v} = 66{,}7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.}}$

Bestimmung von $\bar{v}$ aus dem s-t- und dem v-t-Diagramm:
Im s-t-Diagramm werden die Bewegungen in den einzelnen Zeitabschnitten dargestellt. Dabei entspricht die Geschwindigkeit dem Anstieg, denn es gilt $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. Für den ersten Zeitabschnitt ist der Anstieg beliebig wählbar, für den zweiten Zeitabschnitt muß der Anstieg doppelt so groß gewählt werden, denn $v_2 = 2\ v_1$. Damit ergibt sich der Gesamtweg und die Durchschnittsgeschwindigkeit.



Im v-t-Diagramm werden die Bewegungen wiederum in den einzelnen Zeitabschnitten dargestellt. Da die Fläche unter dem Grafen im v-t-Diagramm (schraffiert gezeichnet) dem Weg entspricht, muß eine Fläche konstruiert werden, die für eine konstante Durchschnittsgeschwindigkeit $\bar{v}$ den gleichen Flächeninhalt hat.

Durch Ähnlichkeitsbetrachtungen läßt sich beweisen, daß die folgende Konstruktion gilt.



Aufgaben

2.1.1. Im ersten Drittel seines Gesamtweges fährt ein PKW mit $v_1 = 40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, danach mit $v_2 = 100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
Bestimmen Sie den Wert für die Durchschnittsgeschwindigkeit aus dem s-t- und dem v-t-Diagramm durch die Nutzung der Bedeutung des Anstieges und der Fläche!
Berechnen Sie die Durchschnittsgeschwindigkeit!

2.1.2. Auf einer Straßenbahnlinie fahren die Straßenbahnen stadteinwärts und stadtauswärts in gleichen Zeitabständen von 5 min und haben eine Geschwindigkeit von $36 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. In welchen Zeitabständen begegnen einem Fußgänger, der mit $5{,}4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ stadteinwärts geht, die stadteinwärts und stadtauswärts fahrenden Bahnen?

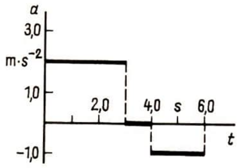
2.1.3. Auf den Anfang eines gleichförmig bewegten Transportbandes wird ein kleines Spielzeugauto gesetzt. Nach $t_1 = 6$ s erreicht es das Ende des Bandes. Läßt man es in die andere Richtung vom Ende des Bandes bis zum Anfang zurückfahren, braucht es $t_2 = 26$ s. Welche Zeit t_3 braucht ein auf dem Transportband liegender Körper, um vom Anfang des Bandes an das Ende zu gelangen?

2.1.4. Ein Flugzeug soll in nordöstlicher Richtung fliegen. Die Geschwindigkeit des Flugzeuges relativ zur Luft beträgt $v_1 = 600 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Der Wind weht aus westlicher Richtung mit

$v_2 = 20\ m \cdot s^{-1}$. Mit welcher Geschwindigkeit v zur Erde fliegt das Flugzeug?
Unter welchem Winkel zum Meridian muß der Kurs gehalten werden, damit das Flugzeug in nordöstlicher Richtung fliegt? Lösen Sie die Aufgabe grafisch!

2.1.5. Ein Beobachter, der sich im 4. Stock eines Hauses, in der Höhe h = 12 m, befindet, bekommt einen Ball von unten zugeworfen, der jedoch 2 m unterhalb von ihm wieder herunterfällt. Skizzieren Sie die x-t-, v-t- und a-t-Diagramme vom Standpunkt des Beobachters aus (Koordinatenursprung beim Beobachter).

2.1.6. Skizzieren Sie zu dem vorgegebenen a-t-Diagramm das zugehörige v-t- und s-t-Diagramm. Zum Zeitpunkt t = 0 befindet sich der Körper am Ort x = 0 und besitzt eine Anfangsgeschwindigkeit $v_o = -2\ m \cdot s^{-1}$. Lesen Sie die Geschwindigkeits- und Wegänderungen aus den Diagrammen ab.
Geben Sie das Ort-Zeit- und das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz für die ersten 6 s an!



2.1.7. Zwei Körper bewegen sich auf parallelen Bahnen. Auf den Körper 1 mit der Geschwindigkeit v_1 beginnt die konstante Beschleunigung a_1 zu wirken. Gleichzeitig beginnt auf den Körper 2 mit der Geschwindigkeit v_2 die konstante Verzögerung a_2 zu wirken. Nach welcher Zeit werden die beiden Körper die gleiche Geschwindigkeit v haben?
Berücksichtigen Sie, daß die beiden Geschwindigkeiten sowohl gleich- als auch entgegengesetzt gerichtet sein können. Geben Sie Lösungsbedingungen an!

2.1.8. Ein Ballon steige mit einer Beschleunigung von $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ nach oben. 5 s nach dem Start wird ein Körper waagerecht aus dem Ballon geworfen. Nach welcher Zeit trifft dieser Körper auf die Erde auf?

2.1.9. Zwei Körper bewegen sich mit den Geschwindigkeiten von $v_1 = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und $v_2 = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ aufeinander zu. Wenn sie eine Entfernung von 80 m haben, wird der erste Körper mit der Geschwindigkeit v_1 ständig mit $a_1 = 0{,}1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ beschleunigt und der andere ständig mit $a_2 = -0{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ verzögert.
Nach welcher Zeit treffen sich die Körper, wo treffen sie sich und welche Wege werden von ihnen zurückgelegt?

2.1.10. Zwei Radfahrer fahren mit konstanten Bahngeschwindigkeiten auf konzentrischen Kreisbahnen mit den Radien $r_1 = 90$ m und $r_2 = 95$ m. Wenn sie mit gleichem Umlaufsinn fahren, begegnen sie sich alle 4 min. Fahren sie entgegengesetzt, dann begegnen sie sich alle 48 s. Begegnen heißt, die beiden Radfahrer und der Kreismittelpunkt befinden sich auf einem Leitstrahl. Mit welcher Bahngeschwindigkeit fahren die Radfahrer? Lösen Sie die Aufgabe vom mitbewegten System eines Radfahrers aus!

2.2. Dynamik

Grundlagen

Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften:

Wirken auf einen Massepunkt gleichzeitig mehrere Kräfte, so wirkt jede dieser Kräfte auf den Massepunkt so, als ob die übrigen Kräfte nicht vorhanden wären. Die Gesamtkraft (Resultierende) ergibt sich durch die geometrische Addition der Einzelkräfte. Umgekehrt kann eine vorgegebene Kraft in Komponenten in bezug auf vorgegebene Richtungen zerlegt werden.

Trägheitsgesetz:

Ein Körper bleibt in Ruhe oder im Zustand der geradlinig gleichförmigen Bewegung, wenn die resultierende Kraft aller auf ihn einwirkenden Kräfte null ist: $\vec{v}$ = konst. und $\vec{a} = \vec{0}$, wenn $\vec{F}_{res} = \vec{0}$.

Newtonsches Grundgesetz:

Ist die resultierende Kraft von null verschieden, so bewegt sich der Körper mit der Beschleunigung a in Richtung der Kraft. Dabei gilt:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \qquad (\vec{F} = \vec{F}_{res}).$$

Einheit der Kraft: $[F] = N$ und $1\ N = 1\ kg \cdot m \cdot s^{-2}$.

Wechselwirkungsgesetz:

Bei der Wechselwirkung zweier Körper ist die Kraft $\vec{F}_{12}$, mit der der zweite Körper auf den ersten einwirkt, immer betragsgleich und entgegengesetzt gerichtet zur Kraft $\vec{F}_{21}$, mit der der erste Körper auf den zweiten einwirkt: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

Hookesches Gesetz:

Bei elastischer Verformung einer idealen Schraubenfeder gilt:

$F = -k \cdot x$ (wenn $F = 0$ für $x = 0$, k: Federkonstante)

Einheit der Federkonstante: $[k] = N \cdot m^{-1}$.

Radialkraft F_r:

Wenn sich ein Massepunkt auf einer Kreisbahn bewegt, so wirkt stets in Richtung auf das Bewegungszentrum die Kraft:

$$F_r = m \cdot a_r = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \frac{v_b^2}{r}.$$

Reibungskraft F_R:

Zwischen zwei Körpern, die sich berühren, wirkt gegen relative Verschiebung die Widerstandskraft:

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

(μ: Reibungskoeffizient, F_N: Normalkraft senkrecht zur Berührungsfläche).

Keplergesetze:

Bewegen sich natürliche oder künstliche Satelliten periodisch um einen Zentralkörper, so gelten die drei Keplergesetze: Die Satelliten bewegen sich auf elliptischen Bahnen. Der Zentralkörper befindet sich jeweils in einem der Brennpunkte.
In gleichen Zeiten überstreicht der Leitstrahl Zentralkörper - Satellit gleiche Flächen.
Die Quadrate der Umlaufzeiten der Satelliten verhalten sich wie die dritten Potenzen der großen Halbachsen.

Gravitationsgesetz:

Die Anziehungskraft, mit der sich zwei punktförmige Massen m_1 und m_2 anziehen, wenn ihr Abstand r ist, beträgt:

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

(γ: Gravitationskonstante, $\gamma = 6{,}672 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg}^{-2}$).

Beispiel

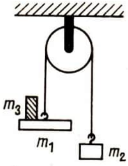
An der Atwoodschen Fallmaschine hängen zwei Körper mit den Massen $m_1 = m_2 = 100$ g an einem dünnen Faden, der über eine feste Rolle läuft.
Wird auf die Masse m_1 ein Massestückchen $m_3 = 10$ g aufgelegt, so beginnt sich das System beschleunigt zu bewegen.
Bestimmen Sie die Beschleunigung der Massen!
Bestimmen Sie die Kraft F_D mit der die Masse m_3 auf die Masse m_1 drückt!
Mit welcher Kraft F wird der dünne Faden gespannt?
Von Reibung, Eigenmasse des Fadens und Trägheit der Rolle werde abgesehen!

Lösung:

Gegeben: $m_1 = m_2 = 100\ g = 0{,}1\ kg$
$m_3 = 10{,}0\ g$

Gesucht: F_D (Kraft mit der Masse m_3 auf m_1 drückt) a_1, a_2, a_3, F

Auf Grund der Aufgabenstellung muß gelten: $a_1 = a_2 = a_3 = a$
Die Beschleunigung eines Systems läßt sich mit dem Newtonschen Grundgesetz $F_a = m \cdot a$ berechnen. F_a ist die resultierende Kraft, die von außen auf das System wirkt und das System mit a beschleunigt und m ist die Masse des Systems, das beschleunigt wird.



Damit folgt: $F_a = m_1 \cdot g + m_3 \cdot g - m_2 \cdot g$

$$m = m_1 + m_2 + m_3$$

$$a = \frac{(m_1 + m_3 - m_2)g}{m_1 + m_2 + m_3} = \underline{\underline{0{,}47\ m \cdot s^{-2}}}$$

Bestimmung der Druckkraft F_D und der Kraft F im Faden

$F_D = m_3 \cdot g - m_3 \cdot a \quad \underline{\underline{0{,}093\ N}}$

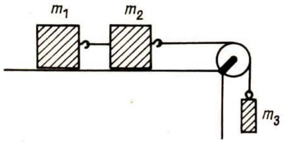
$F = m_1 \cdot g + F_D - m_1 \cdot a \approx 1{,}027\ N$ oder $F = m_2(g + a) \approx \underline{\underline{1{,}027\ N}}$

Ergebnis: Die Massen bewegen sich mit einheitlichem Betrag der Beschleunigung von $0{,}47\ m \cdot s^{-2}$. Dabei drückt die Masse m_3 mit einer Kraft von 93 mN auf ihre Unterlage. Die Kraft im Faden beträgt 1,03 N.

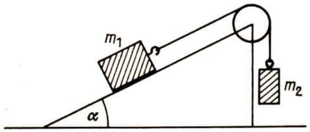
Aufgaben

2.2.1. Unter der Wirkung der Masse m_3 gleiten die Körper mit den Massen m_1 und m_2 auf der horizontalen Unterlage.

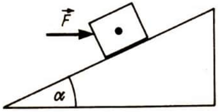
Die Reibungszahlen zwischen den Körpern und der Unterlage sind gleich und betragen $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,2$.
Bestimmen Sie die Reaktionskraft im Faden zwischen den Massen m_1 und m_2, wenn $m_1 = 1$ kg, $m_2 = 2$ kg und $m_3 = 2$ kg!



2.2.2. Die Körper der Massen m_1 und m_2 sind durch einen Faden verbunden, der über eine Rolle führt. Wird die Masse m_1 hangabwärts angestoßen, so bewegt sich das System gleichförmig. Wie bewegen sich die Massen, wenn auf den Körper mit der Masse m_1 ein weiterer Körper mit der Masse m_1 befestigt wird?
$m_1 = 300$ g, $m_2 = 100$ g, $\alpha = 30^0$



2.2.3. Auf einer geneigten Ebene, die den Winkel von 40^0 mit der Waagerechten bildet, liegt ein Körper der Masse $m = 10$ kg. Auf ihn wirkt eine horizontale Kraft F (siehe Abb.).
Mit welcher Beschleunigung bewegt sich der Körper entlang der geneigten Ebene, wenn F = 50 N bzw. F = 150 N ist? Die Reibungszahl zwischen Körper und Ebene beträgt $\mu = 0,1$.

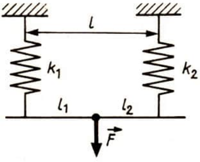


2.2.4. Zwei kleine volumengleiche Kugeln unterschiedlicher Masse werden in eine Kugelschwebe gelegt. Weisen Sie nach, daß beide Kugeln gleich hoch steigen, wenn die Kugelschwebe auf eine konstante Winkelgeschwindigkeit gebracht wird. Lösen Sie die Aufgabe für das ruhende Bezugssystem und für das bewegte Bezugssystem!

2.2.5. Sie stehen auf einer Drehscheibe im Abstand $r = 10$ m vom Drehzentrum. Es besteht keine Möglichkeit sich festzuhalten. Sie erreichen einen Zustand der Ruhe auf der Scheibe nur, wenn Sie sich gegen die Vertikale neigen. Bei welcher Winkelgeschwindigkeit der Drehscheibe können Sie sich nicht mehr auf der Scheibe halten und wie weit müssen Sie sich bis dahin gegen die Vertikale neigen, wenn die Reibungszahl zwischen Ihnen und der Scheibe 0,2 beträgt?
Unter welchem Winkel müssen Sie sich neigen, wenn Sie bei der maximal erreichbaren Winkelgeschwindigkeit 2 m nach innen gehen?

2.2.6. Um die Schienen bei einer Kurvenfahrt eines Zuges nicht durch Seitenkräfte zu belasten, wird die äußere Schiene gegenüber der inneren überhöht. Damit bilden die Gleise einen bestimmten Neigungswinkel α gegenüber der Horizontalen.
Geben Sie Bedingungen für die Geschwindigkeit und die Masse des Zuges an, damit die Schienen bei der Kurvenfahrt nicht durch Seitenkräfte belastet werden.
Der Schwerpunkt des Zuges bewegt sich bei der Kurvenfahrt auf einem Kreisbogen mit dem Radius r.

2.2.7. Zwei Federn mit den Federkonstanten k_1 und k_2 werden vertikal im Abstand l aufgehängt und mit einem masselosen, starren Stab verbunden. Wo muß eine Kraft F an dem Stab angreifen, die beide Federn um die gleiche Strecke verlängert?
Welche Federkonstante k besitzt das System der beiden Federn?



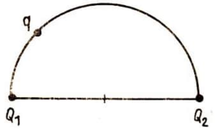
2.2.8. In welcher Höhe h über der Erdoberfläche weicht die Erdbeschleunigung g um mehr als 1 % von der Normalbeschleunigung g_N ab, wenn wir die Erde als homogene Kugel betrachten?
Der mittlere Erdradius R wird mit $6{,}36 \cdot 10^3$ km angenommen.

2.2.9. Aus den Daten eines geostationären Satelliten, seiner Höhe h über der Erdoberfläche und seiner Umlaufzeit T, kann die Masse der Erde berechnet werden.
Bestimmen Sie die Masse der Erde, wenn sich der geostationäre Satellit in einer Höhe von 35 870 km befindet!

2.2.10. Zwei Punktmassen (Gewichtskraft 1 mN) werden an Fäden der Länge 1 m an gleicher Stelle aufgehängt und mit gleicher Ladung Q aufgeladen. Wie groß ist diese Ladung, wenn die Punktmassen in einem Abstand von 10 cm voneinander zur Ruhe kommen?

2.2.11. Zwei Punktladungen Q_1 und Q_2 sind an den Durchmesserpunkten eines Halbkreises fest angeordnet (vgl. Abb.). Eine andere Punktladung ist auf der Peripherie des Kreises frei beweglich. Man suche ihre Gleichgewichtslage wenn gilt:

a) $Q_1 = 2\,Q_2$
b) $Q_1 = n\,Q_2$



2.3. Statik

Grundlagen

Gleichgewicht bei punktförmigen Körpern:

Greifen alle Kräfte an einem Körper in einem Punkt an (Modell Massepunkt anwendbar) und verschwindet die Resultierende dieser Kräfte, so befindet sich der Körper im Gleichgewicht (in Ruhe).

Schwerpunkt eines starren Körpers:

Als starren Körper bezeichnen wir ein System von Massepunkten oder -elementen mit festen Abständen untereinander. Schwerpunkt heißt derjenige Punkt, bei dessen Unterstützung sich der starre Körper im Gleichgewicht (in Ruhe) befindet.

Drehmoment:

Als Kraft- oder Drehmoment M einer Kraft, die an einem starren Körper bezüglich einer raum- und körperfesten Achse angreift, wird das Produkt aus Kraft und Abstand der Wirkungslinie dieser Kraft von der Achse bezeichnet:

$M = F \cdot r_S$ mit $r_s = r \cdot \sin\sphericalangle(\vec{r}, F)$. Links- und rechtsdrehende Momente werden durch das Vorzeichen unterschieden.

Gleichgewicht des starren Körpers:

Am starren Körper herrscht Gleichgewicht, wenn die Resultierende aus allen angreifenden Kräften und die Summe der Drehmomente verschwinden.

Beispiel 1

Für einen hantelförmigen Körper mit den Teilmassen $m_1 = 10$ kg und $m_2 = 5{,}0$ kg, die durch eine masselose Stange verbunden sind, soll der Schwerpunkt bestimmt werden. Der Abstand der Massenmittelpunkte der Teilmassen ist $l = 1{,}0$ m.

Lösung:

Wir legen uns eine x-Achse durch die Mittelpunkte der beiden Massen. Dann sind die Massen m_1 bei x_1 und m_2 bei x_2 lokalisiert, der Schwerpunkt wird bei x_S angenommen.

Der Schwerpunkt liegt bei x_S, wenn (entsprechend dem Hebelgesetz):

$$m_1 \cdot g_1 \cdot (x_S - x_1) = m_2 \cdot g \cdot (x_2 - x_S)$$

also

$$x_S = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} \text{ gilt.}$$

Wählen wir $x_1 = 0$ und damit $x_2 = l$, so erhalten wir

$$x_S = \frac{m_2 \cdot l}{m_1 + m_2}, \qquad \underline{\underline{x_S = \frac{1}{3}\ \text{m}.}}$$

Der Schwerpunkt befindet sich $\frac{1}{3}$ m von der Mitte der Masse m_1 entfernt auf der Verbindungsstange.

Beispiel 2

Eine quaderförmige Holzkiste ist homogen mit Material gefüllt. Die Gesamtmasse von Kiste und Inhalt beträgt $m = 20$ kg. Die Kiste steht mit ihrer quadratischen Grundfläche von $1{,}0\ \text{m}^2$ und der Höhe 2,0 m auf waagerechtem Boden.

Durch eine starke Windböe wirkt auf eine Seitenfläche die Windkraft von 120 N. Bleibt die Kiste stehen?

Lösung:

Gegeben: $m = 20$ kg
$a^2 = 1{,}0\ \text{m}^2$
$h = 2{,}0$ m
$F_W = 120$ N

Gesucht: Es ist die Standfestigkeit zu beurteilen.

Die Kiste bleibt stehen, solange das Standmoment bezüglich der möglichen Kippkante $M_s = m \cdot g \cdot \frac{a}{2}$ größer als das Kippmoment $M_K = F_W \cdot \frac{h}{2}$ ist. Dabei kann man sich Gewichts- und Windkraft am Schwerpunkt angreifend denken.

Da das Standmoment (mit den gegebenen Werten) mit 98 N · m kleiner als das Kippmoment von 120 N · m ist, <u>wird die Kiste umkippen</u>.

Beispiel 3

Ein 3,0 m langer Träger mit der Eigenmasse von 250 kg ist auf zwei Ziegelsteinen abgelegt. Der linke Ziegelstein liegt 0,2 m und der rechte 1,0 m vom jeweiligen Ende des Trägers entfernt. Wie verteilt sich die Gewichtskraft des Trägers auf die beiden Ziegelsteine?

Lösung:

Gegeben:	$l = 3{,}0$ m	Gesucht: F_1
	$e_1 = 0{,}2$ m	F_2
	$e_2 = 1{,}0$ m	
	$m = 250$ kg	

Es müssen die Gleichgewichtsbedingungen des starren Körpers erfüllt sein:

(1) $F_1 + F_2 = F_G$ — Summe der Auflagekräfte gleich Gewicht des Trägers

(2) $M_l = M_r$ — Linksdrehendes gleich rechtsdrehendes Moment

Der Schwerpunkt liegt genau in der Mitte des Trägers. Bezeichnen wir den Abstand des Schwerpunktes vom linken Ziegelstein mit a ($a = \frac{l}{2} - e_1$) und den Abstand des Schwerpunktes vom rechten Stein mit b ($b = \frac{l}{2} - e_2$), so kann (2) folgendermaßen geschrieben werden:

$$F_1 \cdot (a + b) = F_G \cdot b.$$

Dabei wurde der rechte Ziegelstein als Drehpunkt angenommen. Aus (2) und (1) erhält man

$$\frac{b}{a+b} F_G + F_2 = F_G, \quad F_2 = F_G \left(1 - \frac{b}{a+b}\right)$$

$$\underline{F_2 = 1{,}77 \text{ kN und mit (1) } F_1 = 0{,}68 \text{ kN.}}$$

Der linke Ziegelstein wird mit 0,68 kN und der rechte mit 1,77 kN belastet.

2.4. Arbeit, Energie, Leistung

Grundlagen

Mechanische Arbeit:

An einem mechanischen System verrichtet die konstante Kraft F die mechanische Arbeit:

$$W = F \cdot s \cdot \cos\sphericalangle(\vec{F}; \vec{s}).$$

Einheit der Arbeit: $[W] = J$ und $1\ J = 1\ kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$,

s: Weg, um den das System verschoben wird.

Zwischen der Prozeßgröße Arbeit W und der Zustandsgröße Energie E besteht der Zusammenhang:

$$W = \Delta E.$$

Leistung:

Der Quotient aus Arbeit oder Energieänderung und zugehörigem (möglichst kleinem) Zeitintervall heißt Leistung:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}.$$

Einheit der Leistung: $[P] = W$ und $1\ W = 1\ kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$.

Bewegt sich ein System infolge der Kraft F mit der Geschwindigkeit v, so gilt: $P = F \cdot v$.

Wirkungsgrad:

Die genutzte Arbeit (Leistung) im Verhältnis zur aufgewendeten heißt Wirkungsgrad η :

$$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} \quad \text{oder} \quad \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}.$$

Will man die Geschwindigkeit eines mechanischen Systems ändern, so ist die Beschleunigungsarbeit W_B notwendig:

$$W_B = \frac{m}{2} \cdot (v_e^2 - v_a^2).$$

Als kinetische Energie E_k bezeichnet man:

$$E_k = \frac{m}{2} \cdot v^2 + E_{ko}.$$

Wird bei konstantem Reibungskoeffizienten μ und konstanter Normalkraft F_N das System um s verschoben, so muß <u>Reibungsarbeit</u> verrichtet werden:

$$W_R = - \mu \cdot F_N \cdot s.$$

Reibungsarbeit führt zur irreversiblen Abnahme der mechanischen Gesamtenergie $\Delta E_{ges} = W_R$.

<u>Arbeit im Gravitationsfeld der Erde</u> (erdnaher Raum):

$$W_H = - W_G, \; W_G = - m \cdot g \cdot (y_e - y_a) = - m \cdot g \cdot h.$$

(W_G: Arbeit, die vom Gravitationsfeld an der Masse m verrichtet wird; W_H: Hubarbeit gegen die Gravitationskraft).

<u>Potentielle Energie:</u>

$$E_P = m \cdot g \cdot y + E_{po}.$$

Für die durch Federkraft am System verrichtete Arbeit gilt:

$$W_F = - \frac{k}{2} \cdot (x_e^2 - x_a^2).$$

Die <u>Energie der gespannten Feder</u> ist:

$$E_{Fp} = \frac{k}{2} \cdot x^2 \text{ (ohne Vorspannung).}$$

<u>Gesetz von der Erhaltung der mechanischen Energie:</u>

In einem abgeschlossenen und reibungsfreien mechanischen System gilt:

$$E_{ges} = E_p + E_k = \text{konst.} \quad \text{und} \quad \Delta E_p + \Delta E_k = 0.$$

Die mechanischen Energieformen sind ineinander umwandelbar, ihre Summe bleibt erhalten.

Beispiel 5

Eine Kugel der Masse m und mit vernachlässigbarem Radius r hängt an einem dünnen Faden der Länge l = 75 cm. Durch eine horizontale, kurzzeitige Krafteinwirkung erhält die Kugel eine Geschwindigkeit v_0. Sie erreicht dadurch, vom Faden geführt, gerade den oberen Scheitelpunkt ihrer Kreisbewegung.

Wie groß muß die Geschwindigkeit v_o sein, wenn man von Reibungskräften absieht?

Lösung:

Gegeben: $l = 75$ cm Gesucht: v_o

$g = 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Damit die Kugel in Punkt B ihrer Bahn die geforderte Bewegung ausführen kann, muß die Fliehkraft gleich der Gewichtskraft der Kugel sein.

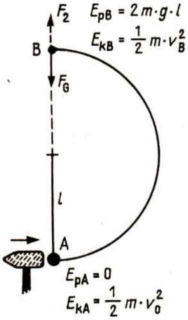
$$F_G = F_r \; (= F_F) \qquad (1)$$

Ferner gilt der Energieerhaltungssatz der Mechanik im abgeschlossenen System

$$E_{pA} + E_{kA} = E_{pB} + E_{kB} \qquad (2)$$

Mit $F_r = \dfrac{m \cdot v_B^2}{r}$ und $F_G = m \cdot g$ folgt aus (1)

$v_B^2 = g \cdot r = g \cdot l.$ (3)



Die Energiebetrachtung ergibt für Punkt A:

$$E_{pA} = 0 \text{ und } E_{kA} = \frac{m \cdot v_o^2}{2} \qquad (4)$$

Punkt B:

$$E_{pB} = 2 \cdot m \cdot g \cdot l \text{ und} \qquad (5)$$

$$E_{kB} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 \qquad (6)$$

(3), (4), (5) und (6) in (2) eingesetzt liefert

$$\frac{m \cdot v_o^2}{2} = 2 \cdot m \cdot g \cdot l + \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot l = \frac{5 \cdot m \cdot g \cdot l}{2}$$

$$v_o = \sqrt{5 \cdot g \cdot l}$$

Mit den gegebenen Werten ergibt sich

$$v_o = \sqrt{5 \cdot 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 0{,}75 \text{ m}}$$

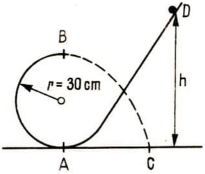
$$\underline{\underline{v_o = 6{,}07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

Damit die Kugel unter den geforderten Bedingungen den oberen Scheitelpunkt gerade erreichen kann, muß ihre Anfangsgeschwindigkeit 6,07 m · s^{-1} betragen.

Aufgaben

2.4.1. Eine Kugel mit der Masse m = 25 g ist an einer masselos gedachten Stange befestigt. Die Kugel erhält durch einen Schlag mit einem Hammer eine Geschwindigkeit v_o (analog Beispiel) und schwingt dadurch so um den Aufhängepunkt in vertikaler Ebene, daß sie gerade über den oberen Scheitelpunkt der Kreisbewegung hinwegschwingen kann. Die Länge der Stange beträgt 75 cm. Es wird festgestellt, daß die Anfangsgeschwindigkeit v_o kleiner als die im Beispiel errechnete Geschwindigkeit ist. Diese Feststellung ist durch Rechnung zu begründen!
Warum ist die Geschwindigkeit der Kugel von der Masse der Kugel unabhängig, wenn sie die Bahn wie gefordert durchlaufen soll?

2.4.2. Eine Schleifenbahn hat die in der Skizze angegebene Form und die entsprechenden Maße. Ein Körper, der Masse 30 g durchläuft vollkommen reibungsfrei die Schleife so, daß er im Punkt B die Bahn horizontal verläßt und sich frei bewegt. Er trifft im Punkt C auf die Horizontalebene, auf welcher sich auch der Punkt A befindet.
a) Wie groß muß die Starthöhe über der Horizontalebene mindestens gewählt werden, damit der Körper den Punkt B passieren kann, ohne abzustürzen?
b) Mit welcher Geschwindigkeit und unter welchem Winkel trifft der Körper im Punkt C auf die Horizontalebene auf?



2.4.3. Die Kugel (m = 20 g) eines Federwurfgerätes wird horizontal in eine in einer Vertikalebene angeordnete kreisförmige Führungsrinne (Radius r = 0,50 m) eingeschossen und durchläuft diese reibungsfrei, ohne vom Scheitelpunkt herabzufallen. Die Feder des Gerätes ist stets um die Strecke x_a = 2 cm vorgespannt und hat eine Federkonstante k = 600 N · m^{-1}.

a) Um welche Strecke Δ x muß die Feder mindestens weitergespannt werden, damit der Prozeß wie gefordert ablaufen kann?
b) Mit welcher Geschwindigkeit v_o verläßt die Kugel das Gerät?
c) Wieviel Prozent der Spannenergie werden in Wärme umgewandelt, wenn in einem Realfall die Feder um 2 cm (außer der Vorspannung) gespannt werden müßte, um den Umlauf zu gewährleisten?

2.4.4. Der Fahrer eines Busses (Gesamtmasse 9,7 t) muß eine Notbremsung ausführen. Eine Sekunde lang blockieren die Räder. Dabei verringert sich die Geschwindigkeit des Fahrzeuges von 40 km · h^{-1} auf 30 km · h^{-1}. Die Bewegung sei gleichmäßig verzögert. Wie groß ist während des Blockierens der Räder der Reibungskoeffizient?

Zeichne zu dem Vorgang ein Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm und bestimme damit den während des Blockierens zurückgelegten Weg.

2.4.5. Ein Körper mit der Masse 1 kg wird aus einer Höhe von 2 m über dem Boden senkrecht nach oben geworfen. Nach dem 2. Aufprall des Körpers auf einer Platte, die auf den Erdboden liegt, springt der Körper auf eine Höhe von 4 m zurück.
Es ist die Anfangsgeschwindigkeit des Körpers zu berechnen, wenn bei jedem Aufprall jeweils 15 % der mechanischen Energie in Wärme umgewandelt werden!

2.4.6. Ein PKW "Trabant" mit der Masse von 850 kg legt beim Anfahren in 8 s einen Weg von 54 m zurück. Die Bewegung erfolgt gleichmäßig beschleunigt auf gerader Straße. Wie groß ist die maximale Leistung, die am Ende des Wegstückes aufgebracht wird? Wie groß ist die Durchschnittsleistung?

2.4.7. Ein Holzklotz rutscht auf einer geneigten Ebene (μ = 0,45) aus einer Höhe von 1,6 m nach unten. Die Länge der geneigten Ebene beträgt 3,8 m.

a) Wie groß ist die Geschwindigkeit des Holzklotzes am Ende der geneigten Ebene?
b) Wieviel mechanische Energie wandelt sich bei diesem Vorgang in Wärme um?
   (Eventuell Annahme: m_K = 1 kg)
c) Wie lang darf die geneigte Ebene bei einer Höhe von 1,6 m höchstens sein, damit der Klotz auf jeden Fall rutscht?

2.4.8. Eine masselos gedachte Feder ist an einer Wand befestigt. Das freie Ende ist mit einer Masse m = 50 g versehen, die an einem langen Faden aufgehängt ist. Wird die Feder (Federkonstante k = 1,0 N $\cdot$ cm^{-1}) um eine Strecke x_0 = 15 cm horizontal gedehnt und die Masse freigegeben, so wird die Masse auf die Wand zu beschleunigt.
Wie groß wird bei horizontaler Bewegung die maximale Geschwindigkeit v_{max}?

2.4.9. Ein mit 4 Personen besetztes Auto (Gesamtmasse 1 t) wird nach dem Halten an einem Bahnübergang auf einer Strecke von 80 m gleichmäßig beschleunigt. Dabei wird eine Geschwindigkeit von 62 km $\cdot$ h^{-1} erreicht. Wie groß ist die durchschnittliche Leistung, die hierbei vom Motor aufzubringen ist?

2.4.10. Ein Körper mit einer Masse von 25 kg wird aus der Ruhe gleichmäßig beschleunigt auf eine Höhe von 30 m gehoben. Dabei wird eine Arbeit von 8,3 kJ verrichtet.
Wie lange dauert der Vorgang, wenn die Reibung vernachlässigt werden kann?

2.4.11. Ein Kind (m_1 = 32 kg) fährt mit einem Schlitten (m_2 = 7 kg) einen 30 m langen Hang hinab.

a) Wie groß ist die Geschwindigkeit am Ende des Hanges, wenn die Reibungszahl 0,1 beträgt und die Strecke ein Gefälle von 18 % hat?

b) Wie groß ist die maximale Leistung, die bei dieser Bewegung entwickelt wird? (Hinweis: Der Luftwiderstand wird vernachlässigt.)

2.4.12. Ein Körper mit der Masse von 600 g wird mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 2 m · s^{-1} auf eine senkrecht stehende entspannte Schraubenfeder geworfen. Der Wurf findet aus einer Höhe von 0,5 m über dem oberen Ende der Feder statt. Die Federkonstante beträgt 750 N · m^{-1}.

a) Um wieviel wird die Feder zusammengedrückt, und welche Arbeit wird an der Feder verrichtet, wenn man annimmt, daß bei dem Vorgang keine Wärme auftritt?

b) Welche Geschwindigkeit hat der Körper, wenn die Feder um 2 cm zusammengedrückt ist (gleiche Bedingung)?

c) Auf welche Höhe über der entspannten Feder steigt der Körper nach dem Entspannen der Feder, wenn 5 % der mechanischen Energie in Wärme umgewandelt wird? (Die Masse der Feder bleibt unberücksichtigt.)

2.4.13. Ein kleiner Wagen rollt eine 20 m lange Strecke, deren Gefälle 4 % beträgt, abwärts und auf einer gleichgroßen Steigung anschließend wieder nach oben. Die Fahrwiderstandszahl beträgt beim ganzen Vorgang μ = 0,03.
Berechnen Sie die Strecke s, die der Wagen auf der Steigung zurücklegt!

2.4.14. Ein Erdsatellit (m = 180 kg) wurde auf eine Kreisbahn um die Erde gebracht und bewegt sich in einer Höhe von 520 km.

a) Wie groß ist die Arbeit, die am Satelliten durch die Schwerkraft der Erde verrichtet wird, wenn angenommen wird, daß er eine halbe Kreisbahn in 47 Minuten durchflogen hat?

b) Wie groß ist die kinetische Energie des Raumflugkörpers in kWh?

2.4.15. Eine Luftgewehrkugel wird mit einer Geschwindigkeit $v_o = 140\ m \cdot s^{-1}$ unter einem Winkel von 30^o nach oben abgeschossen. Wie groß ist die Geschwindigkeit der Kugel am Gipfelpunkt ihrer Bahn, wenn eine parabelförmige Flugbahn vorausgesetzt wird?
Wie ändert sich die Geschwindigkeit, wenn man eine ballistische Flugbahn voraussetzt?

2.4.16. Leiten Sie unter Anwendung des Energieerhaltungssatzes eine Formel zur Berechnung der Geschwindigkeit eines horizontalen Federschwingers beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage her!

2.4.17. Mit einem Luftgewehr wird senkrecht nach oben geschossen. In einer Höhe von h = 500 m sind potentielle und kinetische Energie der Kugel gleich groß.
a) Berechnen Sie die Abschußgeschwindigkeit!
b) Wie hoch steigt die Kugel?
c) Wie groß ist die Schußweite bei der ermittelten Geschwindigkeit, wenn von einer Plattform (h = 10 m) waagerecht abgeschossen wird?
d) Wie groß ist die Auftreffgeschwindigkeit der Kugel im Falle c)?
(Anm.: Der Luftwiderstand ist zu vernachlässigen!)

2.5. Kraftstoß und Impuls

Grundlagen

Kraftstoß:

Eine konstante Kraft, die während des Zeitintervalls Δt wirkt, ruft den Kraftstoß S hervor:

$$\vec{S} = \vec{F} \cdot \Delta t.$$

Einheit des Kraftstoßes: $[S] = N \cdot s$, $1\ N \cdot s = 1\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$.

Impuls:

Das Produkt aus der Masse eines Körpers und seiner Geschwindigkeit heißt Impuls $\vec{p}$:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}.$$

Einheit des Impulses: $[p] = kg \cdot m \cdot s^{-1}$.

Das Wirken der Prozeßgröße S führt zur Änderung der Zustandsgröße p:

$$\vec{S} = \Delta \vec{p}.$$

Impulserhaltungsgesetz:

Für ein abgeschlossenes physikalisches System (ohne äußere Krafteinwirkung) gilt: Der Gesamtimpuls ist eine Erhaltungsgröße. Durch innere Kraftstöße kann sich der Impuls eines Teilsystems immer nur auf Kosten der Impulse anderer Teilsysteme ändern.

$$m_1\vec{v}_1 + \ldots + m_u\vec{v}_u = \vec{p}_{ges} = \text{konst.}$$

Dabei bleibt auch der Schwerpunkt (Massenmittelpunkt) des Systems erhalten.

Gesetze für den idealen geraden und zentralen Stoß zweier Körper:

1. unelastisch:

   Aus dem Impulserhaltungssatz folgt:

   $$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2) \cdot u$$

   (u: gemeinsame Geschwindigkeit der beiden Massen nach dem unelastischen Stoß).

2. elastisch:

   Impuls- und Energieerhaltungssatz für mechanische Systeme liefern:

   $$u_1 = v_1 \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + v_2 \cdot \frac{2\,m_2}{m_1 + m_2}$$

   $$u_2 = v_2 \cdot \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} + v_1 \cdot \frac{2\,m_1}{m_1 + m_2}$$

   $$u_1 + v_1 = u_2 + v_2$$

   $v_{1,2}$: Geschwindigkeiten vor dem Stoß

   $u_{1,2}$: Geschwindigkeiten nach dem Stoß.

Beispiel

Ein Körper der Masse $m_1 = 4$ kg hat eine Geschwindigkeit von $3\ m \cdot s^{-1}$ und stößt mit einem zweiten Körper zusammen, dessen Masse $m_2 = 6$ kg beträgt und der ihm mit der Geschwindigkeit $1{,}0\ m \cdot s^{-1}$ entgegenkommt. Es sind die Geschwindigkeiten der beiden Körper nach einem geraden zentralen Stoß zu ermitteln, wenn der Stoß

a) ideal elastisch

b) ideal unelastisch

war.

Lösung:

Gegeben: $m_1 = 4$ kg; $v_1 = 3\ m \cdot s^{-1}$

$m_2 = 6$ kg; $v_2 = -1\ m \cdot s^{-1}$ (entgegengesetzt gerichtet)

Gesucht: a) u_1 und u_2

b) u

a) Beim elastischen Stoß prallen beide Körper voneinander ab und bewegen sich nach dem Stoß mit eigenständiger Geschwindigkeit.

Es gelten Impulssatz und Energieerhaltungssatz der mechanischen Energie. Für die Berechnung der Geschwindigkeiten der Körper nach dem Stoß gelten die Gleichungen:

$$u_1 = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} + v_2 \frac{2\ m_2}{m_1 + m_2} \text{ und}$$

$$u_2 = v_2 \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} + v_1 \frac{2\ m_1}{m_1 + m_2}.$$

Mit gegebenen Werten:

$$u_1 = 3\ m \cdot s^{-1} \frac{4\ kg - 6\ kg}{4\ kg + 6\ kg} - 1\ m \cdot s^{-1} \frac{2 \cdot 6\ kg}{4\ kg + 6\ kg}$$

$$u_1 = (3 \cdot (-0{,}2) - 1 \cdot (1{,}2))\ m \cdot s^{-1}$$

$$\underline{\underline{u_1 = -1{,}8\ m \cdot s^{-1}}}$$

$$\underline{\underline{u_2 = 2{,}2\ m \cdot s^{-1}}}$$

Die Summen der Geschwindigkeiten der Körper vor und nach dem Stoß sind gleich:

$$v_1 + u_1 = v_2 + u_2$$
$$3 m \cdot s^{-1} + (-1{,}8\ m \cdot s^{-1}) = (-1\ m \cdot s^{-1}) + 2 \cdot 2\ m \cdot s^{-1}$$
$$1{,}2\ m \cdot s^{-1} = 1{,}2\ m \cdot s^{-1}$$

b) Beim unelastischen Stoß bewegen sich beide Körper nach dem Zusammenstoß gemeinsam weiter. Es gilt der Impulssatz:

$$m_1v_1 = m_2v_2 = u\ (m_1 + m_2)$$
$$u = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

Mit gegebenen Werten:

$$u = \frac{4\ kg \cdot 3\ m \cdot s^{-1} + 6\ kg \cdot (-1\ m \cdot s^{-1})}{4\ kg + 6\ kg}$$

$$u = \frac{(12 - 6)\ m \cdot s^{-1}}{10}$$

$$\underline{\underline{u = 0{,}6\ m \cdot s^{-1}}}$$

Beim elastischen Stoß bewegen sich die beiden Körper nach dem Zusammenprall jeweils entgegengesetzt zu ihren ursprünglichen Bewegungsrichtungen und zwar Körper 1 mit $1{,}8\ m \cdot s^{-1}$ und Körper 2 mit $2{,}2\ m \cdot s^{-1}$.
Beim unelastischen Stoß bewegen sich beide Körper nach dem Zusammenprall gemeinsam in der ursprünglichen Richtung des Körpers 1 mit der Geschwindigkeit von $0{,}6\ m \cdot s^{-1}$.

Aufgaben

2.5.1. Ein Straßenbahnwagen von 9,5 t Masse fährt mit $v_1 = 3\ m \cdot s^{-1}$ gegen einen stehenden Straßenbahnanhänger von 3,6 t Masse, wobei die Kupplung sofort einrastet.
Wie groß ist die gemeinsame Geschwindigkeit des Straßenbahnzuges?

2.5.2. Ein auf einer waagerechten glatten Eisfläche stehender Schlittschuhläufer der Masse $m_1 = 65$ kg fängt einen Ball der Masse $m_2 = 280$ g, der waagerecht mit der Geschwindigkeit $v = 15\ m \cdot s^{-1}$ von vorn auf ihn zugeflogen kommt.
Welche Strecke gleitet der Eisläufer mit dem Ball auf dem Eis, wenn die Reibungszahl $\mu = 0{,}014$ beträgt?

2.5.3. Zur Messung der Anfangsgeschwindigkeit v_0 von Geschossen dient das ballistische Pendel. Dieses ist meist eine Sandkiste, die pendelfähig aufgehängt ist. Man ermittelt den Impuls, den das Geschoß auf die Kiste überträgt, wenn es in waagerechter Richtung in die Kiste hineingeschossen wird, und zwar derart, daß es in ihr steckenbleibt.

a) Welche Geschwindigkeit hat ein Geschoß der Masse $m_1 = 50$ g, wenn eine Sandkiste der Masse $m_2 = 60$ kg und der Pendellänge $l = 1$ m nach dem Einschlag um den Winkel $\alpha = 13{,}7^\circ$ zur Seite schwingt?

b) Wie weit wäre die Sandkiste mit dem eingedrungenen Geschoß (vorausgesetzt, sie wäre nicht an Fäden aufgehängt worden) über eine waagerechte Tischplatte gerutscht, wenn der Reibungskoeffizient 0,4 beträgt?

2.5.4. Eine konstante Kraft $F = 200$ N wirkt während der Zeit $t = 10$ ms auf ein ruhendes Fadenpendel der Masse $m = 7$ kg und der Länge $l = 1{,}20$ m.

Zu berechnen sind Anfangsgeschwindigkeit, Energie und Winkelausschlag des Pendels.

Benutzen Sie die Näherung: $\cos \varphi = 1 - \frac{1}{2} \varphi^2$.

2.5.5. Ein Geschoß der Masse 8,9 g wird mit der Maximalgeschwindigkeit 810 $m \cdot s^{-1}$ aus einem Gewehr der Masse 4,2 kg abgefeuert.

Mit welcher Geschwindigkeit stößt das Gewehr zurück, wenn es waagerecht an Fäden aufgehängt ist?

2.5.6. In einem glatten waagerechten Rohr befinden sich zwei zylindrische Körper der Massen $m_1 = 240$ g und $m_2 = 600$ g und zwischen ihnen eine gespannte Feder. Man gibt die Feder plötzlich frei, so daß beide Massen in entgegengesetzten Richtungen aus dem Rohr geschleudert werden.

Mit welchen Geschwindigkeiten bewegen sie sich (reibungsfrei), wenn die Feder bei der Entspannung die Energie $E = 12$ J umwandelt?

2.5.7. Ein Flugzeug fliegt mit einer Geschwindigkeit von 1080 km · h^{-1} parallel zur Erdoberfläche und startet eine Rakete von 700 kg Masse in Flugrichtung. Die Rakete stößt dabei auf einmal eine Treibstoffmenge von 170 kg aus. Der ausströmende Gasstrahl hat eine Geschwindigkeit von 1200 m · s^{-1}, bezogen auf das Flugzeug.
Wie hoch flog das Flugzeug im Moment des Raketenstarts, wenn der zu diesem Zeitpunkt überflogene Erdort 36 km vom Aufschlagpunkt der Rakete auf die Erde entfernt ist und die Erdoberfläche als waagerechte Ebene angenommen wird?

2.5.8. Eine Sprenggranate fliegt mit einer Geschwindigkeit von 80 m · s^{-1} und explodiert in zwei Teile. Das größere Stück, dessen Masse 65 % der Gesamtmasse der Granate ausmacht, fliegt in gleicher Richtung, aber mit vergrößerter Geschwindigkeit von 200 m · s^{-1}.
Wie groß ist die Geschwindigkeit des kleineren Stückes?

2.5.9. Das Beschleunigen einer Rakete erfolgt im Verlaufe einer längeren Zeit durch das ununterbrochene Verbrennen und Ausströmen der Gase, wodurch die Masse der Rakete ständig abnimmt und die Geschwindigkeit der Rakete kontinuierlich wächst. Das heißt, wir haben eine veränderliche Masse zu berücksichtigen.
Im Jahr 1903 fand der russische Forscher Ziolkowski die Gesetzmäßigkeit für diesen Zusammenhang:

$$\frac{m_o}{m_1} = e^{\frac{v}{c}}$$

In der Gleichung bedeuten:
m_o: Startmasse der Rakete
m_1 : Raketenmasse bei Brennschluß
v : Raketengeschwindigkeit bei Brennschluß
c : Ausströmungsgeschwindigkeit der Gase.

Bei Anwendung dieser Gleichung werden Erdanziehung und Luftreibung vernachlässigt.
Welche Treibstoffmenge muß eine Einstufenrakete verbrennen, wenn die Ausströmgeschwindigkeit der Gase 300 m · s^{-1} beträgt und eine Masse von 150 kg die erste kosmische Geschwindigkeit erreichen soll?

2.6. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

Grundlagen

Schweredruck in Flüssigkeiten:

In einer Tiefe h entsteht durch die Flüssigkeit zusätzlich zu dem auf die Flüssigkeitsoberfläche wirkenden Druck (z. B. Luftdruck, Kolbendruck) der Schweredruck:

$p_S = \rho \cdot g \cdot h$, ($\rho$: Dichte, g: Fallbeschleunigung)
Einheit des Druckes: $[p] = N \cdot m^{-2}$ $1\ N \cdot m^{-2} = 1\ Pa$

Auftrieb:

In Flüssigkeiten und Gasen erfährt ein eingetauchter Körper eine entgegen zur Gewichtskraft gerichtete Auftriebskraft vom Betrag:

$F_A = \rho_F \cdot g \cdot V_F$.

(ρ_F: Dichte der Flüssigkeit, V_F: vom Körper verdrängtes Flüssigkeits- oder Gasvolumen)

Kontinuitätsgleichung:

Ändert sich die Querschnittsfläche A einer unverzweigten Rohrleitung, in der Flüssigkeiten (oder Gase) strömen, so ändert sich die Geschwindigkeit v, mit der das Medium strömt, nach dem Gesetz:

$A \cdot v = \text{konstant.}$

Bernoullische Gleichung:

Aus dem Energiegesetz kann für reibungsfrei strömende Flüssigkeiten oder Gase gefolgert werden, daß der Gesamtdruck als Summe aus einem auf das Medium ausgeübten statischen Druck (z. B. als Kolbendruck) p, dem Schweredruck $\rho \cdot g \cdot h$ und dem Staudruck $\rho \cdot \frac{v^2}{2}$ konstant bleibt:

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 = \text{konstant.}$$

Unter den genannten Annahmen der Reibungsfreiheit folgt daraus für die Ausströmgeschwindigkeit v aus einer Öffnung, die um h unterhalb der Oberfläche liegt: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ (Torricellisches Ausflußgesetz).

Beispiel 1

Wie groß ist der Schweredruck des Wassers am Boden eines 10 m tiefen Sees? Welche Zugkraft wirkt an einer Angelschnur, an der in dieser Tiefe ein Stahlbehälter mit der Masse 15 kg und dem Volumen 2,5 l hängt?

Lösung:

Gegeben: $h = 10$ m
$m = 15$ kg
$V = 2{,}5$ l
$\varrho_W = 1{,}0 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$, $g = 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Der Schweredruck ergibt sich aus $p_S = \varrho_W \cdot g \cdot h$

$$p_S = 98 \text{ kPa}$$

Der Gesamtdruck in dieser Tiefe setzt sich aus dem Schweredruck p_S und dem Luftdruck an der Oberfläche $p_L = 101$ kPa zusammen, so daß in 10 m Tiefe ein Gesamtdruck von etwa 200 kPa herrscht.
Der Betrag der Zugkraft in der Schnur ergibt sich als Differenz zwischen den Beträgen der Gewichtskraft und der Auftriebskraft.

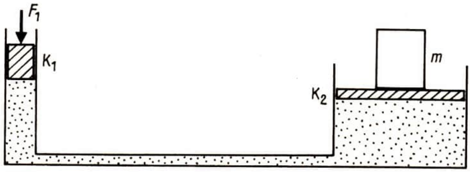
$$F_Z = F_G - F_A$$
$$F_Z = m \cdot g - \varrho_W \cdot g \cdot V$$
$$F_Z = g \cdot (m - \varrho_W \cdot V)$$
$$F_Z = 123 \text{ N}$$

Das Volumen des verdrängten Wassers ist gleich dem Volumen des Behälters, solange er vollständig eingetaucht bleibt. Solange ist die Zugkraft auch unabhängig von der Eintauchtiefe.

Beispiel 2

An einer hydraulischen Presse (s. Abb.) wird der Kolben 1 mit der Kolbenfläche $A_1 = 10\ cm^2$ durch eine Kraft $F_1 = 120\ N$ mit der konstanten Geschwindigkeit $v_1 = 1{,}5\ cm \cdot s^{-1}$ eingedrückt.

Mit welcher Geschwindigkeit hebt sich der Arbeitskolben 2 und wie groß ist die Masse m des auf dem Kolben 2 liegenden Körpers? Die Eigenmasse der Kolben kann vernachlässigt werden, der Kolben 2 hat eine Fläche von $150\ cm^2$.



Lösung:

Gegeben: $A_1 = 10\ cm^2$ Gesucht: v_2

$A_2 = 150\ cm^2$ m

$v_1 = 1{,}5\ cm \cdot s^{-1}$

$F_1 = 120\ N$

Aus der Kontinuitätsgleichung folgt

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot v_1$$

$$\underline{\underline{v_2 = 0{,}1\ cm \cdot s^{-1}}}$$

Aus $p_{ges\ 1} = p_{ges\ 2}$ folgt $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ und mit $F_2 = m \cdot g$

$$m = \frac{A_2 \cdot F_1}{A_1 \cdot g}, \quad m = \underline{\underline{183\ kg}}.$$

Auf dem Arbeitskolben 2 liegt die Masse 183 kg. Sie wird mit $0{,}1\ cm \cdot s^{-1}$ angehoben.

Beispiel 3

In einer Stahlflasche befindet sich Druckluft unter dem Gesamtdruck von 500 kPa. Mit welcher Geschwindigkeit würde die Luft anfangs aus einer Öffnung in der Flasche strömen, wenn man Reibungsfreiheit bei der Luftströmung annimmt? Der äußere Luftdruck beträgt $p_L = 100$ kPa, die Dichte der Luft $\varrho_L = 1{,}3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Lösung:

Gegeben: $p_1 = 500$ kPa Gesucht: v_2

$p_2 = p_L = 100$ kPa

$\varrho_L = 1{,}3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$v_1 = 0$

Aus dem Gesetz von Bernoulli ergibt sich

$$p_1 + \varrho_L \cdot \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \varrho_L \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

Daraus folgt mit

$$v_1 = 0; \; v_2 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\varrho_L}$$

$$\underline{\underline{v_2 = 784 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}.$$

Die Luft würde mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $784 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ausströmen. (Mit lautem Knall, wegen Überschallgeschwindigkeit).

3. PRAKTIKUM

3.1. Einführung

Ziele des physikalischen Praktikums

Das physikalische Praktikum ist ein wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts an Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung.
Es soll Ihnen nicht nur helfen, den im Unterricht erarbeiteten Stoff und die erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten im Umgang mit Geräten zu festigen und zu vertiefen, sondern soll auch zeigen, wie vielfältig die Methoden sein können und müssen, um die in der Natur wirkenden Gesetze zu erforschen, ihren objektiven Charakter nachzuweisen und sie nutzbringend anzuwenden.
Sie erhalten durch die Lösung der Praktikumsaufgaben einen besseren Überblick über verschiedene Teilgebiete der Physik und ihren Zusammenhang.
Indem Sie die Praktikumsexperimente gründlich vorbereiten, sorgfältig durchführen und kritisch auswerten, lernen Sie Methoden des wissenschaftlichen Arbeitens kennen und schaffen gute Voraussetzungen für den Physikunterricht in der Abiturstufe und für Ihre spätere berufliche Tätigkeit.

Inhalt und Durchführung des physikalischen Praktikums

Das physikalische Praktikum in der Klasse 10 bezieht sich auf zurückliegenden Unterrichtsstoff und beinhaltet Experimente aus den Stoffgebieten Elektrik und Mechanik. Zu den Aufgaben sind nur wenige Hinweise gegeben, so daß Sie die Planung, Durchführung und Auswertung weitgehend selbständig ausführen müssen.

Die Durchführung der Experimente setzt gewisse praktische Grundkenntnisse und Fähigkeiten voraus, wie Umgang mit Meßgeräten,

Exaktheit, geschulte Beobachtungsgabe, experimentelles Geschick und gewissenhafte Protokollführung. Zur Versuchsvorbereitung sind die nötigen Grundlagen rechtzeitig zu wiederholen und außerdem ist das Studium geeigneter Fachliteratur unbedingt erforderlich. Gute Leistungen im Praktikum können nur durch gute Vorbereitung der Versuche, einen rationellen Arbeitsstil, Sorgfalt bei den Messungen, Ordnung am Arbeitsplatz, kameradschaftliches Verhalten zu den Mitschülern und Einhaltung der Bestimmungen zum Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz erzielt werden.
Die Durchführung eines Experiments schließt die Erfassung der Meßwerte und die Anfertigung des Meßprotokolls ein. Besonders wichtig ist die kritische Einschätzung der Meßergebnisse.

Fehlerbetrachtungen

Jedes Meßergebnis wird durch Unvollkommenheiten der Meßgeräte und Meßverfahren sowie durch subjektive Einflüsse und Störungen aus der Umgebung verfälscht. Bestandteil des Meßergebnisses muß also immer eine Aussage über das Vertrauen sein, das man ihm entgegenbringen darf. Die Fehlerbetrachtung ist deshalb eine wesentliche Tätigkeit in der Auswertung der Messung.
Im Praktikum der 10. Klasse erfolgt eine Fehlerbetrachtung, bei der die systematischen und zufälligen Fehleranteile abgeschätzt werden müssen. Dazu werden die bei der Messung auftretenden Fehlerursachen und Fehlerarten zusammengestellt und analysiert. Die Größe der auftretenden Meßfehler wird abgeschätzt und das Meßergebnis formuliert. Da direkte Meßwerte meist erst durch mathematische Beziehungen zur gesuchten Größe verknüpft werden müssen, gehen ihre Fehler auch in das Ergebnis ein, das sich dann aus ermittelten Meßwerten und der Meßunsicherheit (Einfluß aller zufälligen und abschätzbaren systematischen Fehler) zusammensetzt.

Die Berechnung des Fehlers bei indirekten Messungen erfolgt mit Formeln, in die die Größtfehler der einzelnen direkten Meßwerte eingesetzt werden.

Es gelten folgende Beziehungen:

- Bei Addition oder Subtraktion zweier Meßwerte x_1, x_2 zu einem Meßergebnis y ist der absolute Fehler y des Meßergebnisses gleich der Summe der Beträge der absoluten Fehler der Meßwerte:

$$|\Delta y| = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| \cdot$$

- Bei Multiplikation oder Division zweier Meßwerte x_1, x_2 zu einem Meßergebnis y ist der relative Fehler des Meßergebnisses gleich der Summe der Beträge der relativen Fehler der Meßwerte:

$$\left|\frac{\Delta y}{y}\right| = \left|\frac{\Delta x_1}{x_1}\right| + \left|\frac{\Delta x_2}{x_2}\right|.$$

- Für Potenzen $y = x^k$ gilt:

$$\left|\frac{\Delta y}{y}\right| = |k| \cdot \left|\frac{\Delta x}{x}\right|.$$

Fehlergrenzen einiger im Praktikum verwendeter Meßgeräte

Alle im Praktikum verwendeten Meßgeräte weisen beim Messen einen systematischen Fehler auf, der in die Meßunsicherheit eingeht. Durch die folgenden Angaben sind Sie in der Lage, den bei der Messung zu erwartenden Meßfehler vorherzubestimmen, um die mit den verwendeten Mitteln erreichbare Genauigkeit abschätzen zu können.

Meßgeräte	Fehler
UNI 7	± 1 % bzw. 1,5 %
Polytest	± 2,5 %
Polyzet	± 5 %
	jeweils des Endausschlages
Widerstandsmeßberücke	
Bereich 0,9 Ω - 1,1 MΩ	± 1 %
0,9 MΩ - 11 MΩ	± 1,5 %
Stoppuhr	± 0,2 s
Meßzylinder	± 0,5 % bis 1 %
Thermometer	
org. Flüssigkeit ($\frac{1}{1}$ K.-Teil)	± 1 K bis ± 2 K
Quecksilber	
($\frac{1}{10}$ K-Teilung)	± 0,2 K
($\frac{1}{1}$ K-Teilung)	± 0,5 K bis 1 K
Waage	± 0,3 %
Stahlmeßstab	± 0,1 %
Feinmeßzeiger (Meßuhr)	± 25 µm

3.2. Praktikumsexperimente

1. Bestimmen von Urspannung und Innenwiderstand einer Spannungsquelle

Aufgaben

1. Bestimmen Sie die Urspannung der vorgegebenen Spannungsquelle!
2. Stellen Sie folgende Abhängigkeiten grafisch dar:
   Klemmenspannung vom äußeren Widerstand,
   Klemmenspannung von der Stromstärke,
   Stromstärke vom äußeren Widerstand!
3. Ermitteln Sie durch Auswerten verschiedener Belastungsfälle den Innenwiderstand der Spannungsquelle!

Geräte und Hilfsmittel

1 Spannungsquelle	verschiedene Widerstände
2 Vielfachmeßgeräte	1 Satz Verbindungsleiter

Literaturempfehlung

Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 122.

2. Bestätigen der Gesetze für den Transformator

Aufgaben

1. Bestätigen Sie die Gesetze der Spannungsübersetzung und der Stromstärkeübersetzung!
   Stellen Sie für den unbelasteten Transformator das Verhältnis $\frac{U_2}{U_1}$ in Abhängigkeit von U_1 grafisch dar!
2. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Sekundärspannung vom Luftwiderstand und die Abhängigkeit der Primärstromstärke von der Sekundärstromstärke beim belasteten Transformator!
3. Bestimmen Sie den Wirkungsgrad eines Transformators in Abhängigkeit von der Belastung und stellen Sie den Zusammenhang $\eta = f\ (I_2)$ grafisch dar!
4. Wiederholen Sie die letzte Versuchsreihe mit einem massiven Eisenkern und tragen Sie das Ergebnis in das gleiche Koordinatensystem ein!
   Vergleichen Sie beide Kurven miteinander!

Geräte und Meßmittel

1 Stromversorgungsgerät	1 veränderbarer Widerstand
2 Vielfachmeßgeräte	1 Satz Verbindungsleiter
1 Transformator (mit unterschiedl. Eisenkernen)	

Literaturempfehlung

Physik 10 Praktikum, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980, S. 19.

3. Untersuchung der Leistungsanpassung im Grundstromkreis

Aufgaben

1. An eine Spannungsquelle werden der Widerstand R und ein veränderbarer Verbraucherwiderstand R_V in Reihe angeschlossen. Leiten Sie eine Formel zur Berechnung der Verbraucherleistung in Abhängigkeit vom Verbraucherwiderstand her und stellen Sie diesen Zusammenhang grafisch dar!
2. Bestimmen Sie experimentell für 2 verschiedene Widerstände R die am Verbraucher R_V umgesetzte Leistung und vergleichen Sie diese mit den unter Benutzung der hergeleiteten Formel errechneten Werten!
3. Formulieren Sie ausgehend von den Versuchsergebnissen die allgemeine Bedingung für die Leistungsanpassung und erläutern Sie die praktische Bedeutung!

Geräte und Hilfsmittel

1 Spannungsquelle
2 Vielfachmeßgeräte
Dekadenwiderstände
1 Satz Verbindungsleiter

Hinweis

Der eigentliche Innenwiderstand der Spannungsquelle kann bei diesem Versuch vernachlässigt werden. Der Widerstand R übernimmt hier die Rolle des Innenwiderstandes!

Literaturempfehlung

Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 138.

4. Erkennen von Bauelementen aus Black-Box-Experimenten

Aufgaben

1. Entwickeln Sie eine Schaltung, mit der Sie gezielt untersuchen können, welche Bauelemente in der jeweiligen Blackbox enthalten sind!
   Erläutern und begründen Sie Ihr weiteres Vorgehen bei der Untersuchung!
2. Stellen Sie fest, welche elektrischen Bauelemente sich in den Kästen befinden!
3. Wie groß ist der Widerstand der untersuchten Bauelemente im Gleichstromkreis?

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
verschiedene Black-boxes
(Zwei- und Vierpole)
2 Vielfachmesser
1 Satz Verbindungsleiter

Hinweis

Beachten Sie die auf den Kästen angegebenen maximalen Spannungswerte!

5. Untersuchen der Vorgänge beim Laden und Entladen von Kondensatoren

Aufgaben

1. Ermitteln Sie die Abhängigkeit der Lade- und Entladestromstärke eines Kondensators von der Zeit für drei verschiedene Vorwiderstände und stellen Sie die Zusammenhänge grafisch dar!
2. Berechnen Sie für den Entladevorgang die Anfangsstromstärke und vergleichen Sie diese mit den aus den Diagrammen abgelesenen Werten!
3. Bestimmen Sie näherungsweise aus den Diagrammen die Ladung, die der Kondensator bei der Entladung abgegeben hat!

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
1 Kondensator
2 Vielfachmesser
1 Umschalter
3 verschiedene Widerstände
1 Uhr
1 Satz Verbindungsleiter

Hinweise

Beachten Sie bei der Auswahl der Widerstände, daß der Lade- bzw. Entladevorgang so langsam erfolgt, daß ein Ablesen des Stromstärkemessers in bestimmten Zeitabständen möglich ist! Führen Sie vorher evtl. einige Probemessungen durch!

Literaturempfehlung

1. Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 142.
2. Ilberg u. a.: Physikalisches Praktikum für Anfänger, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1985, S. 150.

6. Bestimmen des Wirkungsgrades eines Gleichstrommotors

Aufgaben

1. Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Stromstärke von der Bremskraft oder vom Drehmoment bei einem belasteten Gleichstrommotor!
2. Ermitteln Sie mit einer geeigneten Meßanordnung die aufgenommene und die abgegebene Leistung für verschiedene Belastungen!
3. Stellen Sie die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der abgegebenen Leistung grafisch dar!

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
1 Motor
2 Vielfachmeßgeräte
1 Abbremsvorrichtung
1 Kraftmesser
1 Drehzahlmesser
1 Meßstab
1 Satz Verbindungsleiter

Hinweise

Der Motor wird unbelastet angelassen und durch eine Abbremsvorrichtung (Seilbremse bzw. Pronyscher Zaum) bis zum Stillstand belastet.

Literaturempfehlung

1. Körner u. a.: Physik Fundament der Technik. 6. Auflage, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, S. 142.
2. Physik 9 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981, S. 29.

7. Elektrisches Messen von Temperaturen

Aufgaben

1. Nehmen Sie für das vorgegebene Halbleiterbauelement die I-ϑ-Kennlinie bei konstanter Spannung auf!
2. Fertigen Sie für eines der zur Verfügung stehenden Meßgeräte eine Temperaturskale entsprechend der Kennlinie an!
3. Stellen Sie eine Vorrichtung zur Temperaturmessung unter Verwendung des Halbleiterbauelementes zusammen und führen Sie Vergleichsmessungen mit einem Thermometer durch!
4. Schätzen Sie die Genauigkeit Ihrer Messung ab!

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
1 Halbleiterbauelement (Anschlußwerte erfragen)
1 Drehpotentiometer (50 Ohm, 25 Watt)
2 Vielfachmeßgeräte
1 Satz Verbindungsleiter
1 Thermometer
1 Kochbecher (oder Erlenmeyerkolben) mit Öl oder Sand
1 Heizplatte mit Geräteschnur
1 kl. V-Fuß

Literaturempfehlung

1. Richter/Schreier/Träger/Wendt: Elektrische Messung nichtelektrischer Größen. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978, S. 32 bis 34.
2. Physik 9 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1976, S. 27/28.

8. Bestimmen des Wirkungsgrades bei Energieumwandlung

Aufgaben

1. Erwärmen Sie mit Hilfe einer Heizwendel eine Flüssigkeitsmenge und bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Energieumwandlung!
2. Entscheiden Sie sich für eine strom- oder spannungsrichtige Schaltung der Meßgeräte und begründen Sie Ihre Entscheidung!
3. Ermitteln Sie den relativen Fehler $\frac{\Delta \eta}{\eta}$ des Wirkungsgrades!

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
1 Heizwendel (Betriebsspannung erfragen)
2 Vielfachmeßgeräte
1 Aluminiumtopf
1 Becherglas 100 ml
1 Thermometer
1 Meßzylinder 100 ml
1 Satz Verbindungsleiter
1 Deckel zum Kalorimeter
1 Stoppuhr
1 Rührstab

Hinweise

Erwärmen Sie etwa 10 min und messen Sie die Endtemperatur erst nach Entfernen der Heizwendel und nach nochmaligem guten Durchrühren der Flüssigkeit! (Warum?)
Berechnen Sie den relativen Größtfehler mit Hilfe der Gleichung:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \left|\frac{\Delta I}{I}\right| + \left|\frac{\Delta U}{U}\right| + \left|\frac{\Delta t}{t}\right| + \left|\frac{\Delta m}{m}\right| + \left|\frac{2\,\Delta \vartheta}{\vartheta_2 - \vartheta_1}\right|$$

Literaturempfehlung

1. Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 117.
2. Physik 10 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980, S. 25/26.

9. Anwenden von Dioden in Gleichrichterschaltungen

Aufgaben

1. Bauen Sie aus Aufbauteilen die Gleichrichterschaltung entsprechend der Skizze auf!
   Entwerfen Sie die vollständigen Schaltbilder für Zweiweg- und Graetz-Gleichrichterschaltungen!

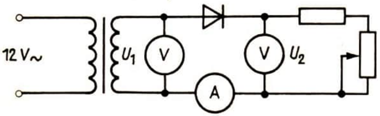
2. Beobachten Sie jeweils die Zeitverläufe der Spannungen U_1 und U_2 mit dem Oszillografen. Überprüfen Sie den Einfluß eines Kondensators, der parallel zum Spannungsmesser für U_2 geschaltet wird.
3. Ermitteln Sie jeweils das Verhältnis der Spannungen $U_2:U_1$ für unterschiedliche Stromstärken (von 0,1 A bis 0,5 A), und stellen Sie den Wert dieses Verhältnisses in Abhängigkeit von I grafisch dar.

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät	2 Kastenspulen 750/1500 Windungen
3 Vielfachmeßgeräte	1 geblätterter U-Kern mit Joch
1 Widerstand 10 Ohm/10 Watt	4 Dioden 1 A
1 Potentiometer 50 Ohm/25 Watt	4 Grundbretter 3buchsig
1 Satz Verbindungsleiter	1 Oszillograf

Literaturempfehlung

Burmeister/Häsel/Höppner: Elektronik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980, S. 44 bis 50.



10. Bestimmen der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit von Metallen

Aufgaben

1. Ermitteln Sie für Drähte unterschiedlicher Abmessungen und aus unterschiedlichen Metallen die spezifischen elektrischen Widerstände!
2. Werten Sie in Form von I(U)-Diagrammen aus.
3. Leiten Sie aus Ihren Meßergebnissen Aussagen über die spezifische elektrische Leitfähigkeit der Metalle ab, und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit Tabellen-Werten.

Geräte und Hilfsmittel

1 Stromversorgungsgerät
2 Vielfachmeßgeräte
1 Potentiometer 50 Ohm/25 Watt
1 Meterstab
1 Feinmeßschraube
1 Satz Verbindungsleiter
2 Isolatoren mit Rundfuß oder Tischklemme
Metalldrähte unterschiedlichen Materials

Hinweis

Beachten Sie die Bedingung für die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes!

Literaturempfehlung

1. Körner u. a.: Physik Fundament der Technik. 6. Auflage, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, S. 233.
2. Ilberg u. a.: Physikalisches Praktikum für Anfänger. 6., überarb. Auflage, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1982, S. 224 bis 226 und 227 bis 233.

11. Bestimmen der Fallbeschleunigung

Aufgaben

1. Untersuchen Sie durch Aufnehmen einer Meßreihe von jeweils 10 Meßwerten den Zusammenhang zwischen der Fallhöhe h und der Fallzeit t für einen frei fallenden Körper (Stahlkugel) für 5 verschiedene Fallhöhen!
2. Stellen Sie die Funktionen $h(t)$ und $h(t^2)$ grafisch dar!
3. Bestimmen Sie die Fallbeschleunigung g als Mittelwert aus den insgesamt 50 Meßwertpaaren (t; h) sowie den relativen Fehler $\frac{\Delta g}{g}$ der Fallbeschleunigung!

Geräte und Hilfsmittel

1 Polydigit (komplett mit Lichtschrankeneinrichtung)
1 Meterstab
Stativmaterial
1 Stahlkugel

Hinweis

Der relative Fehler $\frac{\Delta g}{g}$ wird wie folgt bestimmt:

$$\frac{\Delta g}{g} = \left|\frac{\Delta h}{h}\right| + 2\left|\frac{\Delta t}{t}\right|$$

12. Untersuchen von Anwendungen des Newtonschen Grundgesetzes

Aufgaben

1. Untersuchen Sie bei geradliniger, gleichmäßig beschleunigter Bewegung eines Wagens (eines Luftkissenschlittens) den Zusammenhang zwischen der Kraft F und der Beschleunigung a!
2. Stellen Sie die funktionalen Zusammenhänge in einem F-a-Diagramm dar und formulieren Sie Ihre Ergebnisse verbal!
3. Schätzen Sie die Größe der Reibungskraft ab!

Geräte und Hilfsmittel

1 Polydigit (komplett mit Lichtschrankeneinrichtung)
1 Satz Hakenkörper
1 Meterstab
1 Wasserwaage
1 Präzisionswaage mit Wägestücken
Schnur
und
1 Schiene mit Feinrolle
1 Wagen
2 Kippschalter dazu
oder
1 Luftkissenbahn mit Gebläse
1 Schlitten dazu mit Wägestücken
Stativmaterial

Hinweise

Überprüfen Sie, ob die Schiene exakt waagerecht aufgebaut ist. Achten Sie darauf, daß die Reibung möglichst gering gehalten wird.

Literaturempfehlung

1. Sprockhoff: Physikalische Schulversuche 1/2, Mechanik der festen Körper. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977, S. 154 - 156.
2. Physik 9 Praktikum. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1976, S. 9/10.

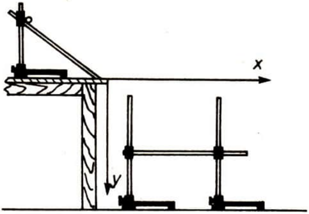
13. Ermitteln von Wurfbahnen

Aufgaben

1. Lassen Sie aus 3 verschiedenen Höhen eine Kugel nach Ablaufen von einer geneigten Ebene über eine waagerechte Tischkante laufen, und nehmen Sie jeweils für den anschließenden waagerechten Wurf die Bahnkurven punktweise auf!
2. Berechnen Sie für die 3 unterschiedlichen Ablaufhöhen die Abwurfgeschwindigkeit v_0 der Kugel für die Ermittlung der jeweiligen theoretischen Bahnkurve und tragen Sie diese Kurven in ein x-y-Koordinatensystem ein!
3. Vergleichen Sie in je einem Diagramm die experimentell ermittelten und die theoretisch errechneten Bahnkurven und begründen Sie die Abweichung!

Geräte und Hilfsmittel

1 Ablaufrinne/
Gardinenschiene
1 Stahlkugel
3 v-Füße
2 Stativstäbe,
1000 mm lang
3 Stativstäbe,
250 mm lang
2 Stativstäbe,
60 mm lang
3 Kreuzklemmen
2 Tischklemmen
1 Stelltisch
1 Achszapfen
1 Meterstab
Zeichenpapier
Kohlepapier
Selbstklebeband



Literaturempfehlung

Physik 11/12 Schülerexperimente. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981, S. 12.

14. Ermitteln der Federkonstanten für Systeme aus mehreren Federn

Aufgaben

1. Bestimmen Sie für zwei gegebene Schraubenfedern jeweils die Federkonstante (k_1 und k_2)!
2. Erzeugen Sie durch Hintereinandersetzen der beiden Federn (Reihenschaltung) eine neue Feder und bestimmen Sie deren Federkonstante k_r!
3. Erzeugen Sie durch Nebeneinandersetzen der beiden Federn (Parallelschaltung) eine neue Feder und bestimmen Sie deren Federkonstante k_p!
4. Formulieren Sie die gesetzmäßigen Zusammenhänge k_r (k_1, k_2) und k_p (k_1, k_2)!

Geräte und Hilfsmittel

2 Schraubenfedern	1 Satz Hakenkörper
1 Tischklemme	1 Meßstab
Stativmaterial	1 Waage mit Wägesatz

Literaturempfehlung

Kretschmar/Mende/Wollmann: Physikalisches Praktikum. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1978, S. 43.

4. SCHWINGUNGEN UND WELLEN

4.1. Mechanische Schwingungen und Wellen

Grundlagen

Als mechanische Schwingung bezeichnet man die zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um seine Ruhelage (Gleichgewichtslage).
Ist in jedem Augenblick die zur Ruhelage hin gerichtete Kraft proportional der Auslenkung, so handelt es sich um eine harmonische Schwingung. Sie wird beschrieben durch:

$$x = x_m \cdot \sin\varphi$$

wobei $\varphi = \omega \cdot t + \varphi_0$ und $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$ gilt.

Für die Geschwindigkeit des Körpers ergibt sich:

$$v = v_m \cdot \cos\varphi$$

mit $v_m = x_m \cdot \omega$ und $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

k: Federkonstante beim Federschwinger und $k = m \cdot \frac{g}{l}$ beim Fadenpendel.
(Auch für die Beschleunigung des Körpers ergibt sich eine periodische Funktion:

$$a = a_m \cdot \sin\varphi \quad \text{mit } a_m = -x_m \cdot \omega^2).$$

Die maximale kinetische Energie (beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage) ergibt sich aus der Energie der maximal gespannten Feder:

$$\frac{m}{2} \cdot v_m^2 = \frac{1}{2} k \cdot x_m^2.$$

Für die Schwingungsdauer erhält man : $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$

Für kleine Auslenkungen ist auch für ein Fadenpendel die Schwingung harmonisch mit der Schwingungsdauer: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Werden schwingungsfähige mechanische Systeme miteinander gekoppelt, breitet sich die Schwingung eines Oszillators im Raum aus.

Bei ebenen harmonischen Wellen wird dieser zeitlich und räumlich periodische Vorgang folgendermaßen beschrieben:
Die Elongation x wird eine Funktion der Entfernung s in Ausbreitungsrichtung und der Zeit t: $x = x\,(s,\ t)$.
An einem festen Ort s gilt: $x = x_m \cdot \sin\,(2\pi \cdot \frac{t}{T})$.
Einen um s entfernten Oszillator in Ausbreitungsrichtung erreicht eine bestimmte Elongation um die Zeit $t = \frac{s}{v}$ später (v: Phasengeschwindigkeit).
Während der zeitlichen Periode T kommt der Schwingungszustand um   voran. Es gilt $v = \lambda : T$ und $v = \lambda \cdot f$.
Zu einer bestimmten Zeit t_o ergibt sich längs der Ausbreitungsrichtung für die Elongation: $x = x_m \cdot \sin\,(\frac{2\pi\ s}{\lambda})$.
Insgesamt ist die Gleichung einer ebenen Welle:

$$x\,(s,\ t) = x_m \cdot \cos\,(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot s \quad - \frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_o).$$

Die Ausbreitung einer Welle ist stets mit dem Transport von Energie verbunden, ohne daß Stoff transportiert wird.
An einem Punkt im Raum können sich im allgemeinen mehrere Wellen ungestört ausbreiten und überlagern, sich dabei abschwächen oder verstärken.
Bewegt sich eine Schallquelle vom Beobachter weg oder auf ihn zu, so wird die Frequenz der Welle verändert (Dopplereffekt):

$$f = \frac{f_o}{1 \pm \frac{u}{v}}$$

(u: Geschwindigkeit der Quelle, f_o: Frequenz der Quelle, v: Schallgeschwindigkeit im Medium zwischen Quelle und Beobachter).

Beispiel

Ein Aärometer mit einer Masse von 65 g, dessen zylindrischer Rohransatz einen Durchmesser von 1,5 cm hat, schwebt in einer Flüssigkeit mit einer Dichte von 0,85 $\frac{g}{cm^3}$.
Welche Schwingungsfrequenz stellt sich nach einem leichten vertikalen Stoß ein?
Die Bewegung der Flüssigkeit und der Reibungswiderstand werden vernachlässigt.

Lösung:

Gegeben: $m = 65$ g Gesucht: f

$d = 1{,}5$ cm

$\varrho = 0{,}85\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Für einen schwimmenden Körper gilt: $F_A = - F_G$

Wird er um Δx heruntergedrückt, entsteht durch den Auftrieb eine rücktreibende Kraft:

$$F = - k \cdot \Delta x \tag{1}$$

Aus dem Archimedischen Prinzip folgt:

$$F = \varrho \cdot g \cdot V \tag{2}$$

Für das zylindrische Rohr gilt:

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \Delta x. \tag{3}$$

Aus der Schwingungsgleichung $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ folgt die Frequenz

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}. \tag{4}$$

Durch Einsetzen von (3) in (2) und Gleichsetzen von (1) und (2) ergibt sich für k:

$$k = \frac{1}{4} \varrho \cdot g \cdot \pi \cdot d^2. \tag{5}$$

Durch Einsetzen in (4) folgt für die Frequenz

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi \cdot g \cdot \varrho \cdot d^2}{4\ m}} \quad \text{bzw.} \quad f = \frac{d}{4} \cdot \sqrt{\frac{\varrho \cdot g}{\pi \cdot m}}$$

$f = 0{,}76$ Hz

===========

Unter den gegebenen Bedingungen ergibt sich eine Schwingungsfrequenz von 0,76 Hz.

Aufgaben

4.1.1. Ein Federschwinger hat nach 0,09 s eine Elongation von 2,6 cm und erreicht eine Amplitude von 3,1 cm.
Berechnen Sie die Frequenz und die Schwingungsdauer

a) für $x(0) = x_m$

b) für $x(0) = 0$

4.1.2. Ein harmonisch schwingender Massepunkt ist 0,2 s nach Passieren der Ruhelage 4,5 cm von dieser entfernt. Wie groß sind die Frequenz und Schwingungsdauer, wenn die Amplitude 6 cm beträgt?

4.1.3. Ein Körper von 100 kg Masse wird auf eine federnde Unterlage gesetzt, die sich dadurch um 12 mm senkt.

a) Berechnen Sie die Federkonstante der Unterlage!
b) Mit welcher Frequenz schwingt der Körper, wenn man die Masse der Unterlage vernachlässigen darf?
c) Wie verändert sich die Frequenz bei Veränderung der Masse?

4.1.4. An einer Schraubenfeder mit der Federkonstanten $1\ N \cdot m^{-1}$ hängt eine Masse, durch deren Gewichtskraft die Feder um 10 cm gedehnt wird. Der Masse wird aus der Ruhelage eine Geschwindigkeit von $50\ cm \cdot s^{-1}$ erteilt.

a) Wie groß ist die an der Feder hängende Masse?
b) Wie groß sind Schwingungsdauer und Amplitude der entstehenden Schwingung?

4.1.5. Ein Bauteil von 2,5 t Masse hängt an einem Kranseil, wird ausgelenkt und gerät in Schwingungen. Der Weg von links nach rechts ist 3 m. Er wird in 5 s zurückgelegt. Der Vorgang sei reibungsfrei.

a) Geben Sie die Maximalwerte von Elongation und Geschwindigkeit an!
b) Berechnen Sie die mechanische Energie des schwingenden Systems!
c) Berechnen Sie die Elongation jeweils nach 2 s, 6 s und 5,1 min!

4.1.6. Ein Kind sitzt auf einer Schaukel. Nach dem Anschieben schwingt es mit einer bestimmten Frequenz. Wie verändert sich die Frequenz, wenn sich das Kind auf die Schaukel stellt?

4.1.7. Zwei Transversalwellen mit der gleichen Wellenlänge $\lambda = 4$ cm, der gleichen Frequenz $f = 2\ s^{-1}$ und der gleichen Amplitude $x_m = 2$ cm breiten sich längs der positiven s-Achse aus, wobei der Gangunterschied ein geradzahliges Vielfaches von $\frac{\lambda}{2}$ ist.

a) Zeichnen Sie die Momentbilder der Wellen zu einer bestimmten Zeit und ermitteln Sie zeichnerisch die resultierende Welle!

b) Wie lauten die Gleichungen der beiden Ausgangswellen?

c) Wie lautet die Gleichung der resultierenden Welle? Wie groß ist nach dieser Gleichung ihre Amplitude?

4.1.8. Ein Reisender auf dem Bahnsteig hört das Warnsignal eines mit $u = 34\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$ vorüberfahrenden D-Zuges. Wie groß ist der von ihm registrierte Frequenzsprung $\frac{f_1}{f_2}$ im Moment des Vorbeifahrens, wenn die Schallgeschwindigkeit in Luft $v = 338\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$ beträgt?

4.1.9. Ein Mensch befindet sich von den Lautsprechern einer Stereoanlage gleich weit entfernt und hört einen Ton mit konstanter Frequenz. Verändert die Person ihre Position, wird dieser Ton bis auf ein Minimum geschwächt.
Wie groß ist die Frequenz des Tones, wenn dies bei einer Entfernung von 3,06 m vom linken Lautsprecher und 2,45 m vom rechten Lautsprecher bei einer Schallgeschwindigkeit von $336\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$ geschieht?

Anhang

Lösungen ausgewählter Aufgaben

1.1.1. $R = 144\,\Omega$

1.1.2. bei $20\ ^{o}C$: $U_K = 4{,}54$ V und $U_{Cu} = 5{,}46$ V
bei $100\ ^{o}C$: $U_K = 3{,}89$ V und $U_{Cu} = 6{,}11$ V

1.1.3. a) $U_1 = 3{,}0$ V b) $I_1 = 0{,}06$ A, $I_2 = 0{,}04$ A, $I_3 = 0{,}02$ A

1.1.4. a) $R_{AB} = 33{,}3\,\Omega$, b) $R_{BC} = 33{,}3\,\Omega$

1.1.5. $R_i = 33{,}3\,\Omega$, $U_o = 1{,}0$ V

1.1.6. $R_i = 0{,}33\,\Omega$, $I = 1{,}33$ A, $U_o = 3{,}33$ V, $U = 3{,}12$ V

1.1.8. a) $U_{AS} = 2{,}25$ V b) $U_{AS} = 0{,}64$ V

1.1.9. b) $R_s = 22{,}2\,\Omega$, $P = 0{,}18$ W, c) $l = 34{,}9$ m

1.1.10. $R_I = 58{,}3\,\Omega$, $U_o = 0{,}5$ V, $I = 8{,}3$ mA

1.2.1. a) $F = 23$ nN b) $E = 1{,}44 \cdot 10^{11}\ V \cdot m^{-1}$

1.2.2. $Q = 3{,}34$ nC

1.2.3. 64

1.2.4. 2·l Abstand

1.2.5. Im Wasser $r_2 = 3{,}33$ cm

1.2.6. $Q = 50$ nC, $F = 2{,}3$ mN

1.2.7. $Q = 1{,}33\ \mu C$, $E_{el} = 99{,}67\ \mu Ws$

1.2.8. $E_{el} = 50\ \mu Ws$

1.2.9. $U = 30$ V

1.2.10. $C_2 = 4\ \mu F$

1.2.11. $Q = 120\ \mu C$, $U_1 = 60$ V, $U_2 = 40$ V

1.2.12. $U_a = 132$ V, $U_b = 12$ V

1.2.13. $U_{M1} = \frac{40}{3}$ V, $U_{M2} = \frac{10}{3}$ V $\Delta U = 10$ V

1.2.14. $n = 329$

1.2.15. $I = 1$ A

1.2.16. a) $F = 9{,}6 \cdot 10^{-16}$ N b) $n = 10^{12}$

1.2.17. $H = 15\,000\ A \cdot m^{-1}$ $B = 5{,}65$ T

1.2.18. $v = 6{,}24 \cdot 10^{6}\ m \cdot s^{-1}$

1.3.2. a) $U_i = 0{,}062$ V b) $U_i = 0{,}37$ mV

1.3.3. $U_i = 0{,}74$ V

1.3.4. $A = 1\ m^2$

1.3.7. $\Delta t = 10$ ms
1.3.8. $U_2 = 66$ V, $I_2 = 6{,}67$ A
1.3.9. $I_1 = 112$ mA
1.3.10. $E_{verl} = 39{,}6$ kWs

2.1.1. $v = 66{,}6$ km $\cdot$ h^{-1}
2.1.2. $\Delta t = 353$ s, $\Delta t' = 261$ s
2.1.3. $t_3 = 15{,}6$ s
2.1.4. Winkel 40^o, $v = 649$ km $\cdot$ h^{-1}
2.1.8. $t = 3{,}5$ s

2.2.1. $F = 4{,}7$ N
2.2.2. $a = 1{,}4$ m $\cdot$ s^{-2}
2.2.3. a) $F = 100{,}6$ N b) $F = 66{,}89$ N, $a_1 = 3{,}5$ m $\cdot$ s^{-2},
$a_2 = 1{,}4$ m $\cdot$ s^{-2}
2.2.5. Winkel $9{,}1^o$
2.2.7. $l_1 = k_2 \cdot l / (k_1 + k_2)$, $l_2 = k_1 \cdot l/(k_1 + k_2)$
2.2.8. $h = 32$ km
2.2.9. $M = 5{,}979 \cdot 10^{24}$ kg
2.2.10. $Q = 7{,}46$ nC
2.2.11. a) $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt[3]{2}$ b) $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt[3]{n}$

2.4.1. $v = 5{,}4$ m $\cdot$ s^{-1}
2.4.2. $h = 0{,}75$ m, $v_c = 3{,}84$ m $\cdot$ s^{-1}, Winkel $63{,}4^o$
2.4.3. a) $\Delta x = 1{,}5$ cm b) $v = 4{,}95$ m $\cdot$ s^{-1} c) 31 %
2.4.4. $\mu = 0{,}28$
2.4.5. $v_o = 8{,}3$ m $\cdot$ s^{-1}
2.4.6. $P_{max} = 19{,}4$ kW
2.4.7. a) $v = 0{,}98$ m $\cdot$ s^{-1} b) $Q = 15{,}23$ J c) $l < 3{,}89$ m
2.4.8. $v_m = 6{,}7$ m $\cdot$ s^{-1}
2.4.9. $\overline{P} = 16$ kW
2.4.10. $t = 6{,}9$ s
2.4.11. a) $v = 6{,}9$ m $\cdot$ s^{-1} b) $P = 0{,}48$ kW
2.4.12. a) $W_f = 4{,}8$ Nm b) $v_3 = \pm 3{,}7$ m $\cdot$ s^{-1} c) $h_4 = 0{,}67$ m
2.4.13. $s = 2{,}86$ m
2.4.14. a) $W = 0$ b) $E_k = 5{,}2 \cdot 10^3$ MJ

2.4.15. $v = \sqrt{3} \cdot \frac{v_o}{2}$

2.4.16. $v_o = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot x_m$

2.4.17. a) $v_o = 140\ m \cdot s^{-1}$ b) $h = 1000\ m$ c) $s = 200\ m$
d) $v_T = 140\ m \cdot s^{-1}$

2.5.1. $u = 2{,}18\ m \cdot s^{-1}$
2.5.2. $s = 1{,}5\ cm$
2.5.3. a) $v_o = 897\ m \cdot s^{-1}$ b) $s = 7\ cm$
2.5.4. Winkel $4{,}8^o$
2.5.5. $u = -1{,}72\ m \cdot s^{-1}$
2.5.6. $v_1 = 8{,}45\ m \cdot s^{-1}$, $v_2 = 3{,}38\ m \cdot s^{-1}$
2.5.7. $y = 13{,}55\ km$
2.5.8. $v_2 = -223\ m \cdot s^{-1}$
2.5.9. $m_o = 2088\ kg$

4.1.1. a) $f = 1{,}02\ Hz$, $T = 0{,}98\ s$
b) $f = 1{,}76\ Hz$, $T = 0{,}51\ s$
4.1.2. $f = 0{,}675$, $T = 1{,}48\ s$
4.1.3. a) $k = 81{,}8\ kN \cdot m^{-1}$ b) $f = 4{,}55\ Hz$
c) Frequenz wird größer
4.1.4. $m = 10{,}2\ g$, $T = 0{,}63\ s$, $x_m = 5{,}0\ cm$
4.1.5. a) $v_m = 0{,}944\ m \cdot s^{-1}$ b) $E = 1{,}11\ kJ$
c) $x_1 = 0{,}463\ m$, $x_2 = -1{,}21\ m$, $x_3 = -1{,}21\ m$
4.1.6. Frequenz wird größer
4.1.7. $x_m = 4\ cm$
4.1.8. $f_1/f_2 = 1{,}22$
4.1.9. $f(0) = 275\ Hz$, $f(1) = 826\ Hz$, $f(2) = 1377\ Hz$ usw.

Tabellen

Naturkonstanten (die in diesem Material benötigt werden)

Elektrische Elementarladung	$e = 1{,}6021892 \cdot 10^{-19}$ C
Elektrische Feldkonstante	$\varepsilon_0 = 8{,}85418782 \cdot 10^{-12}$ F/m
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1{,}25663706 \cdot 10^{-6}$ H/m
Gravitationskonstante	$\gamma = 6{,}672 \cdot 10^{-11}\ m^3/(kg \cdot s^2)$

Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes in K^{-1}

Aluminium	0,004
Konstantan	- 0,00005
Kupfer	0,00392

Spezifischer elektrischer Widerstand bei 20°C in $10^{-6} \Omega \cdot m = \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Aluminium	0,0282	Konstantan	0,50
Blei	0,208	Kupfer	0,0175
Eisen	0,13	Silber	0,0165
Stahl	0,12		

Dichte (Massendichte) in kg/dm^3 bei 20°C

Aluminium	2,70	Kupfer	8,93
Beton	2,3	Stahl	7,8
Blei	11,38	Quecksilber	13,55
Glas	2,5	Petroleum	0,81
Holz	0,8	Wasser	0,998205
Konstantan	8,8		

Relative Dielektrizitätskonstanten

Vakuum	1,000000	Papier	2...5
Luft	1,000594	Wasser	81
Paraffin	2,2	Spezialkeramik	100...10000
Glas	5...15	Silikonöl	2,2...2,8

Relative Permeabilitäten (wegen $\mu_r = \mu_1(H)$ ist bei Ferromagnetika der Bereich von einer Anfangs- bis zu einer Maximalpermeabilität angegeben)

Aluminium	1,000026	Trafoblech	600...7600
Luft	1,0000004	Ni-Fe-Legierung	2700...20000
Kupfer	0,9999904	Techn. Eisen	250...7000
Glas	0,999987		

Reibungskoeffizienten (Richtwerte)

	Haftreibung	Gleitreibung (trocken)
Stahl-Stahl	0,15	0,10
Metall-Holz	0,55	0,4
Holz-Holz	0,65	0,35
Leder-Holz	0,5	0,3
Gummi-Asphalt	0,6	0,3
Stahl-Eis	0,02	0,01

Schallgeschwindigkeiten bei 20°C und Normaldruck in $m \cdot s^{-1}$

Stahl	5100	Wasser	1465
Beton	3800	Luft	343
Holz	4000	Kohlendioxid	260
Gummi	50	Wasserstoff	1280

Geophysikalische und astronomische Daten

Fallbeschleunigung in $m \cdot s^{-2}$ an der Erdoberfläche (NN):
am Pol 9,832, am Äquator 9,780, am 45. Breitengrad 9,807
Astronomische Einheit: 1 AE = $149{,}6 \cdot 10^6$ km
1. kosmische Geschwindigkeit: 7,9 km/s
2. kosmische Geschwindigkeit: 11,2 km/s

Planeten	Masse in 10^{24} kg	große Bahnhalbachse in AE	Umlaufdauer (sid.) in a
Merkur	0,33	0,39	0,24
Venus	4,87	0,72	0,62
Erde	5,98	1,0	1,0
Mars	0,64	1,52	1,88
Jupiter	1899	5,20	11,86
Saturn	568	9,54	29,46
Uranus	87	19,18	84,02
Neptun	103	30,06	164,79
Pluto	0,90	39,75	247,7

Masse der Sonne: $1,985 \cdot 10^{30}$ kg, Masse des Mondes: $7,347 \cdot 10^{22}$ kg

Mittlere Entfernung Mond-Erde: $384,4 \cdot 10^{3}$ km

Siderische Umlaufdauer des Mondes: 27,32 d

Kurzwort: 020923 Phys. 9/10 Erg.SPS
Schulpreis DDR: 3,80
ISBN 3-06-020923-5