

Grundbegriffe der Physik

Sammlung der Definitionen und Einheiten der physikalischen Größen, Grundgesetze und Aufgaben

für Vorbereitungsjahrgang aus Physik

Zusammengestellt

Péter Maróti
Professor der Biophysik

Institut der medizinischen Physik und medizinischer Informatik
Universität Szeged

Szeged
2017

Einleitung

Die Aufgaben wurden so ausgewählt, daß ihre Lösung mit den Mitteln elementarer Mathematik möglich ist. Der Schwierigkeitsgrad entspricht dem Niveau des Gymnasiums bzw. dem 12klassigen Mittelschulen in Ungarn. Die Aufgaben sind nicht abstrakt und lebensfremd aber zielen mehr die praktischen Erfordernisse und die Technik. Sie sind grundsätzlich aus dem praktischen Leben entnommen. Hier erscheinen nicht nur unmittelbar technikbezogene Aufgaben, sondern auch solche, die im Laufe der Zeit klassisch geworden sind, und formales Denken verlangen. Triviale Aufgaben, die lediglich durch Einsetzen von Zahlenwerten in gegebenen Formeln benötigen, sind nach Möglichkeit vermieden.

THEMEN DER ENDPRÜFUNG

1. Internationales Einheitensystem (SI). Definitionen der SI-Basiseinheiten. Vorsilben zur Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen. Einige abgeleitete SI-Einheiten mit besonderen Namen.

Mechanik

2. Translationsbewegungen. Die Geschwindigkeit und die Beschleunigung. Zusammenhang von Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg und Zeit.
3. Der freie Fall und der Wurf im Schwerfeld der Erde. Der horizontale, vertikale und schiefe Wurf.
4. Rotationsbewegungen. Die Winkelgeschwindigkeit und die Winkelbeschleunigung. Gleichförmige Kreisbewegung. Zeitabhängigkeit der wichtigsten Größen bei Rotationsbewegungen.
5. Kräfte. Kraftarten der Mechanik: die Trägheitskraft, die Gravitationskraft, die Federkraft, die Zentripetalkraft/Zentrifugalkraft und die Reibungskraft.
6. Die vier Axiome der Mechanik (von Newton), die Prinzipien der Dynamik.
7. Kepler'sche Gesetze, Bewegung von Monden und Satelliten, die kosmische Geschwindigkeiten.
8. Rotation des starren Körpers. Das Drehmoment, das Kräftepaar, die Winkelbeschleunigung, die Trägheitsmoment. Grundgesetz der Rotation des Festkörpers um eine feste Achse. Trägheitsmoment einiger Körper mit einfachen geometrischen Gestalten.
9. Statik. Statisches Gleichgewicht. Gleichgewichtsbedingungen. Schwerpunkt. Statisches Gleichgewicht an Hebel, Waage und Rolle. Einfache Maschine.
10. Arbeit und Energie. Potentielle Energie (Hubarbeit und Spannarbeit). Kinetische Energie der Translation und Rotationsenergie. Energieerhaltungssatz der Mechanik. Die Leistung.
11. Impuls. Kraftstoß. Impulserhaltungssatz. Drehimpuls. Drehimpulserhaltungssatz. Vergleich von Translations- und Rotationsbewegungen, ähnliche physikalische Größe der zwei Bewegungen
12. Rückstoß (Raketeprinzip). Stoßgesetze: zentraler elastischer und inelastischer Stoß. Das ballistische Pendel.
13. Deformierbare feste Körper. Einseitige Dehnung und Kompression. Hooke'sches Gesetz. Biegung: einseitig und zweiseitig eingespannter Balken. Querkontraktion, die Poisson-Zahl. Allseitige Dehnung und Kompression (reine Volumenelastizität).

Schwingungen und Wellen

14. Harmonische Schwingung. Kinematische und dynamische Bedingungen der harmonischen Bewegung.
15. Periodischer Wechsel der verschiedenen Energieformen während harmonischer Schwingung.
16. Federpendel, Fadenpendel (mathematisches Pendel), Drehpendel und physisches Pendel.
17. Wellen. Zeitliche und räumliche Periodizität. Transversale und longitudinale Wellen. Schallwellen. Doppler Effekt.
18. Prinzip von Huygens-Fresnel und Anwendungen: Interferenz, Kohärenz und stehende Wellen.

Gase und Flüssigkeiten

19. Ruhende Flüssigkeiten (Hydrostatik). Begriffe des Druckes und der Kompressibilität. Pascal-Gesetz der ruhenden Flüssigkeit. Hydraulische Presse. Schweredruck. Das hydrostatische Paradoxon. Kommunizierende Röhren.
20. Ruhende Gase (Aerostatik). Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase. Gesetz von Boyle und Mariotte. Atmosphärendruck, die barometrische Höhenformel.
21. Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen. Das archimedische Prinzip. Schwimmen, Schweben und Sinken.

22. Grenzflächeneffekte. Oberflächenspannung. Kohäsionsdruck (Laplace'sche Formel). Kapillarwirkung. Bestimmung der Oberflächenspannung mit Stalagmometer.
23. Bewegte Flüssigkeiten und Gase. Strömungsfeld, Stromlinien. Stationäre und nichtstationäre Strömung. Laminare und turbulente Strömung. Ideale und reale Flüssigkeit. Kompressible und inkompressible Flüssigkeit. Kontinuitätsgleichung der Strömung.
24. Hydrodynamik idealer Flüssigkeit: die Bernoulli-Gleichung. Einige Anwendungen der Bernoulli-Gleichung. Pitot-Rohr, Prandtl-Rohr, Ausströmung aus einem Druckgefäß, Hydrodynamisches Paradoxon, Wasserstrahlpumpe, Bunsenbrenner und Aneurisma.
25. Innere Reibung der Flüssigkeiten, die Viskosität. Newton'sches Reibungsgesetz. Stokes'sche Formel. Kugelfallviskosimeter (Höppler-Viskosimeter).
26. Gesetz von Hagen-Poiseuille. Strömungswiderstand Newton'scher Flüssigkeiten. Turbulente Strömung viskoser Fluide, die Reynolds-Zahl.

Wärmelehre (Thermodynamik)

27. Temperaturskalen. Temperaturmessung. Thermoelemente (Seebeck-Effekt).
28. Thermische Ausdehnung von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen.
29. Zustandsgleichung idealer und realer Gase.
30. Erster Hauptsatz der Thermodynamik. Spezielle Prozesse idealer Gase: isochore, isobare, isothermische und adiabatische Zustandsänderungen.
31. Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik. Thermodynamische Potentiale: innere Energie, Enthalpie, Entropie und freie Enthalpie (Gibbs-Energie).
32. Wärmeübertragung. Wärmeleitung, Konvektion, Strahlung und Ausdünstung.
33. Diffusion. Fick'sche Gesetze.

Elektrizität und Magnetismus

34. Das elektrostatische Feld. Coulomb'sches Gesetz. Gauß'sche Satz. Anwendungen.
35. Elektrisches Potential, elektrische Spannung. Beispiele zum Potential.
36. Die Kapazität. Plattenkondensator. Parallel- und Serienschaltung von Kondensatoren. Die Energie des elektrischen Feldes.
37. Der elektrische Gleichstrom. Ohm'sches Gesetz, Arbeit und Leistung. Thermische-, chemische- und magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.
38. Kirchhoff'sche Regeln: Knotenregel und Maschenregel.
39. Elektromagnetismus. Magnetische Feldstärke, magnetischer Fluss, magnetische Flussdichte (Induktion) und Permeabilität.
40. Ampere'sches Gesetz. Das Magnetfeld stromdurchflossener Leiter. Biot-Savart'sches Gesetz.
41. Kräfte auf Punktladungen und stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld. Lorentz-Kräfte.
42. Magnetische Induktion in ruhenden und bewegten Leitern. Faraday'sche Induktionsgesetz. Lenz'sche Regel. Selbstinduktion.
43. Wechselstrom. Momentan- und Effektivwerte von Spannung und Strom.
44. Wechselstromwiderstände, Impedanz. Ohm'sche-, kapazitive- und induktive Impedanz.
45. Serienschaltung von R, L und C. Resonanz.
46. Leistung des Wechselstromes. Die Wirkleistung.

Optik

47. Geometrische Optik. Gesetze von Reflexion und Brechung. Prinzip von Fermat.
48. Totalreflexion. Lichtleiter, Grundgleichung des Lichtleiters.
49. Abbildung durch Reflexion. Planspiegel und sphärische Spiegel.
50. Abbildung durch Brechung. Planparallele Platte, Prisma und Linsen.
51. Abbildung mittel dünner Sammell- und Zerstreuungslinsen.
52. Physikalische (Wellen) Optik. Licht als transversale Welle. Prinzip von Huygens-Fresnel. Kohärenz, Interferenz, Beugung (Spalte und Gitter).

Internationales Einheitensystem (SI)

Sieben Basisgrößen

| Basisgröße | SI-Einheit | Abkürzung |
|-------------------------|------------|-----------|
| Länge | Meter | m |
| Masse | Kilogramm | kg |
| Zeit | Sekunde | s |
| Elektrische Stromstärke | Ampere | A |
| Temperature | Kelvin | K |
| Stoffmenge | Mol | mol |
| Lichtstärke | Candela | cd |

Definitionen der SI-Basiseinheiten

Meter (m): Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während des Intervalls von $1/299\,792\,458$ s durchläuft.

Kilogramm (kg): Ein Kilogramm ist durch die Masse eines internationalen Prototyps gegeben. Die Masse eines Zylinders der aus einer chemisch und physikalisch resistenten Platin-Iridium-Legierung angefertigt ist und unter festgelegten Bedingungen in Sevres bei Paris aufbewahrt wird (seit 1889).

Sekunde (s): Atomarer Zeitstandard (1967): Eine Sekunde ist das $9\,192\,631\,770$ -fache der Periodendauer eines Strahlungsübergangs von Atomen des Nuklids ^{133}Cs (Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus im Grundzustand).

Kelvin (K): Das Kelvin ist das $1/273,16$ -fache der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser.

Ampere (A): Das Ampere ist die Stärke eines zeitlich konstanten elektrischen Stromes, der, durch zwei im Abstand von 1 Meter angeordnete parallele Leiter fließend, zwischen diesen eine Kraft erzeugt, die pro Meter Leiterlänge $2 \cdot 10^{-7}$ N beträgt.

Mol (mol): Das Mol ist die Stoffmenge eines Systems, welches so viele Einzelteilchen enthält, wie Atome in 0,012 kg des Kohlenstoffnuklids ^{12}C enthalten sind.

Candela (cd): Die Candela ist die Lichtstärke einer Strahlungsquelle, welche monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz in eine bestimmte Richtung aussendet, in der die Strahlstärke $1/683$ Watt durch Steradian beträgt.

Vorsilben zur Bezeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen

| Bezeichnung | Internationales Kurzzeichen | Zehnerpotenz |
|-------------|-----------------------------|--------------|
| Yocto | Y | -24 |
| Zepto | Z | -21 |
| Atto | a | -18 |
| Femto | f | -15 |
| Piko | p | -12 |
| Nano | n | -9 |
| Mikro | μ | -6 |
| Milli | m | -3 |
| Zenti | c | -2 |
| Dezi | d | -1 |
| Deka | da | +1 |
| Hekto | h | +2 |
| Kilo | k | +3 |
| Mega | M | +6 |
| Giga | G | +9 |
| Tera | T | +12 |
| Peta | P | +15 |
| Exa | E | +18 |
| Zetta | Z | +21 |
| Yotta | Y | +24 |

Abgeleitete SI-Einheiten mit besonderem Namen

| Größe | Name und Einheitenzeichen | Basiseinheiten | Andere SI-Einheiten |
|--|---------------------------|--|---------------------------|
| Ebener Winkel | radiant (rad) | $\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ | |
| Raumwinkel | steradian (sr) | $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ | |
| Frequenz | hertz (Hz) | s^{-1} | |
| Kraft | newton (N) | $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ | J/m |
| Druck | pascal (Pa) | $\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ | N/m^2 |
| Energie, Arbeit, Wärmemenge | joule (J) | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ | $\text{N} \cdot \text{m}$ |
| Leistung, Energiestrom | watt (W) | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$ | J/s |
| Elektrische Ladung, Elektrizitätsmenge | coulomb (Cb) | $\text{s} \cdot \text{A}$ | $\text{A} \cdot \text{s}$ |
| Elektrisches Potential, elektrische Spannung | volt (V) | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$ | W/A |
| Elektrische Kapazität | farad (F) | $\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$ | C/V |
| Elektrischer Widerstand | ohm (Ω) | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$ | V/A |
| Elektrischer Leitwert | siemens (S) | $\text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$ | A/V |
| Magnetischer Fluss | weber (Wb) | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$ | V · s |
| Magnetische Flussdichte, Induktion | tesla (T) | $\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$ | Wb/m^2 |

| | | | |
|------------------------|----------------|--|---|
| Induktivität | henry (H) | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$ | Wb/A |
| Lichtstrom | lumen (lm) | | cd · sr |
| Beleuchtungsstärke | lux (lx) | | $\text{m}^{-2} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}$ |
| Aktivität (radioaktiv) | becquerel (Bq) | s^{-1} | |
| Energiedosis | gray (Gy) | $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ | J/kg |
| Äquivalentdosis | sievert (Sv) | $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ | J/kg |

Aufgaben

1. Was versteht man unter einer physikalischen Größe?
2. Welche Basisgrößen verwendet das „Internationale Einheitensystem SI“?
3. Was versteht man unter einer vektoriellen und was unter einer skalaren Größe?
4. Geben Sie die Einheit der Länge, der Masse und der Zeit im SI an!
Wie werden diese Einheiten festgelegt?
5. Wie lautet die Definition der SI-Einheit mol?
6. Welche a) dezimale Vielfache und b) dezimale Teile gibt es im SI?
Wie werden sie benannt und wie lauten ihre Vorsatzzeichen?
7. Wie wird die Dichte definiert und wie lautet ihre SI-Einheit?
8. Was versteht man unter der Avogadro-Konstante und welchen Zahlenwert (mit Einheit) hat diese?
9. Wie ist die Stoffmengenkonzentration definiert und wie lautet ihre Einheit?

Kinematik (Bewegungslehre)

Kinematik: die Lehre der Bewegung von Körpern in Raum und Zeit. Es ist nicht gefragt was die Ursache der Bewegung ist. Die Kinematik beschäftigt sich „bloß“ mit der Beschreibung der Bewegung.

Bahnkurve $s = f(t)$: Orts-Zeit-Abhängigkeit in einem Weg-Zeit-Diagramm.

Zur Kinematik gehören die Bewegungsgesetze ohne Berücksichtigung der bei der Bewegung auftretende Kräfte. Man unterscheidet

- Translation (fortschreitende Bewegung) und
- Rotation (Bewegung auf der Kreisbahn)

Translation: Alle Punkte des Körpers bewegen sich auf parallelen Linien um gleiche Stücke in der Gleichen Zeit.

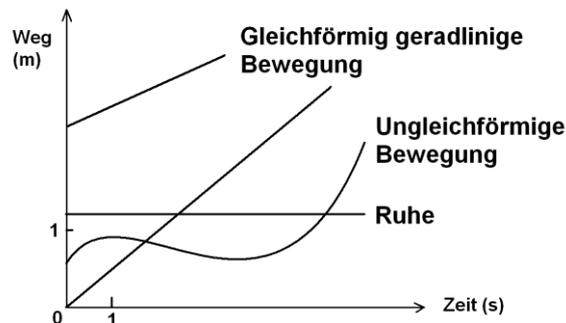
Rotation: Alle Punkte der Körpers bewegen sich auf konzentrischen Kreise um ein festes Drehzentrum.

Ruhe: Ein Körper ist im Zustand der Ruhe, wenn er seine Lage in Bezug auf seine Umgebung bzw. auf ein die Umgebung beschreibendes Koordinatensystem mit der Zeit nicht verändert.

Gleichförmige Bewegung: Die Bewegung heißt gleichförmig, wenn in gleichen Zeitabschnitten gleiche Wege zurückgelegt werden.

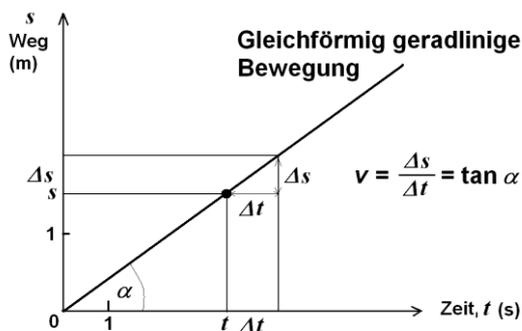
Ungleichförmige Bewegung: in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege sind verschieden.

Geradlinige Bewegung: die Bewegung erfolgt auf einer geradlinigen Bahn.



Die **Geschwindigkeit der geradlinig gleichförmigen Bewegung** wird definiert als Quotient aus der zurückgelegten Wegstrecke Δs und dem dazu benötigten Zeitintervall Δt

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



Die Einheit der Geschwindigkeit ist m/s.

Graphische representation der Geschwindigkeit: Die Funktion $s = f(t)$ (die Bahnkurve) ist linear in der Zeit und ergibt im Weg-Zeit-Diagramm eine Gerade. Die Steigung der Geraden erhält man als Tangens des Neigungswinkels der Geraden gegen die Zeit Achse und entspricht damit der Geschwindigkeit.

Die Geschwindigkeit als Vektor: Die Geschwindigkeit ist ein Vektor mit Betrag und Richtung.

Die Geschwindigkeiten können somit wie Vektoren in Komponenten zerlegt werden. Umgekehrt lassen sich einzelne Geschwindigkeitskomponenten zu einer resultierenden Geschwindigkeit zusammensetzen.

Die mittlere Geschwindigkeit (Durchschnittsgeschwindigkeit)

Definition: der Quotient der gesamten Wegstrecke und die dafür benötigte Gesamtzeit.

Sind beispielweise für k Teilstücke der gesamten Wegstrecke eines Körpers die mittlere Geschwindigkeiten v_k bereits bekannt und soll nun die mittlere Geschwindigkeit v_m für die gesamte Strecke berechnet werden, so ist v_m als gewichteter (oder gewogener) Mittelwert zu bestimmen, gemäß

$$v_m = \frac{\sum_k \Delta s_k}{\sum_k \Delta t_k} = \frac{\sum_k v_k \cdot \Delta t_k}{\sum_k \Delta t_k}$$

Die Momentangeschwindigkeit (geradlinige Bewegung)

Zu einem bestimmten Zeitpunkt herrschende Momentangeschwindigkeit kann man durch die mittlere Geschwindigkeit zwischen beliebigen Punkten der Bahn angeben:

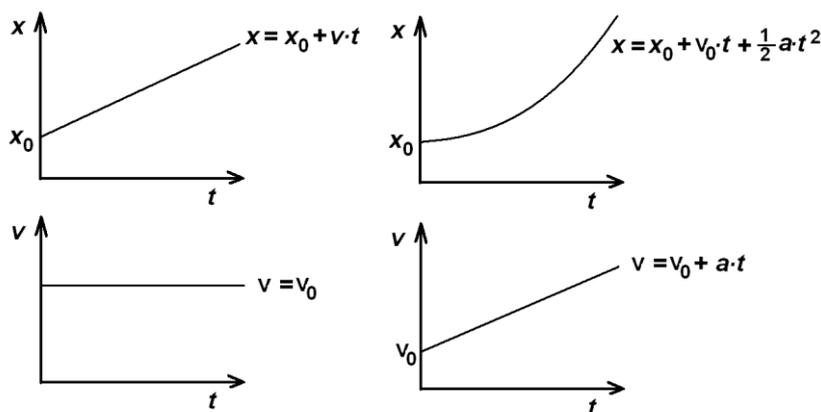
$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Die Momentangeschwindigkeit ist die Zeitliche Ableitung von $x(t)$.

Mit der Definition der Geschwindigkeit als dem ersten Differentialquotienten des Ortsvektors (des Weges) nach der Zeit, werden auch solche Bewegungen beschrieben, bei denen sich die Geschwindigkeit von Ort zu Ort nach Betrag und/oder Richtung ändert.

Wenn die Bahn (Ort-Zeit Diagramm) der Bewegung bekannt ist, die Geschwindigkeit können wir von der Zeitliche Ableitung von $x(t)$ erhalten.

Rechnung der Momentangeschwindigkeit in speziellen Fällen: *geradlinig gleichförmige Bewegung* (konstante Geschwindigkeit, links) und *geradlinig ungleichförmige Bewegung* (konstante Beschleunigung, rechts):



Analogie wichtiger physikalischen Prinzipien in der Mechanik: Fermat-Prinzip

Fermat-Prinzip der kürzesten Zeit. Ein Massenpunkt bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit v und soll Punkt B vom Punkt A erreichen. Welche Bahn (welchen Weg) zu nehmen?

Solchen Weg sollte gewählt werden, welcher die kürzeste Zeit benötigt.

In diesem Fall, geradlinig ist die Bewegung zwischen A und B, weil alle andere Wege benötigen mehr Zeit. Die kürzeste Zeit beträgt $t = AB/v$.

Andere berühmte Fermat-Gesetze in der Mathematik

„Kleines Fermat-Gesetz“: $x^p - x$ läßt sich durch p teilen.

p : beliebige Primzahl und x : läßt sich nicht durch p teilen

„Großes Fermat-Gesetz“: $x^n + y^n = z^n$ hat keine nichttrivialen Lösungen wenn $n > 2$.

Wenn $n = 2$, dann die sogenannten Pythagoras-Zahle sind die Lösungen.

Zum Beispiel: $3^2 + 4^2 = 5^2$.

Die Beschleunigung

Wenn entweder

- der Betrag (bei einer ungleichförmigen Bewegung) oder
- die Richtung (bei gleichförmigen Kreisbewegung)

der Geschwindigkeit sich verändern, dann es handelt sich um Beschleunigung.

Die Beschleunigung ist ein Vektor. Der Momentanwert der Beschleunigung ist

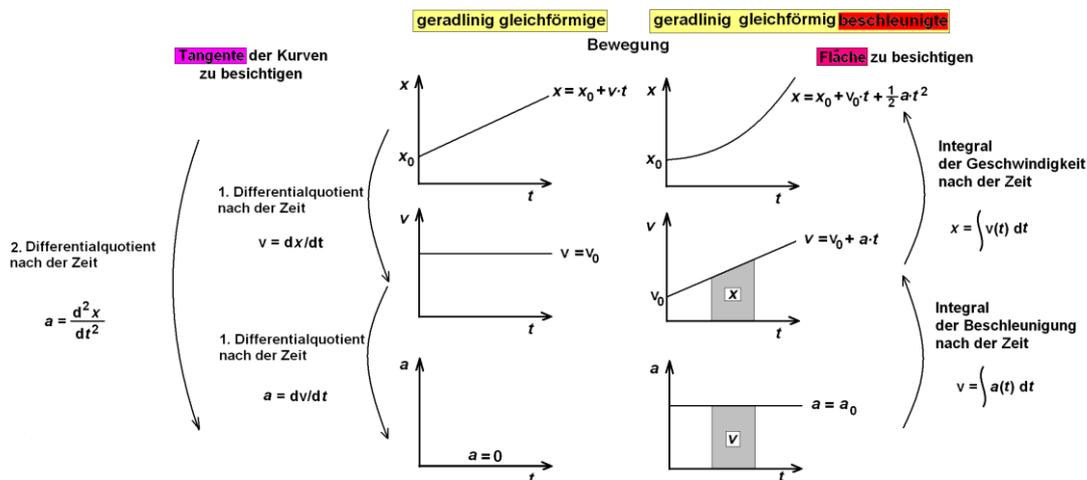
$$\vec{a}(t) = \lim_{t' \rightarrow t} \frac{\vec{v}' - \vec{v}}{t' - t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

Einheit: m/s^2

Bei gleichförmig beschleunigten Bewegung: $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \text{const.}$

Die Geschwindigkeit nimmt mit der Zeit linear zu (positive Beschleunigung) oder ab (negative Beschleunigung oder (Brems-)Verzögerung).

Zusammenhang zwischen Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg und Zeit



Nach Eliminerung der Zeit: $v = \pm \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot a \cdot (x - x_0)}$

Freie Bewegungen im Schwerfeld der Erde

- Freier Fall

Fallweg (durchfallene Wegstrecke): $y = \frac{1}{2} g t^2$

Endgeschwindigkeit: $v = \sqrt{2g \cdot y}$

- Fall auf schiefer Ebene
- Beschleunigung: $a = g \cdot \sin \alpha$

- Der schiefe Wurf
- Wurfhöhe (Steighöhe)

$$y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Wurfweite

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g}$$

Rotationsbewegung

Winkel (φ)

Ebener Winkel: $\varphi = i/r$ (Kreisbogen durch Kreisradius), Einheit rad (Radiant)

Raumwinkel: $\varphi = \Delta A/r^2$ (Flächenelement der Kugel durch Quadrat des Radius),
Einheit sr (Steradian)

Winkelgeschwindigkeit: $\omega = d\varphi/dt$, Einheit 1/s.

Bahngeschwindigkeit: $v = r \cdot \omega$

Winkelbeschleunigung: $\beta = d\omega/dt = d^2\varphi/dt^2$, Einheit 1/s²

Radialbeschleunigung (Zentripetalbeschleunigung): $a_r = v \cdot \omega = v^2/r = r \cdot \omega^2$

Ähnlichkeiten unter physikalischen Größen und Zusammenhängen bei Translations- und Rotationsbewegungen

| | Translationsbewegung | Rotationsbewegung |
|---|---|--|
| Physikalische Größen | Zeit (t) | Zeit (t) |
| | Weg (x) | Winkel (φ) |
| | Geschwindigkeit (v) $v = dx/dt$ | Winkelgeschwindigkeit (ω) $\omega = d\varphi/dt$ |
| | | Bahngeschwindigkeit (v) $v = r \cdot \omega$ |
| Beschleunigung (a) $a = dv/dt = d^2x/dt^2$ | Winkelbeschleunigung (β) $\beta = d\omega/dt = d^2\varphi/dt^2$ | |
| | Radialbeschleunigung (a_r) $a_r = v \cdot \omega = v^2/r = r \cdot \omega^2$ | |
| Gesetze (Zusammenhängen) | $v = v_0 + a \cdot t$ | $\omega = \omega_0 + \beta \cdot t$ |
| | $x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ | $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot t^2$ |

Gleichförmige Kreisbewegung

Umlaufzeit: $T = 2r\pi/v = 2\pi/\omega$, Einheit s

Frequenz: $f = 1/T$, Einheit 1/s = Hz

Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi \cdot f$, Einheit 1/s

Aufgaben

Gleichförmige geradlinige Bewegung

- 1) Zwei Sportler (A und B) bewegen sich aus einem Anfangspunkt unter einem Winkel γ in verschiedenen Richtungen jeweils gleichmäßig und geradlinig so auseinander, dass in 10 s Sportler A 80 m und Sportler B 60 m zurücklegt und der Abstand zwischen den Sportlern erhöht sich zu 72,1 m. Mit welcher Richtung und Geschwindigkeit die beiden Sportler sich auseinanderbewegen?
- 2) Ein Ozeandampfer bewege sich bezüglich des Meeresgrundes mit einer Geschwindigkeit von $v_0 = 8$ m/s. Ein Läufer bewege sich auf dem Dampfer mit $v_L = 4$ m/s senkrecht zur Bewegungsrichtung des Schiffes. Was ist die resultierende Geschwindigkeit des Läufers bezüglich des Meeresgrundes (Betrag und Richtung)?
- 3) In einem Strömungskanal bewegen sich Teilchen mit einer horizontalen Geschwindigkeit von $v_h = 1,2$ m/s und sinken gleichzeitig vertikal mit $v_v = 0,5$ m/s. Was ist die resultierende Geschwindigkeit des Teilchens?
- 4) Ein Boot überquert einen Fluß von einem Ufer zum anderen Ufer ($b = 100$ m) mit einer Geschwindigkeit $v_2 = 5$ km/Stunde. Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers sei $v_1 = 3$ km/Stunde. Wo, wann und entlang welcher Bahnkurve wird das Boot am anderen Ufer ankommen?
- 5) Bei Querwind wird die Rauchfahne eines 90 m langen Zuges, der mit 70 km/h fährt, abgetrieben, und steht 30 m seitwärts vom Zugende. Welche Geschwindigkeit hat der Wind?
- 6) Ein Beobachter sitzt 2 m hinter einem 50 cm breiten Fenster. Vor dem Fenster verläuft in 500 m Entfernung quer zur Blickrichtung eine Landstraße. Welche Geschwindigkeit hat ein Radfahrer, der 15 s lang im Blickfeld des Fensters zu sehen ist?
- 7) Das Auto bewegt sich gleichmäßig mit 120 km/h Geschwindigkeit auf der Landstraße. Mit welchem Abstand müssen die Buchstaben (z.B. des Namen einer Stadt) auf der Straße entlang der Fahrtrichtung gemalt werden um der Fahrer das Wort klar sehen und erfassen zu können? Die durchschnittliche Reaktionszeit des Fahrers sei 0,1 s.
- 8) Ein Gegenstand bewegt sich in 250 m Entfernung mit 20 m/s quer zur Visierlinie eines Gewehres. Um welche Strecke muß der Zielpunkt bei einer Geschwindigkeit von 800 m/s vorgelegt werden?
- 9) Ein Schiff nähert sich mit konstanter Geschwindigkeit zu einem Felsen am Ufer in der Nacht. Das Echo des (Ultra)Schallimpulses wird t_1 Zeit nach Aussendung auf dem Schiff empfängt. Nach der Zeit Δt wird die Echolokalisation wiederholt: das Echo des Schallimpulses wird t_2 Zeit nach der Aussendung auf dem Schiff empfängt. Wie weit ist das Schiff vom Ufer und wie groß ist seine Geschwindigkeit? Die Geschwindigkeit des Schalles ist c .
- 10) Eine Uhr braucht 6 Sekunden um „6“ zu schlagen. Wieviel Sekunden braucht sie um „12“ zu schlagen?

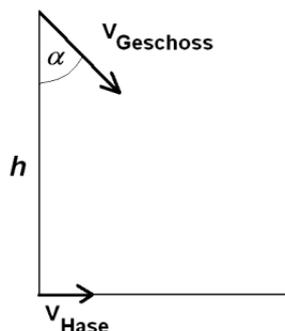
11) Der Kutscher einer mit gleichförmiger Geschwindigkeit fahrenden Langholtzfuhre steigt während der Fahrt von seinem Sitz und begibt sich an das hintere Ende der Fuhre, um dort etwas nachzusehen. Hierbei macht er $L_1 = 10$ Schritte. Er geht danach wieder nach seinem Sitz zurück und muß hierbei $L_2 = 15$ Schritte machen. Wieviel Schritt lang ist die Fuhre? Beweisen Sie, dass die Länge der Fuhre (L) der harmonische Mittelwert der Schritten hin (L_1) und zurück (L_2) ist.

12) Ein Kraftwagen mit 60 km/h wird von einem zweiten mit 70 km/h überholt. Wie lange dauert der Überholvorgang und welche Fahrstrecke muß der Überholer dabei zurücklegen, wenn der gegenseitige Abstand vor und nach dem Überholen 20 m beträgt und beide Wagen je 4 m lang sind?

13) Zwei Züge, von denen der eine 150 m und der andere 200 m lang ist, begegnen sich auf freier Strecke. Welche Geschwindigkeit haben beide Züge, wenn die Vorbeifahrt 10 s lang dauert und der eine während dieser Zeit die absolute Strecke 160 m zurücklegt?

14) Ein Radfahrer legt die erste Teilstrecke von s_1 mit einer Geschwindigkeit von v_1 zurück, und die nächsten s_2 Strecke mit einer Geschwindigkeit von v_2 . Was ist seine Durchschnittsgeschwindigkeit?

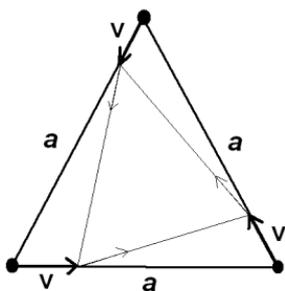
Nehmen wir mal an, dass die zwei Teilstrecken gleich sind. Beweisen Sie (und beachten Sie), dass die Durchschnittsgeschwindigkeit nicht der arithmetische Mittelwert, sondern der harmonische Mittelwert der Teilgeschwindigkeiten ist.



15) In welche Richtung muß der Jäger das Gewehr halten um den Hase niederzuschießen? Die Geschwindigkeiten des Geschosses und des Hase seien v_{Geschoss} bzw. v_{Hase} . Der Abstand zwischen dem Hase und dem Jäger ist h .

16) Zwei Radfahrer fahren in Städten A bzw. B (die Entfernung ist s) gleichzeitig los, und fahren in die Richtung der anderen Stadt (d.h. gegensätzlich) mit gleichmäßigen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 . Beim Start, eine Fliege, die auf der Nase des ersten Radfahrer sitzt, setzt sich in Bewegung mit gleichmäßiger Geschwindigkeit v in die Richtung des zweiten Radfahrers. Wenn die Fliege den zweiten Radfahrer erreicht, dreht sich um und fliegt nach dem ersten Radfahrer zurück. Das Prozess wiederholt sich bis die Radfahrer sich treffen.

Wie lang ist die Strecke die die Fliege zurücklegt?

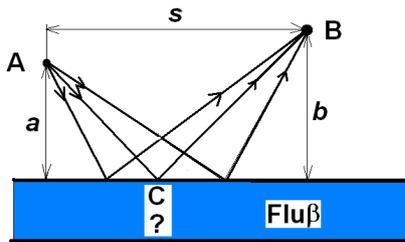


17) In den Spitzen eines gleichseitigen Dreiecks von Seitenlänge $a = 60$ cm sitzen drei Schnecken, die beginnen „laufen“ mit gleichmäßiger Geschwindigkeit $v = 5$ cm/Minute in die Richtung der momentanen Lage des rechtseitigen Partners.

Wo und wann werden sie sich treffen? Wie langen Weg legt eine Schnecke zurück?

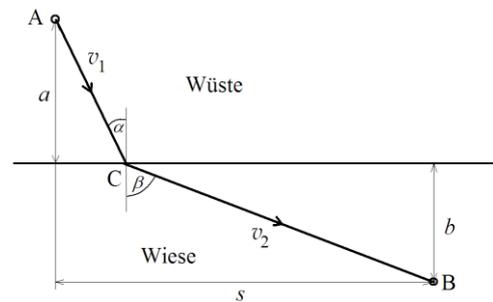
18) Die Fallgeschwindigkeit mittelgroßer Regentropfen ist bei Windstille $v = 8$ m/s. Welche Geschwindigkeit hat ein Zug, an dessen Wagenfenstern die Tropfen Spuren hinterlassen, die um $\alpha = 70^\circ$ von der Senkrechten abweichen?

Fermat Prinzip



19) Ein Wanderer soll von der Stadt A die Stadt B mit konstanter Geschwindigkeit innerhalb der kürzesten Zeit erreichen, aber unterwegs er muß vom Fluß Wasser nehmen. Bei welchem Punkt C des Ufers wird er den Fluß erreichen? Numerische Werte: $a = 3$ km, $b = 5$ km und $s = 10$ km.

20) Ein durstiger Wanderer im Punkt A in der Mitte der (sandigen) Wüste sieht einen Brunnen im Punkt B in der Mitte einer Wiese. Er kann langsamer laufen in der Wüste (Geschwindigkeit v_1) als auf der Wiese (Geschwindigkeit v_2): $v_1 < v_2$. Die Wüste und die Wiese sind mit einer Linie (Grenze) getrennt. Bei welchem Punkt C soll der Wanderer die Grenze überqueren um innerhalb der kürzesten Zeit den Brunnen zu erreichen? Numerische Werte: $v_1 = 2$ km/Std, $v_2 = 5$ km/Std, $a = 3$ km, $b = 5$ km und $s = 10$ km. (Hinweise: es gibt keine analytische Lösung und deswegen müssen Sie eine numerische Lösung der Gleichung finden.)



Beschleunigte geradelinige Bewegung

21) Ein Pkw erhöht seine Geschwindigkeit in 0,5 Minuten gleichmäßig von 25 km/Std auf 55 km/Std. Wie groß ist die Beschleunigung des Pkw im Vergleich zu der eines Radfahrers, der aus Ruhe heraus in derselben Zeit auf 30 km/Std beschleunigt?

22) Ein IC-Express erreicht aus dem Stand nach 6,5 Minuten seine Reisegeschwindigkeit von 250 km/Std.

- Wie groß ist seine mittlere Beschleunigung?
- Wie lang ist die Strecke, die er in dieser Zeit zurücklegt?

23) Eine S-Bahn wird durch eine Notbremsung innerhalb von 20 s auf einer Strecke von 400 m zum Stehen gebracht. Der Bremsvorgang wird in guter Näherung als gleichförmig beschleunigte Bewegung betrachtet.

- Welche Reisegeschwindigkeit hatte der Zug vor der Notbremsung?
- Wie groß war seine Bremsverzögerung (negative Beschleunigung)?

24) Untersuchungen der Bremsreaktionszeit bei Kraftfahrern ergaben für eine Gruppe 0,74 s, für eine andere Gruppe 0,86 s. Welche Gesamtstrecke wird beim Bremsen mit einer Verzögerung (negative Beschleunigung) von $4,5 \text{ m/s}^2$ aus einer Geschwindigkeit von 72 km/h zurückgelegt?

25) Wie groß sind die Anfangsgeschwindigkeit und die Beschleunigung eines Körpers, der in der 6. Sekunde 6 m und in der 11. Sekunde 8 m zurücklegt?

26) Zwei Kraftfahrer starten gleichzeitig von derselben Stelle. Der eine hat die Beschleunigung $1,8 \text{ m/s}^2$ und hat nach 16 s vor dem anderen einen Vorsprung von 50 m. Welche Beschleunigung hat der andere?

27) Ein Güterzug verringert durch gleichmäßiges Bremsen seine Geschwindigkeit von 54 km/h auf 36 km/h und legt dabei die Strecke 500 m zurück. Wie lange dauert der Bremsvorgang?

28) Ein mit 72 km/h fahrender Zug erleidet eine Verspätung von 3 Minuten dadurch, daß er vorübergehend nur mit 18 km/h fahren darf. Brems- und Anfahrbeschleunigung betragen 0,2 bzw. $0,1 \text{ m/s}^2$. Wie lang ist die langsam durchfahrene Teilstrecke?

Freier Fall

29) Wie tief ist ein Brunnen, wenn der Aufschlag eines hineinfallenden Steins 3,5 s nach dem Fallenlassen gehört wird? (Schallgeschwindigkeit $c = 340 \text{ m/s}$)

30) In der wievielten Sekunde legt ein frei fallender Körper 122,6 m zurück?

31) Welche Strecke legt ein frei fallender Körper während der neunten Sekunde zurück?

32) Ein Stein fällt frei von Höhe 120 m. Teilen Sie seinen Weg auf drei Strecken die der Stein während gleicher Zeit zurücklegt.

33) Ein frei fallender Körper passiert zwei 12 m untereinanderliegende Messpunkte im zeitlichen Abstand von 1,0 s. Aus welcher Höhe über dem oberen Messpunkt fällt der Körper, und welche Geschwindigkeit hat er in den beiden Punkten?

34) Ein Körper fällt aus 800 m Höhe; zugleich wird ein zweiter vom Boden aus mit der Anfangsgeschwindigkeit 200 m/s nach oben geschossen. Nach welcher Zeit und in welcher Höhe begegnen beide Gegenstände einander?

Schiefe Ebene

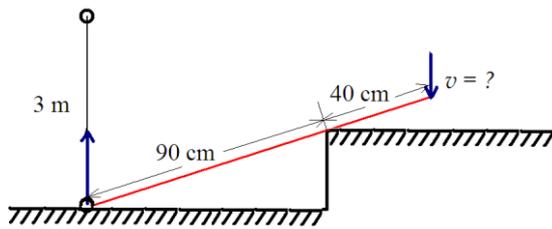
35) Ein punktförmiger Körper ist in den Höhepunkt einer schiefen Ebene (Höhe h und Neigungswinkel α) gesetzt. Wie lange dauert die Fahrt von der Höhe zum Boden?

36) Ein punktförmiger Körper rutscht vom Punkt A einer reibungslosen schiefen Ebene. Bei welchem Neigungswinkel der schiefen Ebene entfernt sich der Körper am schnellsten von der vertikalen Linie durch Punkt A?

37) Vom Punkt A auf dem Boden werden wir schiefen Ebene gegen die vertikale Wand stellen die im Abstand $a = 1 \text{ m}$ vom Punkt A sich befindet. Bei welchem Neigungswinkel rutscht ein auf die schiefe Ebene gesetzter Körper am schnellsten (innerhalb der kürzesten Zeit) von der Wand zu dem Boden und was beträgt die kürzeste Zeit?

38) Welche Neigung muß ein Dach bei gegebener Basis haben, damit darauf befindliches Wasser möglichst schnell abläuft?

Wurf



39) Man schlägt mit der Faust auf das freie Ende eines Brettes, wodurch ein am anderen Ende liegender Ball 3 m hoch fliegt. Mit welcher Endgeschwindigkeit erfolgt der Schlag?

40) Die bei Seilbruch eines Fahrstuhles in Tätigkeit tretende Fangvorrichtung greift ein, wenn die Fallgeschwindigkeit des 1,4fache der 1,2 m/s betragenden Abwärtsgeschwindigkeit erreicht. Wie groß ist die Fallstrecke?

41) Ein aus $h = 1$ m Höhe senkrecht gegen den Erdboden geschleuderter Ball springt $H = 6$ m hoch. Wie groß war seine Anfangsgeschwindigkeit, wenn der Stoß des Balls gegen den Erdboden völlig elastisch ist?

42) Jemand schmeißt einen Stein senkrecht hoch.

- Wie groß ist die Anfangsgeschwindigkeit wenn der Stein bleibt 8 s lang in der Luft?
- Welche Höhe erreicht der Stein erreichen?

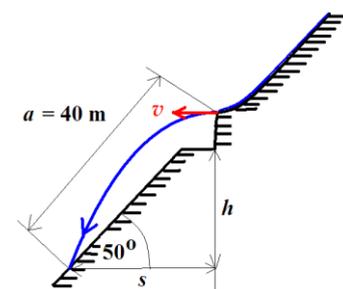
43) Eine Kugel rollt von einem 80 cm hohen Tisch auf dem Boden und trifft 1,2 m von der Tischkante auf dem Boden auf. Wie groß ist die Geschwindigkeit der Kugel beim Verlassen des Tisches?

44) Ein freifallender Ball fällt auf eine schiefe Ebene von Neigungswinkel 45° und fällt nach einem völlig elastischen Stoß erneut auf die schiefe Ebene. Was ist die Richtung und der Betrag der Geschwindigkeit des Balles bei dem zweiten Zusammenstoß? Was ist die Anzahl der Zusammenstöße zwischen dem Ball und der schiefen Ebene bis der Ball den Anfangspunkt der schiefen Ebene erreicht?

45) Ein Wasserstrahl fließt mit der Anfangsgeschwindigkeit 8 m/s horizontal aus einer Düse. A) Mit welcher Geschwindigkeit und B) unter welchem Winkel gegen die Lotrechte trifft er 3 m tiefer auf eine horizontale Fläche?

46) Von einem horizontalen Förderband aus soll Kohle bei 2,5 m Falltiefe 1,80 m weit geworfen werden. Welche Laufgeschwindigkeit muß das Band haben?

47) Welche horizontale Anfangsgeschwindigkeit hat das Wasser eines Gebirgsbaches, das den um 50° geneigten Abhang in einer Entfernung von 40 m erreicht?



48) Eine Ballwurfmaschine werfe die Tennisbälle unter einem Winkel von 45° gegenüber der Horizontalen nach oben aus, die in 5 m Entfernung vom Tennisspieler mit dem Schläger angenommen werden. Die Abwurf- und Auftreffenstelle sollen in gleicher Höhe liegen.

- Berechnen Sie die Abwurfgeschwindigkeit!
- Welche Wurfhöhe bezüglich der Abwurfstelle erreichen die Tennisbälle?
- Wie lange hat der Spieler maximal Zeit um den Ball anzunehmen?

49) Zwei Kinder, die gleich groß sind, spielen: sie werfen einen Ball zueinander hin und her. Welche Höhe erreicht der Ball, wenn er innerhalb 2 s von einem Kind zu dem anderen fliegt?

50) Unter welchem Winkel müssen wir einen Stein werfen um die selbe Höhe und Weite des schiefen Wurfes zu bekommen?

51) Der Wasserstrahl einer Feuerspritze tritt mit der Anfangsgeschwindigkeit 18 m/s aus der Mündung und soll ein 6 m entferntes Haus in 12 m Höhe treffen. Unter welchem Winkel muß die Mündung nach oben geneigt sein?

Kreisbewegung

52) Wieviel Minuten nach 3 Uhr holt der Minutenzeiger den Stundenzeiger zum ersten Mal ein?

53) Wieviel Uhr ist es, wenn nach Überschreiten der Mittagszeit beide Zeiger genau einen rechten Winkel bilden?

54) Der Teller eines mit 45 Umdrehungen pro Minute laufenden Plattenspieler kommt nach dem Abschalten innerhalb 3 s zum Stillstand. Wie groß ist etwa der Betrag der mittleren Winkelverzögerung (negative Winkelbeschleunigung) während des Auflaufens?

55) In einer Zentrifuge rotiert eine kleine Masse im Abstand $r = 9,8$ cm um die Zentrifugenachse mit einer Winkelgeschwindigkeit $\omega = 100$ 1/s.

a) Wievielmals größer ist die auf die Masse wirkende Radialbeschleunigung als die Fallbeschleunigung?

b) Wie groß ist die Bahngeschwindigkeit der Masse?

56) In einem 1 km tiefen, am Äquator gelegenen Schacht läßt man einen Stein fallen. Wie groß ist die durch die Erdumdrehung verursachte Lotabweichung des Auftreffpunktes?

57) Welchen Wert hat die Erdbeschleunigung 900 km über der Erdoberfläche? (Entfernung des ersten künstlichen Erdsatelliten „Sputnik“. Erdradius $r = 6378$ km)

58) Es ist die Umlaufzeit von „Sputnik 1“ unter Anwendung des dritten Keplerschen Gesetzes durch Vergleich mit derjenigen des Mondes zu berechnen. (Abstand des Mondes vom Erdmittelpunkt 384 400 km, Höhe des Sputnik über der Erdoberfläche 900 km, Erdradius 6378 km, Umlaufzeit des Mondes 27,322 Tage)

59) Von bestimmten Neutronensternen (Sterne hoher Dichte) nimmt man an, dass sie etwa mit einer Umdrehung pro Sekunde rotieren. Der Sternäquator hat im Mittel einen Durchmesser von 40 km. Wie groß ist die Beschleunigung eines Punktes am Rande des Sternäquators?

60) Ein noch ungeübter Hammerwerfer schleudert das Sportgerät in 1,8 m Höhe in einem horizontalen Kreis mit Radius 1,6 m. Nach dem Loslassen im geeigneten Augenblick fliegt der Hammer horizontal weg und trifft in 12 m Entfernung auf dem Boden auf.

a) Wie groß war die Radialbeschleunigung während der Rotation der Hammerkugel auf dem Kreis?

b) Wie groß war die Rotationsfrequenz in der Endphase kurz vor dem Loslassen?

c) In welcher Entfernung würde der Hammerkugel auf dem Boden auftreffen, wenn er unter einem Winkel von 45° würde losgelasst?

Dynamik und Statik

Die Dynamik: was ist die Bewegungsursache? Die Lehre der Bewegung von Körper unter dem Einfluss von Kräften.

Physikalische Grösse

Kraft: stellt die Wechselwirkungen dar und ist durch das Aktionsprinzip (zweites Newton'sche Gesetz, Grundprinzip der Dynamik) definiert: $F = m \cdot a$, Einheit newton (N) = $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$.

Gewichtskraft (Gewicht, Schwerkraft): $G = m \cdot g$, Einheit newton (N)

Fallbeschleunigung (Schwerebeschleunigung, Erdbeschleunigung): $g = \frac{\gamma \cdot M}{R^2}$,

γ : Gravitationskonstante

M : Erdmasse

R : mittlerer Erdradius

Federkraft: $\vec{F} = -D \cdot \vec{x}$, die rücktreibende Kraft ist der Auslenkung proportional.

Direktionskraft (Federkonstante): $D = \frac{|\vec{F}|}{|\vec{x}|}$, Einheit N/m.

Zentripetalkraft: $F_{\text{cp}} = m \cdot r \cdot \omega^2$

Zentrifugalkraft: $F_{\text{cf}} = -F_{\text{cp}} = -m \cdot r \cdot \omega^2$

Reibungskraft: $F_{\text{R}} = \mu \cdot N$

Haftreibungskraft: $F_{\text{H}} \leq \mu \cdot N$

Gleitreibungskraft: $F_{\text{G}} = \mu \cdot N$

Rollreibungskraft: $F_{\text{R}} = \mu_{\text{R}} \cdot N$ und $\mu_{\text{R}} \ll \mu$

Drehmoment: $M = F \cdot r$, Kraft-mal-Kraftarm, Einheit N·m

Massenmittelpunkt (Schwerpunkt): in diesem Punkt soll die gesamte Masse des Körpers vereinigt sein, so dass der hier unterstützte Körper in Ruhe bleibt (das Drehmoment im Gravitationsfeld bezüglich dieses Punktes verschwindet).

Kräftepaar: ein System aus zwei parallelen, dem Betrag nach gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Kräften (F), deren Wirkungslinien nicht in derselben Geraden sondern in Entfernung d liegen, $M = F \cdot d$.

Trägheitsmoment: $J = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2$, Einheit $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

für eine Anordnung von n Massenpunkten mit Masse m_i ($i=1, \dots, n$) im jeweils starren Abstand r_i von der Drehachse.

Arbeit: $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$, Einheit joule (J) = N·m

Skalarprodukt der Vektoren Kraft und Weg, „Arbeit = Kraft-mal-Weg“

Betrag: $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

Energie: Arbeitsfähigkeit, Einheit joule

Potentielle Energie, Hubarbeit: $W = mgh$

Potentielle Energie, Spannenergie der Feder: $W = \frac{1}{2} \cdot D \cdot x^2$

Kinetische Energie der Translation: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Kinetische Energie der Rotation (Rotationsenergie): $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$

Leistung: $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$, Einheit Watt (W) = J/s

Impuls: $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$, Einheit $\text{kg} \cdot \text{m/s} = \text{N} \cdot \text{s}$

Kraftstoß: $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$, Einheit N·s

Drehimpuls eines um eine feste Achse rotierenden starren Körpers: $\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$

Grundgesetze

Axiome von Newton

- 1) Trägheitsprinzip: Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der geradlinig gleichförmigen Bewegung, wenn er nicht durch äußere Kräfte gezwungen wird, diesen Zustand zu ändern.
- 2) Aktionsprinzip: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, ein frei beweglicher Körper der Masse m erfährt durch eine Kraft F eine Beschleunigung a , die der wirkenden Kraft proportional ist.

Originale Form von Newton: $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$

Die Kraft F , die auf die Masse m wirkt, ist gleich der Impulsänderung Δp pro Zeiteinheit Δt .

- 3) Reaktionsprinzip: die Kräfte zwischen zwei Körpern sind gleich und entgegengesetzt: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$, aber wirken auf verschiedenen Körpern.
- 4) Prinzip der Superposition: die Kräfte üben ihre Wirkung voneinander unabhängig aus (wie sie allein wären): $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

Die Massenanziehungsgesetz (das Gravitationsgesetz)

Die Gravitationskraft tritt stets zwischen zwei Massen als Anziehungskraft auf:

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

wo γ ist die Gravitationskonstante: $\gamma = 6,68 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Schwerebeschleunigung für beliebigen Abstand von der Erde: $g = g_0 \cdot \frac{r_0^2}{r^2}$

Kreisbahngeschwindigkeit eines Satelliten in beliebiger Höhe: $v = r_0 \cdot \sqrt{\frac{g_0}{r}}$

Kepler'sche Gesetze

- I. Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
- II. Der Fahrstrahl Sonne – Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

Für die momentane Geschwindigkeit (v) und Entfernung von der Sonne (r) gilt

$$v \cdot r = \text{Konstante}$$

Bei zunehmender Entfernung Sonne – Planet wird die Bahngeschwindigkeit kleiner und umgekehrt.

- III. Die Quadrate der Umlaufzeiten verhalten sich wie die dritten Potenzen der mittleren Entfernungen von der Sonne:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

Energieerhaltungssatz der Mechanik: In jedem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie, das ist die Summe aus potentieller und kinetischer Energie, konstant. (Mechanische) Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden; sie kann nur umgewandelt werden.

Impulserhaltungsgesetz: $\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}$ im geschlossenen System.

Wirken auf ein System keine äußeren Kräfte, so bleibt der Gesamtimpuls (Vektorsumme der Impulse) konstant.

Drehimpulserhaltungssatz: $\vec{L} = \text{const}$ im geschlossenen System.

Wirken auf ein System keine äußeren Drehmomente, so bleibt der Gesamtdrehimpuls des Systems konstant.

Statisches Gleichgewicht: ein Körper erfährt weder eine Translations- noch eine Rotationsbeschleunigung.

Bedingungen für statisches Gleichgewicht: $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ und $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = 0$

Ein Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Summe aller angreifenden äußeren Kräfte und die Summe aller äußeren Drehmomente verschwindet.

Hebelgesetz: „Kraft-mal-Kraftarm = Last-mal-Lastarm“

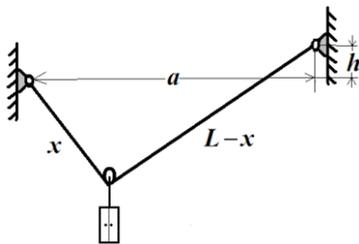
Aufgaben

Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften

1) Zwei unter einem rechten Winkel in einem Punkt angreifende Kräfte von 100 N bzw. 180 N sollen durch zwei andere, einander gleich große Kräfte ersetzt werden, die ebenfalls rechtwinklig zueinander wirken und dieselbe Resultierende ergeben. Wie groß sind diese Kräfte?

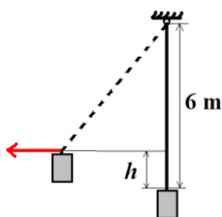
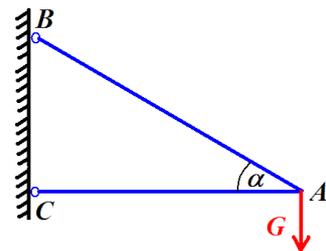
2) Von zwei unter einem rechten Winkel in einem Punkt angreifenden Kräften ist die eine um 30 N größer als die andere und um 40 N kleiner als die Resultierende. Wie groß sind diese drei Kräfte?

3) Eine Straßenlampe hängt an einem quer über die Straße gespannten Seil. Durch welche Kraft wird es gespannt? Das Gewicht der Lampe ist $G = 100 \text{ N}$, die Breite der Straße ist $b = 20 \text{ m}$ und die Lampe befindet sich $x = 0,5 \text{ m}$ unter der horizontalen Linie bestimmt durch die Anhängpunkte des Seiles an den Wänden. Wie hängt die Seilekraft von x ab? Wie groß sollte x mindestens sein wenn das Seil höchstens eine Kraft $F_{\max} = 1 \cdot 10^3 \text{ N}$ ohne Brechen (Zerrissen) ertragen kann?



4) Zwei Anhängpunkte im Abstand $a = 10 \text{ m}$ und in der Höhendifferenz $h = 2 \text{ m}$ sind mit einem Seil (Länge $L = 15 \text{ m}$) geschlossen. Ein Kabin gehängt durch eine Rolle zum Seile kann sich ohne Hindernisse entlang des Seiles bewegen. Wo befindet sich sein Gleichgewichtslage?

5) Die Stäbe AB und AC des Wandarms dürfen höchstens mit 2100 N bzw. 1700 N beansprucht werden. Wie groß ist der Winkel α zu wählen, und welche Last G darf der Wandarm höchstens tragen?



6) Um welche Höhe h kann die an einem 6 m langen Seil hängende Last von $2 \cdot 10^4 \text{ N}$ durch waagerechten Zug gehoben werden, wenn das Zugseil mit höchstens $1 \cdot 10^4 \text{ N}$ beansprucht werden darf?

Schwerpunkt

7) Die Massen von Erde und Mond verhalten sich wie 81:1. Der mittlere Abstand ihrer Massenmittelpunkte beträgt $3,84 \cdot 10^5 \text{ km}$. In welcher Entfernung vom Erdmittelpunkt liegt der gemeinsame Massenmittelpunkt? Vergleichen Sie mit dem Erdradius.

8) Wo liegt der Schwerpunkt eines 2 cm dicken und 80 cm langen, runden Holzstabes (Dichte $0,6 \text{ g/cm}^3$), der zur Hälfte seiner Länge mit 1 mm dickem Eisenblech (Dichte $7,6 \text{ g/cm}^3$) umhüllt ist?

9) Was ist die kleinste Kraft (Betrag und Richtung) die ein Eisenwürfel (Kantenlänge 10 cm) umkippen kann? Die Dichte des Eisens ist $7,6 \text{ g/cm}^3$.

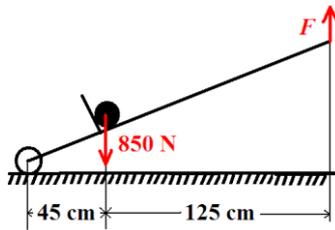
10) Ein Zylinder mit gegebenem Radius der Grundplatte ist auf eine schiefe Ebene von Neigungswinkel α gesetzt. Was könnte die Höhe des Zylinders höchstens sein um es nicht umzukippen?

11) Wo befindet sich der Schwerpunkt der Buchstabe „T“? Die Längen der horizontalen und der vertikalen Strecken der Buchstabe sind gleich.

12) In welcher Höhe über dem Boden liegt der Schwerpunkt eines oben offenen (unten geschlossenen), zylindrischen Gefäßes von $h = 1,20$ m Höhe und $d = 0,80$ m Durchmesser bei überall gleicher Wanddicke?

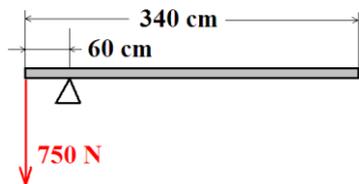
13) Das in der vorigen Aufgabe betrachtete Gefäß ist 500 N schwer und kann sich um eine 3 cm oberhalb seines Schwerpunktes gelegene Querachse drehen. Bis zu welcher Höhe kann es mit Wasser gefüllt werden, ehe es umkippt?

Einfache Maschinen



14) Eine Schubkarre ist nach dem Bild mit einer Last von 850 N beladen. Mit welcher Kraft F muß gehalten werden?

15) Wieviel wiegt der Balken (zweiarmiger Hebel), wenn er durch die am Ende angebrachte Last von 750 N in der Schwebe bleibt?



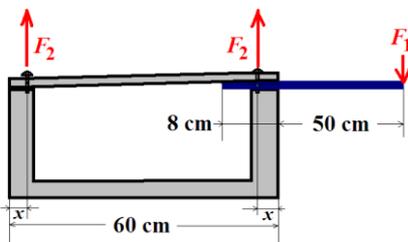
16) Zwei Personen A und B tragen mithilfe einer auf ihren Achseln liegenden Stange der Länge $1,8$ m einen an dieser befestigten Stein der Masse 120 kg. Die Tragfähigkeiten der beiden Personen verhalten sich wie $11:13$.

a) Wo ist die Last anzuhängen?

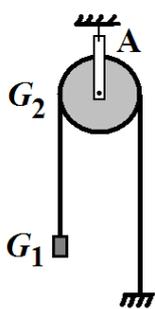
b) Wie groß ist die Last, die jede Person zu tragen hat?

c) Ändert sich die Verteilung der Last, wenn sie an einer längeren Stange getragen wird?

17) Von 8 Kugeln sind 7 genau gleich schwer, die achte dagegen ein wenig schwerer als die übrigen. Durch nur 2 Wägungen mit der Tafelwaage ist die schwerere herauszufinden. Wie ist zu verfahren?

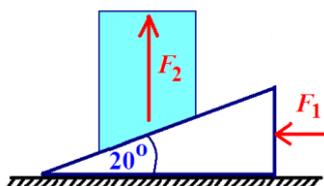
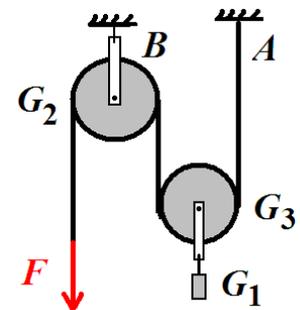


18) Um eine nur an den Längsseiten vernagelte Kiste zu öffnen, schiebt man eine 58 cm lange Brechstange 8 cm tief unter den Deckel und drückt mit der Kraft $F_1 = 220$ N auf das freie Ende. Mit welcher Kraft F_2 wird jede der beiden Nagelreihen herausgezogen, wenn sie gleich weit vom Deckelrand (x) entfernt sind?



19) Welche Kraft wirkt bei Anhangepunkt A, wenn das über die feste Rolle gelegte Seil einerseits die Last $G_1 = 500$ N trägt, andererseits am Boden festgeknotet ist? Das Gewicht der Rolle ist $G_2 = 100$ N.

20) Welche Kraft F am freien Ende des einfachen Flaschenzuges hält der Last $G_1 = 1800$ N das Gleichgewicht? Gewichte der festen Rolle und der losen Rolle sind $G_2 = 40$ N bzw. $G_3 = 60$ N. Welche Kräfte wirken in Punkten A und B?



21) Gegen den Rücken des Keiles wirkt horizontal die Kraft $F_1 = 600$ N. Mit welcher Kraft F_2 wird dadurch der bewegliche Stempel nach oben gedrückt?

Reibung

- 22) Welche waagrecht gerichtete Zugkraft ist erforderlich, um eine Last vom Gewicht G auf einer schiefen Ebene von der Steigung α bei der Reibungszahl μ aufwärts zu bewegen?
- 23) Welche hangaufwärts gerichtete Kraft F_0 hindert den Körper Masse m bei gegebener Haftreibungszahl μ_0 und gegebenem Neigungswinkel α am Abgleiten? Welche Kraft F' bewegt den Körper mit gleichförmiger Geschwindigkeit hangaufwärts (die Gleitreibungszahl ist μ')?
- 24) Eine $b = 2$ m breite und homogene Kiste wird durch horizontalen Zug abgeschleppt. In welcher Höhe darf das Seil höchstens angebracht werden, damit die Kiste nicht kippt. Die Haftreibungszahl ist $\mu = 0,6$.
- 25) Bei welchem Spreizwinkel rutschen die Füße einer oben belasteten, ungesicherten Stehleiter auseinander, wenn für die Reibungszahl am Boden $\mu = 0,3$ angenommen wird? Das Eigengewicht der Leiter bleibe unberücksichtigt.
- 26) Eine 5 m lange und 150 N schwere Leiter lehnt unter einem Winkel von 75° gegen einen Mast. Welche Strecke darf ein 750 N schwerer Mann höchstens hinaufsteigen, wenn die gegen den Mast drückende Kraft nicht größer als 150 N sein darf?
- 27) Eine schwerlose Leiter mit Länge l lehnt unter einem Winkel α gegen eine senkrechte und spiegelglatte Wand. Welche Strecke darf ein Mann mit Masse m höchstens hinaufsteigen, ehe die Leiter rutscht? Die Haftreibungszahl zwischen der Leiter und dem Boden ist μ .

Grundgesetz der Dynamik

- 28) Eine Masse von 300 kg wird gleichmäßig beschleunigt senkrecht um 8 m gehoben. Welche Zeit wird benötigt, wenn eine Kraft von 3500 N zur Verfügung steht?
- 29) Mit welcher Kraft drückt ein Körper von 5 kg Masse auf die Unterlage, wenn er eine schiefe Ebene von 30° Gefälle reibungslos abwärtsgleitet?
- 30) Wie stellt sich der Spiegel (Wasseroberfläche) in einem mit Wasser gefüllten Tankwagen ein, wenn der Wagen a) auf einer schiefe Ebene mit Neigungswinkel von $\alpha = 30^\circ$ steht (sich nicht bewegt), b) erschütterungs- und reibungsfrei die schiefe Ebene hinabrollt und c) mit einer Gleitreibungskoeffizient von $\mu = 0,1$ herunterrutscht?
- 31) Mit welcher Kraft muß man einen Wagen von $1,5 \cdot 10^4$ kg Masse schieben, um ihm innerhalb von 80 s die Endgeschwindigkeit 3 m/s zu erteilen, a) ohne Berücksichtigung der Reibung und b) bei Beachtung einer Fahrwiderstandszahl (Reibungskoeffizient) von $\mu = 0,01$?
- 32) Welche Bremskraft ist erforderlich, um ein Fahrzeug von 800 kg Masse, dessen Geschwindigkeit 25 m/s beträgt, a) innerhalb von 60 m und b) innerhalb von 60 s zum Halten zu bringen?
- 33) Ein Güterzug besteht aus drei Waggonen von $m_1 = 1,1 \cdot 10^4$ kg, $m_2 = 1,2 \cdot 10^4$ kg und $m_3 = 1,3 \cdot 10^4$ kg Massen. Welche Zugkraft muß die Lokomotive aufwenden, um mit der Beschleunigung $0,09 \text{ m/s}^2$ anzufahren. Wie groß sind die Kräfte die in den Ketten zwischen den Wagen auftreten?

34) Beim Bremsen eines Lastkraftwagens kommt eine Kiste ins Rutschen. Bei welcher minimalen Verzögerung tritt dies ein, wenn die Gleitreibungszahl $\mu = 0,55$ beträgt?

35) Auf einem Trinkglas von 10 cm Durchmesser liegt ein Kartenblatt und in der Mitte darauf eine Münze. Mit welcher Mindestgeschwindigkeit muß das Blatt weggezogen werden, damit die Münze noch in das Glas fällt? ($\mu = 0,5$)

36) In einem vertikalen Schacht gleitet ein Körper der Masse 1 kg an den Wänden des Schachtes bei konstanter und geschwindigkeitsunabhängiger Reibungskraft reibend nach unten. Er bewegt sich mit $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ gleichmäßig beschleunigt. Wie groß sind a) die wirkende Bremskraft und b) die (normale) Kraft die die Wand des Schachtes auf den Körper ausübt? Der Gleitreibungskoeffizient ist 0.1.

37) Welche Kraft wirkt im Halteseil eines Fahrstuhles von 1500 kg Masse a) beim Anfahren nach oben und b) beim Anfahren nach unten, wenn die Beschleunigung in beiden Fällen $a = 1,5 \text{ m/s}^2$ beträgt?

38) Eine Person der Masse $m = 100 \text{ kg}$ befinde sich in einem Fahrstuhl, der mit $a = 2 \text{ m/s}^2$ beschleunigt anfährt. Wie groß ist die Kraft der Person auf den Boden des Aufzugs

a) bei der Aufwärtsbewegung?

b) Bei der Abwärtsbewegung?

c) Wenn das Seil, an dem der Aufzug aufgehängt ist, reißt und der Aufzug frei fällt?

39) Die Masse der Kabine eines Liftes ist 2100 kg, das Gegengewicht wiegt 6000 N. Welche Endgeschwindigkeit würde nach 10 m Fallhöhe erreicht werden, wenn sich die Seilscheibe frei drehen könnte?

40) Zwei identische Körper von je 1000 kg („Gegengewichte“) hängen an beiden Enden eines Seils um eine feste Rolle in der Höhe von 10 m. Das System ist in Gleichgewicht. Im Anfangsmoment ($t = 0$) wird eine zusätzliche Masse von 100 kg („ein Fahrgast“) zu einem der Körper („die Schranke des Fahrstuhls“) gegeben und das System beginnt sich zu bewegen. Wie lange dauert die Fahrt zum Boden?

41) An einem Körper greift ein Kräftepaar. Der Betrag der Kräfte ist 50 N und der Abstand der beiden Wirkungslinien der Kräfte ist 0,5 m. Der Körper erfährt eine Winkelbeschleunigung von 40 s^{-2} . Wie groß ist sein Trägheitsmoment?

42) Eine Kugel der Masse 1 kg wird in einem vertikalen Kreis mit Radius 1 m an einer Schnur mit 90 Umdrehungen pro Minute herumgeschleudert. Wie groß ist die Kraft in der Schnur, wenn die Kugel a) den oberen, b) den unteren Scheitel des Kreises passiert?

43) Ein mit Wasser gefülltes offenes Gefäß der Masse $m = 1 \text{ kg}$ wird in einem vertikalen Kreis mit Radius $r = 1 \text{ m}$ herumgeschleudert. Wie groß muß die Geschwindigkeit mindestens sein, damit kein Wasser ausläuft? Wie groß ist die Kraft in der Schnur, wenn das Gefäß den unteren Scheitel des Kreises passiert?

Gravitation

44) Die Masse des Mondes ist etwa 81mal kleiner als die der Erde, sein Durchmesser beträgt etwa 0,273 Erddurchmesser. Welches Gewicht hat an seiner Oberfläche die Masse 1 kg?

45) In welcher Entfernung vom Erdmittelpunkt wird ein zwischen Erde und Mond befindlicher Gegenstand schwerelos? (Abstand Mondmittelpunkt – Erdmittelpunkt ist 384 400 km, und Mondmasse = 1/81 Erdmasse)

46) In welcher Höhe über dem Äquator der Erde befindet sich ein geostationärer Satellit? Man nennt einen Satellit geostationär, wenn seine Umlaufdauer genau 1 Tag (24 h) beträgt, d. h. wir sehen den Satellit immer auf dem selben Punkt des Himmels über uns stehend. (Erdradius $r = 6378$ km)

47) Wie oft müßte sich die Erde täglich um ihre Achse drehen, wenn dadurch die Erdbeziehung am Äquator ($g = 9,78 \text{ m/s}^2$) aufgehoben werden soll? (Das Erdradius beträgt $r = 6378$ km.)

48) Welchen Wert hat die Erdbeschleunigung 900 km über der Erdoberfläche (Entfernung der künstlichen Erdsatelliten)? Was würde das Gewicht eines Persons von 100 kg Masse in dieser Höhe?

49) Welchen Durchmesser müssen zwei sich berührende Bleikugeln (Dichte $11,3 \text{ g/cm}^3$) haben, wenn sie sich mit der Kraft 0,01 N gegenseitig anziehen sollen? Die Gravitationskonstante beträgt $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

Arbeit, Leistung, Energie und Impuls

50) Welche Arbeit ist nötig, um 10 auf der Erde liegende Ziegelsteine von je 6,5 cm Höhe und 3,5 kg Masse aufeinanderzuschichten?

51) Eine 5 kg Masse hängt an einem leichten, 5 m langen Faden (Draht). Sie ist in horizontaler Richtung 2,5 m weit ausgezogen und freigelassen. Wie groß ist die Maxima der Geschwindigkeit und Bewegungsenergie des Köpers?

52) Um eine Schraubenfeder um 15 cm auszudehnen, ist die Arbeit 1 J aufzuwenden. Wie groß ist die Endkraft, wenn die anfängliche Kraft 1 N beträgt? (Achtung: die Ausdehnung erfolgt nicht aus der Ruhelage der Feder!)

53) Eine Lokomotive erzielt im Gebirge bei der Geschwindigkeit 46 km/h eine Zugkraft von $1 \cdot 10^5$ N. Welcher Leistung entspricht dies?

54) Bei welcher Drehzahl (Frequenz) leistet ein Motor, dessen Drehmoment 90 Nm beträgt, 40 kW?

55) Welches Drehmoment muß ein Motor haben, der bei der Drehzahl 4200 1/min innerhalb von 15 s die Arbeit 45 kJ verrichten soll?

56) Eine kleine Wasserturbine leistet 20 kW bei 2,5 m Fallhöhe und einem Zulauf von 80 L/s. Wie groß ist ihr Wirkungsgrad?

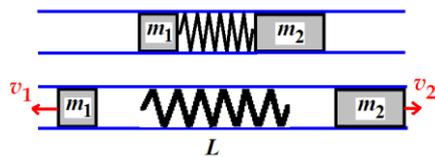
57) Für eine Hauswasseranlage wird zur Förderung von 40 L/min auf 30 m Höhe ein Pumpenaggregat von 300 W benötigt. Wie groß ist der Wirkungsgrad?

58) Berechnen Sie die Geschwindigkeit und die kinetische Energie des Körpers von Masse 20 kg am Fußpunkt der schiefen Ebene! Die Anfangsgeschwindigkeit des Körpers im Höhepunkt der schiefen Ebene ist 1 m/s und die Länge und die Steile der schiefen Ebene ist 6 m bzw. 30° .

59) Aus welcher Höhe fällt ein Körper, der beim Auftreffen am Boden das Impuls $100 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ und die kinetische Energie 500 J hat, und wie groß ist seine Masse?

60) Welche Kraft ist notwendig, um einem Körper nach Zurücklegen der Strecke 5 m das Impuls $300 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ und die kinetische Energie 250 J mitzuteilen? Wie groß ist die Masse des Körpers?

61) Aus einem Gewehr der Masse 3 kg wird eine Gewehrkugel der Masse 10 g mit einer Anfangsgeschwindigkeit 600 m/s abgefeuert. Wie groß ist der Kraftstoß? Wie groß ist der Betrag der Rückstoßgeschwindigkeit des Gewehres?



62) Zwei zylindrische Körper von $m_1 = 120 \text{ g}$ und $m_2 = 300 \text{ g}$ werden durch eine sich plötzlich entspannende Feder in entgegengesetzter Richtung aus dem Lauf L geworfen. Mit welchen Geschwindigkeiten werden sie davongeschleudert, wenn die Feder die Energie 5 J dabei abgibt? Welche Geschwindigkeiten ergeben sich, wenn a) der Körper m_2 oder b) der Körper m_1 festgehalten wird?

63) In eine Lore von 800 kg Masse, die mit der Geschwindigkeit $1,5 \text{ m/s}$ fährt, fallen senkrecht von oben 600 kg Schotter. Auf welchen Betrag sinkt dadurch die Geschwindigkeit der Lore?

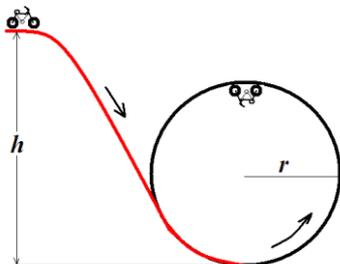
64) Das Geschöß ($m_1 = 10 \text{ g}$) einer Pistole dringt in einen Holzklotz ($m_2 = 600 \text{ g}$), der auf einer horizontalen Tischplatte liegt und dadurch $5,5 \text{ m}$ weit fortrutscht ($\mu = 0,4$). Welche Geschwindigkeit hat das Geschöß?

65) Zwei Pkw gleicher Bauart und Masse stoßen zusammen. Der Stoß sei soll inelastisch und zentral. Vergleichen Sie die auftretenden Verformungsarbeit für folgende Fälle:

a) Beide Fahrzeuge fahren mit gleicher Geschwindigkeit einander entgegen.

b) Das eine Fahrzeug stößt mit doppelter Geschwindigkeit auf das ruhende zweite Fahrzeug.

c) Wie groß ist die auftretende Verformungsarbeit, wenn ein Pkw mit doppelter Geschwindigkeit voll inelastisch gegen eine starre Betonwand fährt?



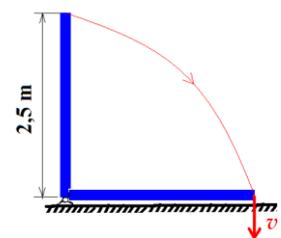
66) Aus welcher Höhe muß ein Artist mindestens starten, damit er die „Todesschleife“ durchfährt, ohne abzustürzen? (Ohne Berücksichtigung der Reibungswiderstände und der Eigenrotation des Fahrzeuges)

67) Welche Energie enthält eine Kreisscheibe von 8 kg Masse und 50 cm Durchmesser bei einer Drehzahl von 500 min^{-1} ?

68) Ein dünner Reifen rollt eine schiefe Ebene hinab. Welcher Bruchteil seiner Gesamtenergie entfällt auf Rotationsenergie?

69) Welche Geschwindigkeit erreicht eine Vollkugel, die auf einer schiefen Ebene die Höhe h reibungslos durchläuft?

70) Mit welcher Geschwindigkeit trifft der Endpunkt einer $2,5 \text{ m}$ langen, anfänglich senkrecht stehende Stange beim Umfallen auf den Boden?



Deformierbare Körper

Physikalische Größe

Deformierbare feste Körper

Mechanische Spannung: $\sigma = F/A$, Einheit N/m^2

F ist die senkrecht auf die Fläche A wirkende Zug- oder Druckkraft (Normalkraft)

Relative Dehnung: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$, keine Einheit (reine Zahl)

l ist die Anfangslänge des Körpers vor der Dehnung und Δl ist die (absolute) Längenänderung

Young'scher Dehnungs- oder Elastizitätsmodul: $E = \sigma/\varepsilon$, Einheit N/m^2

Querkontraktionsfaktor (Poisson-Zahl): $\mu = -\frac{\Delta d/d}{\Delta l/l}$, keine Einheit (reine Zahl)

$\Delta d/d$: relative Änderung des Durchmessers eines Stabes mit kreisförmigem Querschnitt,
 $\Delta l/l$: relative Änderung der Länge des Stabes

Volumenelastizitäts- oder Kompressionsmodul: $K = \frac{\sigma}{\Delta V/V}$, Einheit N/m^2

$\Delta V/V$ ist die relative Volumenänderung

Kompressibilität: $1/K$, Einheit m^2/N

Kehrwert des Kompressionsmoduls.

Scherkraft (Schubkraft): F greift tangential (nicht senkrecht!) am Körperfläche A . Einheit N

Scherspannung (Schubspannung): $\tau = F/A = \text{Scherkraft/Fläche}$, Einheit N/m^2 .

Scherungs-, Schub- oder Torsionsmodul: $G = \tau/\gamma$, Einheit N/m^2 .

γ ist der Scherwinkel.

Flüssigkeiten und Gase

Druck: $p = F/A$, Einheit pascal (Pa) = N/m^2

Das Verhältnis von Kraft und Fläche senkrecht zu ihr.

Hydrostatischer Druck: $p = \rho \cdot g \cdot h$, Einheit Pa

ρ : Dichte der Flüssigkeit, g : Fallbeschleunigung und h : Höhe der Flüssigkeitssäule.

Staudruck (hydrodynamischer Druck): $\frac{1}{2} \rho v^2$, Einheit Pa

ρ : Dichte der Flüssigkeit, v : Geschwindigkeit der Strömung der Flüssigkeit

Volumenstrom(stärke): $I = \Delta V/\Delta t$, Einheit m^3/s

Durch die gesamten Querschnittsfläche in der Zeiteinheit Δt strömende Volumen ΔV .

Dynamische Viskosität (Zähigkeit, Koeffizient der inneren Reibung): $\eta = \frac{\Delta F / \Delta A}{\Delta v / \Delta z}$,

Einheit $\text{Pa} \cdot \text{s}$

Quotient der Schubspannung $\Delta F/\Delta A$ und des Geschwindigkeitsgradienten $\Delta v/\Delta z$.

Reynolds-Zahl: $Re = r \cdot \rho \cdot v / \eta$, keine Einheit (reine Zahl)

r : charakteristische lineare Abmessung, ρ : Dichte der Flüssigkeit, v : mittlere Strömungsgeschwindigkeit und η : dynamische Viskosität der Flüssigkeit

Strömungswiderstandskraft: $F = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$, Einheit N

Sie ist proportional zur Dichte ρ , zur größten senkrecht zur Strömung wirksamen Querschnittsfläche A und zum Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit v . Der Proportionalitätsfaktor (Widerstandsbeiwert) c_w ist eine dimensionslose Zahl und ist abhängig (im Idealfall) nur von der Form (Profil) des umgeströmten Körpers.

Oberflächenspannung: $\sigma = F/l$ oder $\Delta W/\Delta A$, Einheit $N/m = J/m^2$
Zuwachs an Energie (ΔW) durch Oberflächenzunahme (ΔA)

Grundgesetze

Hooke'sches Gesetz: $\sigma = E \cdot \varepsilon$

Die Spannung σ ist der relativen Deformation ε proportional. Der Proportionalitätsfaktor ist der Young'sche Elastizitätsmodul E .

Pascal'sches Gesetz (Gesetz der allseitigen Druckausbreitung): der hydrostatische Druck an jedem Punkt der Flüssigkeit gleich stark in jede Raumrichtung ist. Dieses Gesetz gilt unter der Voraussetzung, daß die Schwerkraft gegenüber den äußeren Drücken vernachlässigt werden kann und sich die Teilchen leicht gegeneinander verschieben lassen (die Flüssigkeit hat keine innere Reibung).

Archimedisches Prinzip: Durch den Auftrieb erfährt ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper einen (scheinbaren) Gewichtsverlust, welcher gleich dem Gewicht des durch den Körper verdrängten Flüssigkeitsvolumens ist.

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

Bei stationärer Strömung der Geschwindigkeit v fließt pro Zeiteinheit durch jede Querschnittsfläche A die gleiche Menge einer Flüssigkeit (oder eines Gases).

Bernoulli-Gleichung: $p_{\text{ges}} = p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 (= \text{const})$

Der Gesamtdruck p_{ges} ist die Summe des statischen Druckes p , des hydrostatischen Druckes $\rho g h$ und des Staudruckes (dynamischen Druckes) $1/2 \cdot \rho \cdot v^2$ und ist eine Konstante in beliebigen Punkten des Strömungsfeldes.

Newton'sches Reibungsgesetz (Newton'sche Viskositätsgleichung): $F = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta z}$

F : Tangentialkraft; η : dynamische Viskosität (Koeffizient der inneren Reibung); A : Berührungsfläche der Schichten; $\Delta v/\Delta z$: Geschwindigkeitsgradient in z -Richtung (Geschwindigkeitsgefälle, senkrecht zur Bewegungsrichtung der Platte), zwei in Abstand Δz aneinander vorbeigleitende Fluidschichten unterscheiden sich um Δv in ihrer Geschwindigkeit;

Wichtigste Zusammenhänge

Elastizitätskonstante der deformierbaren festen Körper:

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)} \qquad G = \frac{E}{2(1+\mu)} \qquad \frac{E}{2} > G > \frac{E}{3}$$

Hydraulische Presse: $F_1/F_2 = A_1/A_2$

Die an den Kolben 1 und 2 angreifenden Kräfte F_1 und F_2 verhalten sich wie die Kolbenquerschnitte A_1 und A_2 .

Barometrische Höhenformel: $p_h = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{\rho_0}{p_0} g h\right)$

Die Abnahme des Atmosphärendruckes p_h in Abhängigkeit von der Höhe h über der Erdoberfläche ist durch eine exponentielle Funktion gegeben.

p_0 , ρ_0 und g sind der Atmosphärendruck, die Luftdichte bzw. die Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche. Die barometrische Höhenformel erlaubt, bei bekanntem Druck an der Erdoberfläche (p_0), eine grobe Bestimmung der Höhe h über der Erdoberfläche durch Messung des Luftdruckes in dieser Höhe (p_h), vorausgesetzt die Temperatur ändert sich nicht, d.h. bleibt konstant.

Stokes'sche Formel: $F_R = -6\pi\eta r v$

Die (Newton'sche) Flüssigkeit setzt dem bewegten Körper (einer Kugel mit nicht zu großem Radius) einen Widerstand entgegen. Die wirkende Reibungskraft ist proportional zur Zähigkeit des Fluids und zur Geschwindigkeit der Kugel relativ zur Flüssigkeit.

F_R : Reibungskraft; η : dynamische Viskosität (Koeffizient der inneren Reibung); r : Radius der Kugel; v : relative Geschwindigkeit

Gesetz von Hagen-Poiseuille: $I = \frac{\pi}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{l} \cdot R^4$

Der Volumenstrom I in einer zylindrischen Röhre mit Radius R ist direkt proportional dem Druckfalle längs der Röhre $\Delta p/l$, indirekt proportional der dynamischen Viskosität der Flüssigkeit η , wächst aber mit der 4. Potenz des Rohrradius an.

Laplace Gleichung (Kohäsionsdruck, Binnendruck): $p = 2 \cdot \sigma / r$

σ : Oberflächenspannung und r : Radius der kugelförmigen Flüssigkeitstropfen bzw. der Gasblase in einer Flüssigkeit.

Aufgaben

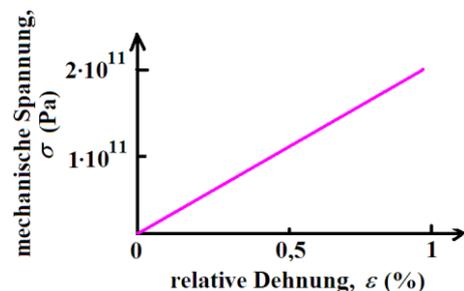
Elastische Deformation des festen Körpers

1) Ein Röhrenknochen werde vereinfacht als Hohlzylinder mit massiver, homogener Wandung angesehen. Die ringförmige Querschnittsfläche beträgt 4 cm^2 . Der Knochen wird durch eine Kraft von 2 kN gedehnt, die senkrecht zur Querschnittsfläche angreift. Wie groß ist die Zugspannung im Knochengewebe?

2) Auf welche Länge wird ein Messingdraht mit Durchmesser von $0,8 \text{ mm}$ (kreisförmige Querschnittsfläche), der unbelastet 960 mm lang ist, durch Anhängen einer Masse von $5,7 \text{ kg}$ gedehnt, wenn der Elastizitätsmodul 150 GPa ist?

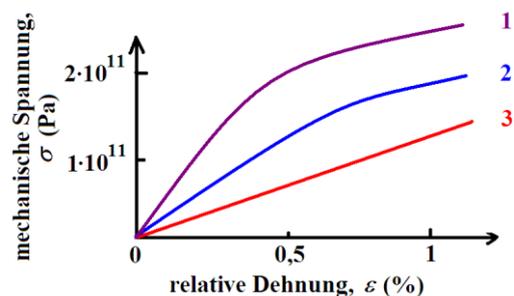
3) Der Kopf eines Reißnagels habe eine Fläche von 1 cm^2 , die Querschnittsfläche des Reißnagels sei 1 mm^2 und die Querschnittsfläche der Reißnagelspitze betrage $0,1 \text{ mm}^2$. Der Nagel werde mit einer Kraft von 10 N in ein Holzbrett gedrückt. Wie groß ist der mittlere Druck, der an der Spitze des Reißnagels herrscht? Wie groß ist die relative Kompression des Reißnagels wenn das Elastizitätsmodul $2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ beträgt?

4) Von einem Schwerlastkran wird ein Gesamtgewicht von 10^4 N an fünf Stahlseilen von je 2 cm^2 Querschnittsfläche derart gehalten, dass alle Seile gleichmäßig belastet werden. Welche Zugspannung herrscht in jedem einzelnen Seil, wenn deren Eigengewichte vernachlässigt werden?



5) Im Bild ist das Spannung-Dehnungsdiagramm von Stahl dargestellt. Bestimmen Sie den Young'schen Elastizitätsmodul E dieser Stahlsorte!

6) Die mechanische Spannung gegen Dehnungskurven sind für drei unterschiedliche Materialien in Bild dargestellt. A) Wie unterscheiden sich die Young'sche Elastizitätsmodule E der drei Materialien? B) Bis zu welcher Dehnung gilt für die drei Stoffe das Hooke'sche Gesetz?



7) Ein Hammerwerfer wirft die Eisenkugel der Masse $m = 7,5 \text{ kg}$ unter dem Winkel von 45° gegen die horizontale Richtung $L = 80 \text{ m}$ weit. Die Kugel hängt am Ende eines Stahlseils von Länge $l = 1,5 \text{ m}$ und Durschnittsfläche $A = 5 \text{ mm}^2$. Wie groß ist die Verlängerung des Drahtes bei dem Moment des Entwerfens? Der Young'sche Elastizitätsmodul des Drahtes ist $E = 210 \text{ GPa}$.

8) Die einseitige elastische Dehnung (Hooke'sches Gesetz) kann man als die Dehnung eines Feders (Federgesetz) betrachten. Vergleichen Sie die entsprechenden Gesetze und bestimmen Sie den Zusammenhang zwischen dem Young'sche Elastizitätsmodul (E) und der Direktionskraft (D)! Was beträgt die elastische Energie, die in einem einseitig gedehnten Seil gespeichert ist?

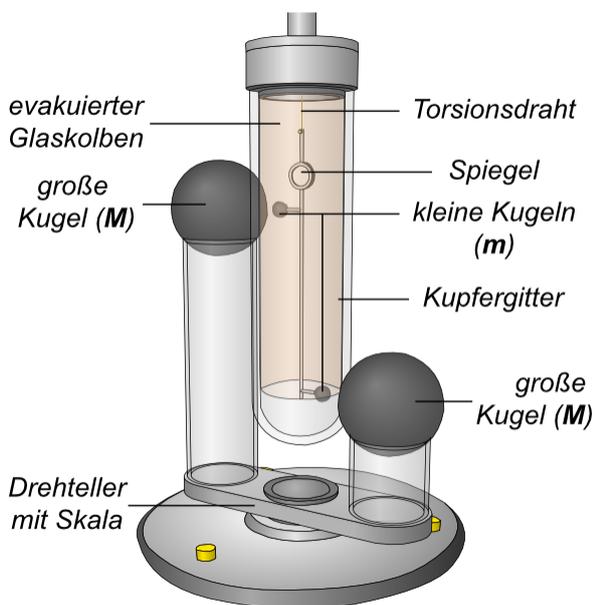
9) Wie groß ist die Querkontraktion $\Delta d/d$ eines zylindrischen Silberfadens (d ist das Durchmesser des kreisförmigen Querschnitts), der mit einer einseitigen Spannung von $1 \cdot 10^{12} \text{ Pa}$ belastet ist? Der Young'sche Elastizitätsmodul und die Poisson-Zahl des Silbers sind $E = 7,8 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$, bzw. $\mu = 0,37$.

10) Ein Eiswürfel ist zu einem allseitigen Druck von 100 bar ausgesetzt. Wie große Volumenänderung werden wir erfahren? Der Kompressionsmodul von Eis beträgt $9,8 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$.

11) Das Wasser in einer kugelförmigen Behälter von Radius $r = 10$ cm wird vollständig gefroren. Was für ein Seitendruck tritt auf, den die Wänden des Behälters ohne Brechen aushalten müssen? Der Kompressionsmodul von Eis beträgt $9,8 \cdot 10^9$ N/ m² und die Dichten von Eis und Wasser sind $1,1$ g/cm³ bzw. $1,0$ g/cm³.

12) Der Kompressionsmodul von Wasser beträgt bei einer Temperatur von 10 C unter Normaldruck $2,08 \cdot 10^9$ Pa. Wie groß ist die Dichteerhöhung des Wassers in 10.000 m Meerestiefe? Die im Meer vorherrschenden Einflüsse von Temperatur, Gas- und Salzgehalten bleiben unberücksichtigt.

13) Der Kompressionsmodul von Diamant beträgt $4,42 \cdot 10^{11}$ Pa. Bei welchem Druck werden wir 1% Volumenänderung erfahren? Schätzen Sie diesen Druck bei Neutronensternen! Bei Neutronensternen sind unter dem Druck der Gravitation alle Atomhüllen zusammengebrochen und aus Elektronen der Hüllen und Protonen der Atomkerne sind Neutronen entstanden. Neutronen sind die inkompressibelste Form der Materie, die bekannt ist. Ihr Kompressionsmodul liegt 20 Größenordnungen über dem von Diamanten.



14) Die von Cavendish (England) und Eötvös (Ungern) konstruierte Gravitations-waage (Torsionswaage) besteht aus einem gezogenen Wolframdraht (Torsionsfaden) mit einem Durchmesser von $2 \cdot r_F = 20$ μ m. Das Torsionsmodul für diesen Wolframdraht beträgt $G = 185$ GPa. Die effektive Länge des Torsionsfadens vom oberen Befestigungspunkt bis zum Aufhängebalken der kleinen Kugeln beträgt $L_F = 720$ mm. Die Radii der großen Bleikugel und der kleinen Bleikugel sind $R_M = 10,0$ cm bzw. $r_m = 1,0$ cm (die Dichte von Blei ist $\rho_{\text{Blei}} = 11,34$ g/cm³). Die Zentren der entsprechenden Groß- und Kleinkugeln sind im Abstand von $d = 15,0$ cm. Die Kleinkugeln sind im Abstand $a = 5,0$ cm von der Drehachse. Bei der Anwesenheit der Großkugeln, der Torsionsfaden vollführt eine neue Ruhelage durch Umdrehung mit einem Winkel von $\varphi = 9,55$ Grad. Bestimmen Sie die Gravitationskonstante! Das Torsionsmoment (Drehmoment T) eines Torsionsfadens mit Radius r_F und der Länge L_F ergibt sich über das Torsionsmodul G zu: $M = G \cdot \frac{\pi \cdot r_F^4}{2 \cdot L_F} \cdot \varphi$.

15) Zwei (sinusförmige) Schwingungen gleicher Frequenz $f_1 = f_2 = 5$ Hz haben eine Phasendifferenz (Phasenverschiebung) $\Delta\varphi = \pi/2$. Um welche Zeit sind sie gegeneinander verschoben?

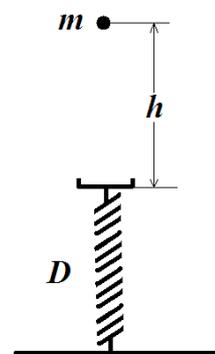
16) Wieviel Zeit verstreicht, bis die Elongation einer harmonischen (Sinus) Schwingung von Frequenz 54 Hz und der Amplitude 8 cm von 3 cm auf 7 cm anwächst?

17) Die Elongationen einer Sinusschwingung von 10 cm Amplitude durchlaufen im Abstand $\Delta t = 1$ ms nacheinander die Werte 2 cm und 8 cm. Wie groß sind Frequenz und Schwingungsdauer?

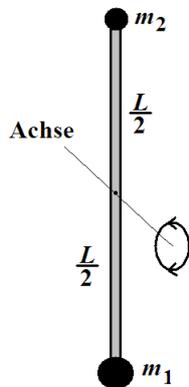
Schwingungen und Schallwellen

18) Die Elongation einer harmonischen Schwingung erreicht $1/20$ s nach dem Nulldurchgang $1/4$ ihres Scheitelwertes. Wie groß ist ihre Frequenz?

- 19) Eine Schraubenfeder hat die Direktionskraft (Federkonstante) $D = 25 \text{ N/m}$. Welche Masse muß angehängt werden, damit sie unter der Wirkung des Gewichtes in einer Minute 25 Schwingungen ausführt?
- 20) Vergrößert man die an einer Schraubenfeder hängende Masse um 60 g, so verdoppelt sich die Schwingdauer. Wie groß ist die anfängliche Masse?
- 21) Ein Massenpunkt schwingt harmonisch mit einer Kreisfrequenz $6,28 \text{ s}^{-1}$. Wie groß ist die Zeit, die sie benötigt, um sich von einem zum anderen Umkehrpunkt zu bewegen?
- 22) Bei einer harmonischen Schwingung, den wievielten Teil der Periodenzeit (T) verbringt der harmonisch schwingende Massenpunkt in der 20% Nähe der Amplitude?
- 23) Ein Massenpunkt macht harmonische Schwingung mit Amplitude A und Kreisfrequenz ω . Bei welchen Zeitpunkten und bei welchen Elongationen fallen die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die kinetische Energie des Massenpunktes und die potentielle Energie der Feder zur Hälfte der maximalen Werte?
- 24) Zwei (harmonische) Pendel der Schwingungsfrequenzen 3 Hz und 0,5 Hz werden in die gleiche Richtung ausgelenkt und dann gleichzeitig losgelassen. Nach welcher Zeit befinden sich beide Pendel erstmals zusammen wieder in dieser Ausgangslage?
- 25) Die Masse eines leeren Personenwagens ist 800 kg. Wenn 5 Personen (500 kg) im Wagen Platz nehmen, die Karosserie sinkt 6 cm. Was ist die Schwingungsdauer des Autos im belasteten bzw. unbelasteten Zustand?
- 26) Um eine Schraubenfeder um 8 cm zu dehnen, ist die Arbeit 2 mJ erforderlich. Welche Schwingungsdauer ergibt sich beim Anhängen eines Massenstückes von 50 g?
- 27) Eine senkrecht stehende Feder von Direktionskraft D hält einen schwerlosen Teller. Ein Massenpunkt mit Masse m fällt von einer Höhe h auf den Teller und klebt zum Teller. Was für eine Bewegung macht der Teller? Was sind die Periodendauer und die Amplitude der Bewegung?
- 28) Ein Holzscieit schwimmt auf der Oberfläche des Wassers. Wir drücken es leicht in das Wasser und lassen wir los. Wie groß ist die Schwingungsdauer des Holzscieites? Der Holzscieit ist $h = 10 \text{ cm}$ dick und die Dichten sind $\rho_{\text{Holz}} = 0,81 \text{ g/cm}^3$ und $\rho_{\text{Wasser}} = 1,00 \text{ g/cm}^3$.
- 29) Weshalb kann eine im Wasser schwimmende Holzkugel keine harmonischen Schwingungen ausführen?
- 30) Im Innern der Erde nimmt die Schwerkraft bis zum Wert Null im Erdmittelpunkt gleichmäßig ab. Beweisen Sie, daß der Körper der in einem geraden, durch den Erdmittelpunkt verlaufendes Rohr frei hin und her bewegt, eine harmonische Schwingung vorführt. Welche Schwingungsdauer hätte der Körper?
- 31) Verbinden Sie zwei Feder mit verschiedenen Federkonstanten seriell und parallel. Wie kann man die zwei Feder mit einer (resultierenden) Feder ersetzen?
- 32) Die Eisenbahnwagen werden durch regelmäßiges Stoßen von den nicht ganz glatten Gleisverbindungen in (erzwungener) Schwingung kommen. Die Masse eines Wagens ist $2,2 \cdot 10^4 \text{ kg}$, die Feder des Wagens drücken sich $1,6 \mu\text{m}$ unter 1 N Kraft und die Eisenbahn ist aus 18 m langen Gleisstücken gebaut. Bei welcher Geschwindigkeit erreicht die Auslenkung des Wagens den größten Wert (d.h. schwinkt der Wagen am besten)?
- 33) Um wieviel Prozent verkürzt sich die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels, wenn es um $\frac{1}{4}$ seiner Länge gekürzt wird?
- 34) Eine Uhr geht im Verlauf von 12 Stunden 30 Minuten nach. Wie lang muß das ursprünglich 50 cm lange (mathematisch angenommen) Pendel gemacht werden, damit die Uhr richtig geht?



- 35) Von einem Baukran hängt ein Seil herunter. Es führt mit dem daran befestigten Mörtelkübel in 25 Sekunden 2 Schwingungen aus. Wie lang ist das Seil?
- 36) Welche Schwingungsdauern ergeben mathematische Pendel folgender Längen: a) 1 m, b) 2 m, c) 1 mm?
- 37) Verkürzt man ein mathematisches Pendel um $1/10$ seiner Länge, so vergrößert sich seine Frequenz um $\Delta f = 0,1$ Hz. Wie lang ist das Pendel und wie groß ist seine Frequenz?



38) Zu beiden Enden eines senkrecht stehenden leichten Stockes der Länge L werden Massenpunkte von Massen m_1 und m_2 befestigt. Die größere Masse steht unten. Der Stock kann um eine horizontale Achse durch den Mittelpunkt drehen. Was beträgt die Periodendauer der Bewegung, wenn die Ruhelage des Stockes durch kleine Auslenkung gestört wird?

39) Welche Wellenlänge hat Ultraschall der Frequenz 10 MHz in Gewebe, worin seine Ausbreitungsgeschwindigkeit $1,5$ km/s beträgt?

40) Was ist die Frequenz der Grundton, dessen 6. Oberton die Frequenz 1200 Hz hat?

41) Ein gleichzeitig entstandenes Licht- und Schallsignal (Gewitter mit Blitzen) gelangt durch die Luft zu einem 2 km entfernten Beobachter. Schätzen Sie, wie viele Sekunden das optische Signal vor dem akustischen

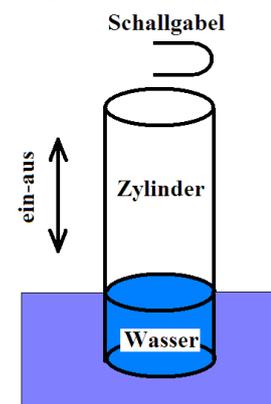
Signal eintrifft?

42) Zwischen Blitz und Donner vergeht die Zeit von 5,5 s. Wie weit ist das Gewitter entfernt? ($c = 340$ m/s)

43) Eine Schallwelle mit einer Frequenz von 1 kHz in Luft (Geschwindigkeit 340 m/s) fällt senkrecht auf eine Wand und wird reflektiert. An der Wand entsteht ein Druckbauch. In welcher Entfernung von der Wand entsteht der nächste Druckbauch?

44) Was sind die Wellenlängen der normalen „a“ Ton (Frequenz 440 Hz) in der Luft und im Wasser wo die Schallgeschwindigkeiten 340 m/s bzw. 1400 m/s sind?

45) Eine Stimmgabel von 435 Hz wird über einem leeren Zylinder gehalten das in Wasser eintaucht. Wie weit müssen wir den Zylinder aus dem Wasser ausziehen um Resonanz zu hören?



Mechanik der Gase und Flüssigkeiten

Aero- und Hydrostatik

46) Wir mischen eine Flüssigkeit von Masse 400 g und Dichte $1,7$ g/cm³ mit einer anderen Flüssigkeit von Masse 600 g und Dichte $1,2$ g/cm³. Die Mischung hat eine Dichte von $1,4$ g/cm³. Was beträgt die Volumenabnahme die wir bei der Mischung der zwei Flüssigkeiten erfahren?

47) Auf den einen Stempel (Fläche 100 cm²) einer hydraulischen Presse wird eine Kraft von 15 N ausgeübt, wobei über der Kompression einer Probe ein Weg von 8 cm zurückgelegt wird. Wie groß sind die an dem anderen Stempel (Fläche 400 cm²) angreifende Kraft und der zurückgelegte Weg dieses Stempels?

48) Mit welcher Kraft können wir einen Wagen von 15 Tonne aufheben, wenn die Radii der Stempel der hydraulische Presse 2 cm und 40 cm sind? Was für eine Kraft ist notwendig bei 90% Wirkungsgrad?

49) Ein meteorologischer Luftballon hat ein Diameter von 1 m auf der Meeresoberfläche bei Temperature von 20 °C. Wie groß wird der Durchmesser des Luftballons in der Höhe von 10 km bei Temperature von -80 °C?

50) Ein quaderförmiger Eisberg von Dichte 920 kg/m³ schwimme in Meerwasser von Dichte 1020 kg/m³ und rage 2 m hoch aus dem Wasser. Wie tief befindet sich der Eisberg noch unter der Wasserlinie?

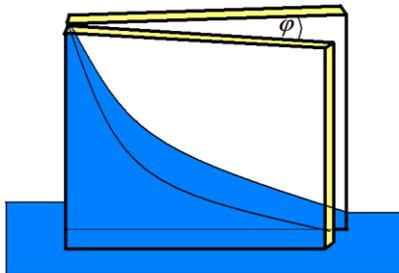
51) Ein Junge der Masse 40 kg steht auf einer gleichmäßig 10 cm dicken Eisscholle. Wie groß ist die Minimalfläche der Eisscholle, die den Jungen gerade noch trägt? Die Dichte von Wasser ist $1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ und die Dichte von Eis ist 900 kg/m^3 .

52) Welche Druckkraft verschließt den Deckel eines Konservenglasses, wenn von innen der Dampfdruck des Wassers mit 2 kPa und von außen der Luftdruck mit 1 bar wirkt? (Innerer Durchmesser des Glases 85 mm)

53) Wie hoch steigt Wasser bei vollkommener Benetzung in einer Kapillare von 0,14 mm innerem Radius? (Die Oberflächenspannung des Wassers ist $0,074 \text{ N/m}$.)

54) Eine 0,6 mm weite Kapillare wird in Alkohol (Dichte $0,79 \text{ g/cm}^3$) getaucht. Wie groß ist die Oberflächenspannung, wenn die Flüssigkeit bei voller Benetzung 19 mm hochsteigt?

55) Wie groß ist die Oberflächenspannung von Alkohol, wenn dieser in einer Kapillare mit dem Radius 0,3 mm eine Steighöhe von 19 mm aufweist? (Randwinkel $\varphi \approx 0^\circ$, Dichte $\rho = 790 \text{ kg/m}^3$.)



56) Taucht man zwei keilförmig zusammengelegte Glasplatten in Wasser, so steigt dieses zwischen den Platten so nach oben, daß der obere Flüssigkeitsrand die Form einer Hyperbel annimmt. Dies soll bewiesen werden.

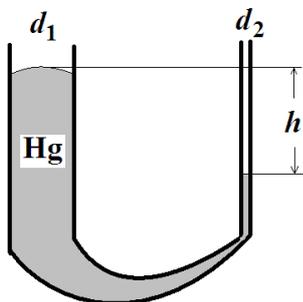
57) Auf welches Volumen muß eine Gummiblase von 5 g Masse mit Leuchtgas (Dichte $0,85 \text{ kg/m}^3$) aufgebläht werden, damit sie in Luft (Dichte $1,29 \text{ kg/m}^3$) gerade schwebt?

58) Im Kurilen-Graben wurde eine Meerestiefe von 10 549 m gemessen. a) Wie groß ist der Druck in dieser Tiefe, wenn das Meerwasser eine Dichte von 1026 kg/m^3 hat? b) Auf welches Volumen würde dort eine Menge Wasser zusammengedrückt werden, die an der Meeresoberfläche 1 liter ausfüllt, wenn die Kompressibilität von Wasser $4,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ beträgt? c) Wie groß ist die Dichte des Wassers in dieser Tiefe?

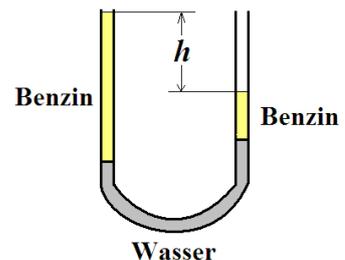
59) Im Inneren einer Kugel mit dem Durchmesser $2d$ befindet sich ein kugelförmiger luftleerer Hohlraum mit dem Durchmesser d . Welche Dichte muss das Material der äußeren Kugel haben, damit sie in Wasser gerade schwebt?

60) Ein Flugzeug befindet sich in der Höhe von 11 km über Meeresniveau. Wie groß ist der äußere Luftdruck?

61) In ein beiderseits offenes U-Rohr von 1 cm^2 Querschnitt gießt man der Reihe nach: in die linke Öffnung 40 cm^3 Wasser, in die rechte 10 cm^3 Benzin (Dichte $0,72 \text{ g/cm}^3$) und in die linke Öffnung 40 cm^3 Benzin. Welche Niveaudifferenz ergibt sich?



62) Welchen Niveauunterschied h ergeben die in einem beiderseits offenen U-Rohr stehenden Quecksilbersäulen (bei völliger Nichtbenetzung), wenn der Durchmesser einerseits $d_1 = 10 \text{ mm}$ und andererseits $d_2 = 1 \text{ mm}$ ist? (Die Oberflächenspannung und die Dichte des Quecksilbers sind $0,5 \text{ N/m}$ bzw. $13,6 \text{ g/cm}^3$.)



63) Welche Schwingungsdauer ergibt die in einem U-Rohr hin- und herpendelnde Flüssigkeit? Der Querschnitt des U-Rohres ist A , der Füllhöhe ist l , und der anfängliche Niveauunterschied ist h .

Aero- und Hydrodynamik

64) Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta ascendens betrage $0,2 \text{ m/s}$ bei einer Querschnittsfläche von 5 cm^2 . Im Bereich der nachfolgenden Kapillaren betrage die gesamte

Querschnittsfläche aller parallelen Blutgefäße 3000 cm^2 . Welche mittlere Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich hieraus im Mittel im Bereich der Kapillaren?

65) Durch eine Rohrleitung, die anfangs einen Durchmesser von 40 cm und direkt anschließend von 30 cm hat, sollen pro Sekunde 240 liter Wasser gefördert werden. Wie groß sind die Geschwindigkeiten in den beiden Querschnitten?

66) Wie groß ist die Kraft, die auf das flache Dach eines Hauses bei einer Windstärke von 50 m/s wirkt? Die Dichte der Luft ist $1,15 \text{ kg/m}^3$ und die Fläche und das Gewicht des Daches sind 50 m^2 bzw. $5 \cdot 10^4 \text{ N}$. Vergleichen Sie diese Kraft mit dem Gewicht des Daches.

67) Wie groß ist die momentane Sedimentationsgeschwindigkeit eines kugelförmigen Partikels von $10 \text{ }\mu\text{m}$ Durchmesser und 1500 kg/m^3 Dichte im Zentrifugalfeld wo die Viskosität und die Dichte des Mediums $2,0 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ bzw. 1000 kg/m^3 betragen? Die Winkelgeschwindigkeit der Zentrifuge ist $2 \cdot 10^3 \text{ 1/s}$ und der Abstand des Partikels von der Drehachse ist 10 cm.

68) Eine Stahlkugel (Dichte $8,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) mit einem Durchmesser von 1 mm sinkt in einer Flüssigkeit (Dichte 950 kg/m^3) mit der konstanten Geschwindigkeit 5 mm/s zu Boden. Wie groß ist die Viskosität der Flüssigkeit?

69) Mit welcher Strömungsgeschwindigkeit wird an einer unter Wasser rotierenden Schiffsschraube der Dampfdruck des Wassers von 1,32 kPa unterschritten und wird damit die Erscheinung „Kavitation“ entstanden? (Der Luftdruck über dem Wasser ist 1 bar.)

70) Der Volumenstrom einer laminar strömenden Flüssigkeit durch eine Kapillare soll um 20% gesteigert werden, indem sie durch eine Kapillare mit größerem lichte Durchmesser ersetzt wird. Welche Durchmesserergrößerung ist etwa notwendig?

71) Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes durch eine stenosierte Aortenklappe beträgt 4 m/s. Der statische Druck vor der Stenose ist p_0 und innerhalb der Stenose ist p_1 . Wie groß ist die Druckdifferenz $\Delta p = p_0 - p_1$? Reibung und Schwerkräfteinflüsse werden nicht berücksichtigt. Die Geschwindigkeit der Stenose ist vernachlässigbar klein. Das Blut hat eine Dichte von 1 kg/L .

72) Betrachten Sie die Verdünnung des ausfließenden Wasserstrahls nach unten! Das Durchmesser des kreisförmigen Wasserhahns beträgt $D = 2,4 \text{ cm}$ und das Durchmesser des Wasserstrahls $h = 1 \text{ m}$ unter des Wasserhahnes reduziert sich zu $d = 2,4 \text{ cm}$. Was sind die Geschwindigkeiten der laminaren Strömung oben und unten?

73) Ein mit Wasser gefüllter Behälter hat eine seitliche Öffnung von 1 cm^2 Querschnitt. Wie groß ist die durch das ausfließende Wasser verursachte Rückstoßkraft, wenn der Wasserspiegel 80 cm über der Öffnung liegt?

Wärmelehre

Physikalische Größen

Lineare Ausdehnungskoeffizient: $\alpha = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta l}{l}$, Einheit K^{-1}

Volumenausdehnungskoeffizient: $\beta = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta V}{V}$, Einheit K^{-1}

Spezifische Wärmekapazität: $c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$, Einheit $J/(kg \cdot K)$

Das Verhältnis der an einem Körper zugeführten Wärmemenge ΔQ zum Produkt aus erwärmter Masse m und Temperaturdifferenz ΔT .

Wärmekapazität: $w = m \cdot c = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$, Einheit J/K

Das Verhältnis der an einem Körper zugeführten Wärmemenge ΔQ zur erzielten Temperaturerhöhung (Erwärmung) ΔT .

Verbrennungswärme (Heizwert): $H = \Delta Q / \Delta m$, Einheit J/kg

Das Verhältnis der bei der Verbrennung frei werdenden Wärmemenge ΔQ zur Masse des verbrannten Stoffes Δm .

Schmelzwärme eines festen Stoffes der Masse m ist die Wärmemenge, die nötig ist, um ohne Temperatureänderung den festen Stoff zu verflüssigen. Einheit J .

Spezifische Schmelzwärme: ist die Wärmemenge, die nötig ist, um ohne Temperatureänderung 1 kg eines festen Stoffes zu verflüssigen. Einheit J/kg .

Erstarrungswärme = Schmelzwärme

Verdampfungswärme: ist die Wärmemenge, die nötig ist, um ohne Temperatureänderung die Flüssigkeit zu verdampfen. Einheit J .

Spezifische Verdampfungswärme: ist die Wärmemenge, die nötig ist, um ohne Temperaturänderung 1 kg eines einer Flüssigkeit zu verdampfen. Einheit J/kg .

Kondensationswärme = Verdampfungswärme

Adiabatexponent: $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$

Quotient der Wärmekapazitäten (bei konstantem Druck c_p bzw. Volumen c_v) eines idealen Gases.

Thermodynamische Zustandgrößen (Potentiale):

Innere Energie: $U = 3/2 m \cdot R \cdot T$, Einheit J

Enthalpie: $H = U + p \cdot V$, Einheit J

Entropie: $\Delta S = \frac{\Delta Q_{\text{rev}}}{T}$, Einheit J/K (reduzierte Wärmemenge, Clausius)

$S = k \cdot \ln(w)$ (statistische Formel, Boltzmann)

Grundgesetze

Zustandsgleichung idealer Gase: $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$

Zustandsgleichung realer Gase: $\left(p + \frac{a \cdot m^2}{V^2} \right) (V - m \cdot b) = m R T$

1. *Hauptsatz der Wärmelehre*: $\Delta U = \Delta Q + \Delta W + \mu \cdot \Delta n$

Die Änderung der inneren Energie ΔU eines Systems ist gleich der Summe aus der dem System von außen zugeführten (bzw. nach außen abgegebenen) Wärmemenge ΔQ , der von außen zugeführten (bzw. vom System verrichteten) Arbeit ΔW und der auf chemischem Potential μ von außen zugeführten (bzw. vom System verrichteten) Stoffmenge Δn .

Die Summe der inneren Energien in einem abgeschlossenen System ist konstant.

2. *Hauptsatz der Wärmelehre*: $\Delta S \geq 0$.

In einem abgeschlossenen System kann die Entropie bei *irreversiblen* Veränderung stets nur zunehmen. Von selbst verlaufen nur Vorgänge, bei denen die Entropie wächst. Die Entropie erreicht das Maximum wenn Gleichgewicht im System entsteht. Entropiemaximum und Gleichgewicht sind äquivalente Begriffe.

Bei einem idealen *reversible*, quasistatisch ablaufenden Kreisprozess bleibt die Entropie konstant.

3. *Hauptsatz der Wärmelehre*: $\Delta S \rightarrow 0$, wenn $T \rightarrow 0$.

Die Entropieänderung zwischen zwei Zuständen im Gleichgewicht geht gegen null, wenn die absolute Temperatur gegen null geht.

Der absolute Nullpunkt ist unerreichbar.

Wichtige Gesetze

Seebeck-Effekt (thermoelektrischer Effekt): $U = \alpha \cdot (T_2 - T_1)$

Gesetz von Boyle und Mariotte: $p \cdot V = \text{const.}$ bei $T = \text{const.}$ (Isotermen)

1. *Gesetz von Gay-Lussac*: $V/T = \text{const.}$ bei $p = \text{const.}$ (Isobaren)

2. *Gesetz von Gay-Lussac*: $p/T = \text{const.}$ bei $V = \text{const.}$ (Isochoren)

Poisson (Adiabaten) Gleichung: $p \cdot V^\kappa = \text{const.}$ bei $\Delta Q = \text{const.}$ (Adiabaten)

Dulong-Petit'sche Regel: $c_m = 3 \cdot R$ ($\approx 25 \text{ J/mol/K}$)

Die molaren Wärmekapazitäten (c_m) der meisten festen Elemente weisen sehr ähnliche Werte ($3 \cdot R$) auf (R : Gaskonstante).

Stefan-Boltzmann'sches Gesetz: $P = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$

Newton'sches Abkühlungsgesetz: $T(t) = (T_{\text{Anfang}} - T_{\text{Umgebung}}) \cdot e^{-k \cdot t} + T_{\text{Umgebung}}$

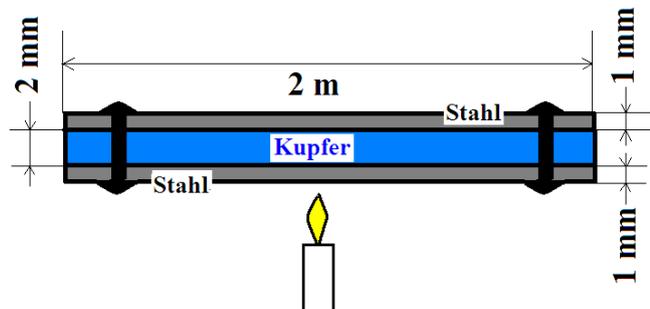
Aufgaben

Temperaturskalen, Temperaturmessung

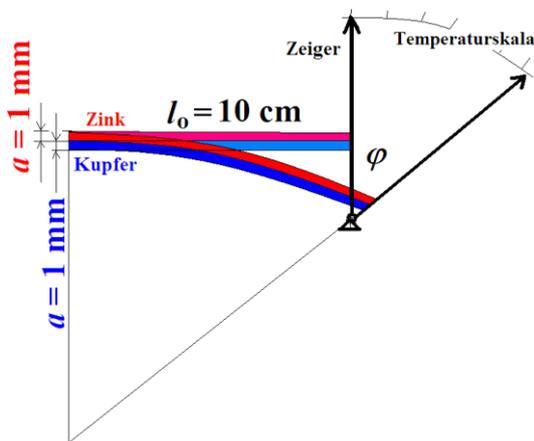
- 1) Geben Sie den Schmelzpunkt von Platin, 2045 K, in °C an.
- 2) Geben Sie die Körpertemperatur des Menschen, 37 °C, in K (Kelvin), in °F (Fahrenheit) und in °R (Réaumur) an.
- 3) Zu welchem Celsius Temperaturbereich (benutzt in Europa) entsprechen die negative („below“, bezieht sich auf „richtige Kälte“) Fahrenheit Temperaturwerte (gemessen in den Vereinigten Staaten)?
- 4) Bei einem Thermometer sind infolge sehr ungenauer Eichung der Nullpunkt bei +1 °C und der Siedepunkt bei 99 °C an der Skala aufgetragen.
 - a) Wie groß ist die tatsächliche Temperatur, wenn an der Skala dieses Thermometers 25 °C abgelesen werden?
 - b) Welche Temperatur zeigt das Thermometer richtig an?
- 5) Mit einem Widerstandsthermometer wird die Temperatur von Wasser am Tripelpunkt gemessen und man liest einen Widerstand von $R_0 = 90,35 \Omega$ ab. Welche Temperatur hat eine Flüssigkeit, in welcher mit diesem Thermometer ein Widerstand von $R = 96,28 \Omega$ gemessen wird? Im verwendeten Messbereich zeigt das Widerstandsthermometer einen linearen Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand. Die Temperaturleitfähigkeit des elektrischen Widerstandes des Thermometermaterials ist $\alpha = 3,66 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.
- 6) Die Bezugsstelle eines Thermoelements wird zunächst auf konstanter Temperatur von 300 K gehalten und an der Messstelle liegt eine Temperatur von 374 K vor, so dass eine elektrische Spannung von 4 mV am Messinstrument abgelesen werden kann. Welche Spannung tritt auf, wenn sich nun die Bezugsstelle auf 20 °C und die Messstelle auf 70 °C befindet?

Wärmeausdehnung

- 7) Erwärmt man zwei Aluminiumschienen ($\alpha = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) von der ursprünglichen Gesamtlänge 8 m um 70 °C, so verlängert sich die eine um 2 mm mehr als die andere. Welche Länge haben die beiden Schienen einzeln?
- 8) Zwischen benachbarten Masten einer elektrischen Überlandleitung hänge ein Kabel ($\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$), dessen Länge bei -30 °C im Winter $\ell = 100 \text{ m}$ betrage. Um welchen Betrag nimmt die Länge im Sommer zu, wenn die Temperatur auf +40 °C steigt?
- 9) Eine Glasscheibe aus Fensterglas ($\alpha = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) habe bei einer Temperatur von 18 °C die Maße 120 cm x 80 cm. Um wie viel nimmt ihre Fläche zu, wenn die Temperatur auf 30 °C ansteigt?



10) Auf beide Seiten eines 2 m langen und 2 mm dicken Kupferstreifen werden zwei von 1 mm dicken Stahlstreifen genietet. Um welchen Betrag nimmt die Länge des Sandwich-Streifen zu, wenn die Temperatur auf $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ steigt? Die lineare Ausdehnungskoeffizienten und die Young'sche Elastizitätsmodule der Metall sind $\alpha_{\text{Cu}} = 1,8 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ und $\alpha_{\text{Stahl}} = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$, bzw. $E_{\text{Cu}} = 1 \cdot 10^6\text{ bar}$ und $E_{\text{Stahl}} = 2,2 \cdot 10^6\text{ bar}$.



11) Ein 10 cm langer Bimetall-Streifen aus je $a = 1\text{ mm}$ dickem Zink ($\alpha_{\text{Zn}} = 3,6 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$) und Kupferblech ($\alpha_{\text{Cu}} = 1,4 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$) wird um $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt. Ein Zeiger wird zum Ende des Bimetall-Streifens fixiert und kann sich vor einer Temperaturskala bewegen. Um wie viel Winkel (Grad) dreht sich die Richtung des Zeigers bei Aufwärmung um?

12) Zwei sehr dünne und 2 m lange Stahl- und Kupferstreifen wurden an mehreren Punkten zueinander befestigt um überall 1 mm (Luft)Spalte zwischen den Streifen zu behalten.

Wie groß wird der Außenradius des gekrümmten Streifens bei $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ Erwärmung? Die lineare Ausdehnungskoeffizienten der Komponente sind $\alpha_{\text{Cu}} = 1,8 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ und $\alpha_{\text{Stahl}} = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$.

13) Die Stoßfuge zwischen den je 25 m langen Eisenbahnschienen verengt sich bei Erwärmung von $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ um 30% ihres Anfangswertes. Bei welcher Temperatur schließen sich die Schienen völlig zusammen und wie groß ist der anfängliche Abstand? Die lineare Ausdehnungskoeffizient der Eisenbahnschienen ist $14 \cdot 10^{-6}\text{ 1/}^{\circ}\text{C}$.

14) Welche lineare Ausdehnungskoeffizient hat eine Glas-Sorte, die sich bei Erwärmung um $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ um 0,04 % ausdehnt?

15) Eine Kugel aus Messing ($\alpha = 1,9 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$) hat bei 289 K einen Radius von 20 mm. Auf welche Temperatur ist sie zu erwärmen, dass sie eben noch durch einen kreisförmigen Ring vom Durchmesser 40,2 mm geht?

16) Wie viel Spielraum erhalten bei $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ genau passende Kolbenringe von 3 mm Breite aus Stahl ($\alpha_1 = 1,3 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$) in den Nuten des Kolbens ($\alpha_2 = 2,4 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$) bei einer Betriebstemperatur von $250\text{ }^{\circ}\text{C}$?

17) Wie groß ist die Dichte von Gußstahl bei $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, wenn diese bei $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ $7,3\text{ g/cm}^3$ beträgt? Die lineare Ausdehnungskoeffizient ist $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$.

18) Welcher mittlere kubische Ausdehnungskoeffizient β ergibt sich für Wasser, dessen Dichte bei $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho_{20} = 998,21\text{ kg/m}^3$ und bei $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho_{100} = 958,35\text{ kg/m}^3$ beträgt?

19) Ein Meßglas ($\alpha = 6 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$) ist bei $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis zur Füllmarke mit 1 L Wasser gefüllt. Um wie viel nimmt die Wassermenge scheinbar zu, wenn auf $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt wird und mit einem mittleren kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Wassers von $\beta = 5,2 \cdot 10^{-4}\text{ K}^{-1}$ gerechnet wird?

20) Welche Dichte hat Quecksilber bei 25 °C, wenn sie bei 0 °C $\rho_0 = 13595,1 \text{ kg/m}^3$ beträgt? Die kubische Ausdehnungskoeffizient der Quecksilber ist $\beta = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$.

21) Eine Eisenscheibe schwimmt in Quecksilber. Bei 0 °C, sie taucht bis 57,3% der Höhe in die Flüssigkeit. Wie verändert sich dieses Verhältnis bei 100 °C? Die kubische Ausdehnungskoeffizient der Quecksilber ist $\beta = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ und die lineare Ausdehnungskoeffizient von Eisen ist $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

22) Die Dichte von Grauguß springt beim Erstarren von 6900 kg/m^3 auf 7250 kg/m^3 . Welcher linearen Abkürzung (Schwindung) entspricht dies?

Zustandsgleichung der Gase

23) Wie groß ist die Luftmenge in einem Wohnraum der Größe $4,5 \times 3,5 \times 5,2 \text{ m}^3$ bei 24 °C Temperatur und 1 bar Druck?

24) Wie viel Luft entweicht bei gleichbleibendem Druck aus einem 200 m^3 großen Raum, wenn seine Temperatur von 12 °C auf 22 °C steigt? Die kubische Ausdehnungskoeffizient ist $\beta = 1/273 \text{ K}^{-1}$ für alle Gase.

25) Welche Dichte hat das in einer Druckflasche eingeschlossene Wasserstoffgas bei 20 °C Temperatur und 150 bar Druck?

26) Was ist die Masse des Kohlendioxids (CO_2) von 80 °C Temperatur unter dem Druck von 2 bar in einer Flasche von 71 Liter Volumen?

27) 3 m^3 Luft von 150 °C werden mit 8 m^3 Luft von 5 °C vermischt. Welche Temperatur und welches Gesamtvolumen ergeben sich daraus, wenn der absolute Druck von 1 bar dabei konstant bleibt?

28) Ein Doktorand betreibt Zellkulturen in einem Brutschrank, der mit einem Luft/ CO_2 -Gemisch begast wird. Dazu muß ununterbrochen ein Strom von $0,1 \text{ L CO}_2 \text{ Gas min}^{-1}$ bei 25 °C und dem Druck von 1 bar in den Brutraum eingeleitet werden. Dieses strömende Gas befolgt das ideale Gasgesetz. Es wird einer bei 20 °C gehaltenen CO_2 -Stahlflasche des Volumens 20 Liter entnommen. Der Student möchte für 7 Tage verreisen. Welcher Druck in bar muß bei seiner Abreise in der Stahlflasche mindestens herrschen, damit diese in den 7 Tagen nicht leerläuft (was zu einem Absterben der Zellkulturen führen würde)?

29) Ein meteorologischer Luftballon hat ein Diameter von 1 m auf der Meeresoberfläche bei Temperatur von 20 °C. Wie groß wird der Durchmesser des Luftballons in der Höhe von 10 km bei Temperatur von -80 °C ?

30) Das Volumen des Helium Ballons eines Zeppelins ist 500 m^3 bei 20 °C. Der Druck und die Dichte des Heliums sind 1,1 bar bzw. $0,18 \text{ kg/m}^3$ und die Masse des Zeppelins beträgt 300 kg. Die Dichte und der Druck der Luft sind $1,3 \text{ kg/m}^3$ bzw. 1 bar. Was ist die Anfangsbeschleunigung des Zeppelins? Auf welchen Wert reduziert sich die Beschleunigung wenn der Luftwiderstand 1 kN beträgt?

- 31) Wie viel Liter Gas strömen aus einer 20 L fassenden Flasche in die Atmosphäre (wo der Luftdruck 1 bar beträgt), wenn der Druck in der Flasche dadurch von 100 bar auf 95 bar sinkt?
- 32) Aus einer unter 70 bar Druck stehenden, 40 Liter fassenden Flasche werden bei einem Luftdruck von 1 bar 80 Liter Gas entnommen. Auf wie viel sinkt der Druck in der Flasche?
- 33) 15 g Gas wird aus einer 5 Liter Flasche entnommen. Während der Druck vom 12 bar auf 7 bar sinkt, die Temperatur fällt von 20 °C auf 10 °C. Was war die Masse des Gases ursprünglich in der Flasche?
- 34) Ein in einem Behälter von 50 Liter Inhalt eingeschlossenes Gas wird von 100 °C auf 10 °C abgekühlt. Auf welches Volumen muß es komprimiert werden, damit der Druck konstant bleibt?
- 35) Um wie viel Prozent nimmt das Volumen eines Gases zu, wenn die Celsius-temperatur bei gleichbleibendem Druck von anfänglich 117,1 °C auf den doppelten Wert steigt?
- 36) Eine Luftblase vom 0,6 cm³ Volumen und Temperatur 4 °C erhebt sich vom Boden eines 14 m tiefen Teiches zur Oberfläche. Wie groß wird sein Volumen an der Oberfläche wo der Luftdruck 1 bar und die Temperatur 27 °C sind?

Wärmeenergie, Thermodynamik

- 37) Ein Stück frisch isoliertes Lebergewebe sei zum Zwecke des Einfrierens in eine Glasampulle eingeschmolzen, deren innere Oberfläche die Systemgrenze bildet. Handelt es sich vor Einfrieren um ein offenes oder geschlossenes System? Beantworten Sie die gleiche Frage für den Zeitpunkt unmittelbar nach Immersion der Ampulle in flüssigem Stickstoff. (Antwort: in beiden Fällen ist es ein geschlossenes System.)
- 38) Eine lebende Zellsuspension befinde sich in einer Petrischale in einem geheizten, befeuchteten und begasteten Brutschrank. Die Flüssigkeitsgrenzflächen seien hier die Systemgrenzen. Handelt es sich um ein offenes oder geschlossenes System? (Antwort: es ist ein offenes System.)
- 39) Vermerken Sie bei den folgenden Zustandsgrößen, ob sie intensive oder extensive Größen sind: Dichte, Volumen, Molarität, Brechungsindex, Stoffmenge, Druck, molares Volumen.
- 40) Wie viel Liter Wasser von 95 °C können je Minute einem elektrischen Heißwasserbereiter entnommen werden, wenn dieser 1,6 kW aufnimmt und das Wasser die Anfangstemperatur 14 °C hat?
- 41) Welche Wärmemenge gibt eine Warmwasserheizung je Stunde ab, wenn das Wasser mit 15 L/min zirkuliert, im Kessel auf 92 °C erhitzt wird und in den Heizkörpern die Temperatur 70 °C annimmt?
- 42) Welche Wärmemenge muß man einem Behälter mit 2,5 m³ Luft zuführen, damit der absolute Druck von 2 bar auf 3 bar ansteigt? Die spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Volumen ist $c_V = 0,72 \text{ kJ/kg/K}$.

- 43) Berechnen Sie die Wärmemenge Q an den Bremsen beim Abbremsen eines PKW von $m = 1000$ kg Masse und $v = 100$ km/Std Geschwindigkeit!
- 44) Welche Wärmeenergie entsteht in den Bremsen eines Güterzuges von 1200 t Masse, der aus der Geschwindigkeit 50 km/h zum Halten gebracht wird?
- 45) Ein Wasserfall von 15 m Fallhöhe verwandelt seine Energie zum Teil in Wärme. Um wie viel Grad könnte die Temperatur des Wassers dabei zunehmen? Die spezifische Wärmekapazität des Wassers beträgt 4,186 kJ/kg/K.
- 46) Wie groß ist der Wirkungsgrad eines Motorrades, das je Stunde 2 kg Benzin (Heizwert 41,6 MJ/kg) verbraucht und dabei eine Leistung von 3,5 kW entwickelt?
- 47) Auf welche Höhe kann ein Gegenstand von 10 kg Masse mit dem mechanischen Gegenwert der Wärmemenge gehoben werden, die bei der Verbrennung eines Streichholzes (0,1 g und 14,6 MJ/kg) frei wird?
- 48) Die Ladung einer Gewehrpatrone (3,2 g Blättchen-Pulver) hat einen Energiegehalt von 11,7 kJ und entwickelt beim Abfeuern die Energie 4 kJ. Wie viel Prozent der Energie werden ausgenutzt?
- 49) Wie lang ist ein Stahldraht von 4 mm² Querschnitt ($c = 0,5$ kJ/kg/K, $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5}$ K⁻¹, $\rho = 7,6$ g/cm³), der sich bei Aufnahme der Wärmemenge 1,2 kJ um 0,1 % verlängert?
- 50) Welche Wärmemenge muß man einem Kupferzylinder von 50 mm² Querschnitt ($c = 0,4$ kJ/kg/K, $\alpha = 1,4 \cdot 10^{-5}$ K⁻¹, $\rho = 8,9$ g/cm³) zuführen, damit er sich um 0,2 mm verlängert?
- 51) Die körperliche Arbeit eines schaffenden Menschen beträgt täglich etwa 3 kWh. Welche Menge an Brot (8,9 MJ/kg) oder Fett (38 MJ/kg) oder Zucker (17 MJ/kg) ist der verbrauchten Energie äquivalent?
- 52) Berechnen Sie den durch Abbau von körpereigenen Fettreserven eintretenden Gewichtsverlust bei 1-stündigem Schwimmen ($dE/dt = 400$ W)!
- 53) Welche Strecke müßten Sie mit ruhigem Radfahren (Geschwindigkeit 20 km/Std, $dE/dt = 700$ W) belegen um 1 kg körpereigene Fettreserven zu verbrennen?
- 54) Die Verdampfungsenthalpie des Wasserdampfs in der ausgeatmeten Luft ($\Delta m/\Delta t$ etwa 10 g pro Stunde) bedeutet Wärmeabgabe. Wie groß ist die hierdurch mittlere, auf die Zeit bezogene Leistung der Wärmeabgabe $\Delta Q/\Delta t$ (in Watt)?
- 55) Die unmerkliche Wasserverdunstung macht in unseren Breiten etwa 300 g pro Tag aus. Berechnen Sie die hiermit verbundene Wärmeabgabeleistung $\Delta Q/\Delta t$.
- 56) Berechnen Sie den Flüssigkeitsverlust je 1 km beim langsamen Gehen (Wärmeleistung etwa 200 W) bei 37 °C Umgebungstemperatur.
- 57) Der menschliche Körper produziert 60 W/m² Wärmeenergie bei Ruhezustand. Nehmen wir mal an, dass die gesamte Wärmeenergie völlig zur Aufwärmung von 1 kg Wasser ursprünglich 20 °C benutzt ist. Wie lange dauert die Verdampfung des Wassers? (Die

spezifische Wärmekapazität des Wassers beträgt 4,186 kJ/kg·K, die Verdampfungswärme des Wassers bei 100 °C ist $2,26 \cdot 10^6$ J/kg und die Oberfläche des menschlichen Körpers ist 1,5 m².)

58) Wie groß sind die Entropiezunahme des Wassers und die Entropieabnahme der Umgebung beim Schmelzen von Wasser der Masse 1 kg? Unter welchen Umständen wäre der Vorgang reversibel (die Gesamtentropie null)? Die spezifische Schmelzwärme des Wassers (Eises) ist 335 J/g, die Schmelztemperatur ist 0 °C und die Umgebungstemperatur ist 20 °C.

59) Wie groß ist die Entropiezunahme beim Verdampfen von Wasser der Masse 1 kg bei 100 °C (ohne Berücksichtigung der Umgebung)? Die spezifische Verdampfungswärme (Enthalpie) des Wassers ist 2,256 kJ/g bei 100 °C. Vergleichen Sie die Unordnung (thermodynamische Wahrscheinlichkeit) der Wassermoleküle und der Dampfmoleküle!

60) Wie groß wäre die Änderung der Gibbs (freie) Energie, wenn von einem Muskel unter isotherm-isobaren Bedingungen 5 J reversible Kontraktionsarbeit und 1 J reversible Volumenarbeit geleistet würden? (Antwort: $\Delta G = -5$ J.)

Kalorimetrie

61) Wie viel Wasser verdampft, wenn 6 kg glühende Schrauben von 1200 °C in 3 kg Wasser von 20 °C geworfen werden? Die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist 4,2 kJ/(kg·K), die spezifische Verdampfungswärme von Wasser beträgt 2256 J/g und die spezifische Wärmekapazität von Stahl ist 0,5 kJ/(kg·K).

62) Wie viel Dampf von 100 °C müssen in 800 Liter Wasser von 12 °C eingeleitet werden, damit dieses zum Sieden kommt? Die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist 4,2 kJ/(kg·K) und die spezifische Verdampfungswärme von Wasser beträgt 2256 kJ/kg.

63) 50 cm³ heißen Tees von 65 °C werden in einen Aluminiumbecher von 120 g und 12 °C gegossen. Welche Temperatur nimmt der Tee dabei an? Die spezifische Wärmekapazität des Wassers und des Aluminiums betragen 4,2 J/(g·K) bzw. 0,9 J/(g·K).

64) In ein Mischungskalorimeter vernachlässigbarer Wärmekapazität werden 2,5 kg gestoßenes Eis von 0 °C zu 10 kg Wasser von 65 °C eingebracht. Welche Mischungstemperatur stellt sich ein, wenn die spezifische Schmelzwärme des Eises 334 kJ/kg und die spezifische Wärmekapazität des Wassers 4,2 kJ/(kg·K) beträgt?

65) 1 kg Fisch von Temperatur 10 °C ist in das 10 kg Wasser eines Aquariums von 20 °C geworfen. Was für eine Temperatur wird einstellen, wenn das Aquarium gut isoliert und die metabolische Aktivität des Fisches kann man bis zur Einstellung der gemeinsamen Temperatur vernachlässigen? Die spezifische Wärmekapazität des Wassers ist 4,2 kJ/(kg·K) und die spezifische Wärmekapazität des Fisches beträgt 3,5 kJ/(kg·K).

66) Wir möchten die Temperatur des Wassers in Aquarium mit 10 °C erhöhen. Kleinere, größere oder identische Wärmemenge müssen wir anwenden, wenn das Aquarium ist nur mit Wasser gefüllt oder schwimmen Fische im Wasser? Die spezifische Wärmekapazität des Wassers ist 4,2 kJ/(kg·K) und die spezifische Wärmekapazität des Fisches beträgt 3,5 kJ/(kg·K).

67) In einer Badewanne befinden sich 220 Liter Wasser von 65 °C. Wie viel kaltes Wasser von 14 °C muß zugegossen werden, damit eine Mischtemperatur von 45 °C entsteht?

68) Wie viel Eis aus Wasser von 6 °C können mit 8 kg Trockeneis (festes CO₂) hergestellt werden, das bei Erwärmung von –80 °C auf 0 °C 582 kJ je kg aufnimmt? Die spezifische Schmelzwärme des Eises 334 kJ/kg und die spezifische Wärmekapazität des Wassers 4,2 kJ/(kg·K) betragen.

69) 0,4 kg Eis von Temperatur 0 °C ist in 1 kg Wasser von Temperatur 20 °C geworfen. Was passiert? Die spezifische Schmelzwärme des Eises ist 334 kJ/kg und die spezifische Wärmekapazität des Wassers beträgt 4,2 kJ/(kg·K).

70) Was für eine Gleichgewichtstemperatur wird entstehen wenn Wasserdampf von 50 g Masse und 120 °C Temperatur in ein Kalorimeter eingeführt wird das 100 g Eis von –30 °C Temperatur enthält? Die spezifische Schmelzwärme und Wärmekapazität des Eises sind 334 kJ/kg bzw. 2,1 kJ/(kg·K), und die spezifische Verdampfungswärme und Wärmekapazität des Wassers betragen 2256 kJ/kg bzw. 4,2 kJ/(kg·K).

71) Eine dünne Wand teilt den Raum eines gut isolierten Behälters auf zwei Teile. Dasselbe ideale Gas befindet sich in den beiden Teilen mit den folgenden Parametern: 2 Liter Volumen, 6 bar Druck und 70 °C Temperatur bzw. 3 Liter Volumen, 2 bar Druck und 20 °C Temperatur. Bestimmen Sie den gemeinsamen Druck und die gemeinsame Temperatur des Gases nach der Entfernung der Wand!

Ausbreitung der Wärme

72) Im Weltraum befindet sich in Erdnähe eine senkrecht zum Einfall der Sonnenstrahlen orientierte, beiderseits schwarze Fläche. Welche Temperatur nimmt sie im Strahlungsgleichgewicht an, wenn die Einstrahlung von Seiten der Sonne 1 kW/m² beträgt? Die Stefan-Boltzmann'sche Konstante ist $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

73) Welche Temperatur hat die aus 10 m Chromnickeldraht von 1 mm Dicke gedrehte Wendel eines elektrischen Strahlrofens, der eine Leistung von 1 kW aufnimmt, wenn die Raumtemperatur 18 °C und das Emissionsvermögen des (nicht-schwarzen) Drahtes 0,6 beträgt? Die Stefan-Boltzmann'sche Konstante ist $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

74) Ein als schwarzer Körper zu betrachtender Schmelzofen hat die Innentemperatur 1350 °C. Welche Wärmemenge wird stündlich durch die 20 cm x 30 cm große Öffnung bei der Außentemperatur 25 °C abgegeben? Die Stefan-Boltzmann'sche Konstante ist $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

75) Eine Sammellinse von 10 cm Durchmesser wird gegen die Sonne gehalten und in ihren Brennpunkt eine kleine Wolframkugel gesetzt. Auf welche Temperatur erwärmt sich die Kugel, wenn angenommen wird, dass die Strahlung beim Durchgang durch die Linse keine Verluste erleidet? Die Raumtemperatur ist 20 °C, das Emissionsvermögen von Wolfram beträgt 0,3, die Stefan-Boltzmann'sche Konstante ist $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ und die Solarkonstante beträgt 1,37 kW/m².

76) Die Oberflächentemperatur der Haut eines Menschen ($33\text{ }^{\circ}\text{C}$) steige lokal durch eine darunter liegende Entzündung um $\Delta T = 3\text{ K}$ an. Um wie viel Prozent ungefähr liegt an dieser Stelle die Strahlungsleistung der Temperaturstrahlung der Haut über dem Normalwert?

77) Auch der menschliche Körper gibt Wärme in Form von Wärmestrahlung ab. Was ist die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung? Bei welcher Temperatur würden wir „sichtbar“ für das menschliche Auge?

78) Um welchen Faktor nimmt die Intensität des Strahlungsmaximums der vom Körper abgestrahlten Wärmestrahlung bei einer Temperatursteigerung von $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu?

79) Bestimmen Sie den vom unbedeckten menschlichen Körper (Oberfläche $1,5\text{ m}^2$) abgestrahlten Wärmestrom $\Delta Q/\Delta t$ bei Umgebungstemperatur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei den infrage kommenden Wellenlängen um $10\text{ }\mu\text{m}$ ist die Körperoberfläche praktisch schwarz.

80) Auf einem Gasherd steht ein Topf mit Wasser. Weshalb geht die Erwärmung von $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ schneller vor sich als von $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf $80\text{ }^{\circ}\text{C}$?

81) Der Hausherr holt eine Flasche Bier aus seinem 7 Grad Kühlschrank, in dem sie schon zwei Tage steht. Er hat sie noch nicht geöffnet, da stürzt ein Gast ins Haus und verstrickt ihn ganze 90 Minuten lang in eine hitzige Diskussion. All das spielt sich in dem Wohnzimmer ab, das der energiebewusste Hausherr auf der heroischen Temperatur von 19 Grad hält. Den Hausherrn schwant, dass sein vereinsamtes Bier zu warm werden wird. Kaum hat der Gast die Haustür zugeschlagen, misst der Hausherr die Temperatur des Gerstensaftes und stellt eine betrübliche Überhitzung desselben auf 15 Grad fest. Da er, wie jeder passionierter Biertrinker, das Newton'sche Abkühlungsgesetz kennt, schließt er daraus, dass er dieses Bier etwa 3 Stunden lang in einem Kühlschrank stellen muss, um es auf annehmbare 8 Grad zu bringen. Hat er recht?

82) Wann ist der Kaffee kühler?

1. Der Kaffee kühlt zunächst 10 Minuten ab und die Milch wird dann hinzugeben, oder
2. Die Milch wird sofort in den Kaffee geschüttet und die Mischung kühlt dann 10 Minuten ab. Die Temperatur der Milch ist geringer als die Zimmertemperatur (=Umgebungstemperatur).

83) Eine Tasse Tee von $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ Temperatur ist im Raum von Temperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ serviert. Die Temperatur des Getränkes sinkt auf $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ zehn Minuten später. Wie lange müssen wir noch warten bis zur Abkühlung des Tees auf $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?

84) Eine Leichnam wird zum Zeitpunkt $t = 0$ gefunden und seine Temperatur wird als $29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen. Die Temperatur der Umgebung ist konstant ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) und die Körpertemperatur zu Todeszeitpunkt beträgt $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Temperatur der Leiche nach 2 Stunden ist $23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bestimmen Sie den Todeszeitpunkt!

Elektrizität und Magnetismus

Definition und Einheiten der physikalischen Größen

Elektrostatik: Die elektrischen Ladungsträger sind im Ruhezustand, d.h. sie bewegen sich nicht.

Elektrische Feldstärke: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, Einheit N/Cb = V/m

Der Betrag und die Richtung der elektrischen Feldstärke stimmen über dem Betrag bzw. der Richtung der Kraft ein, welche Kraft auf die 1 Cb positive Probeladung ($q = +1$ Cb) wirkt. Elektrische Feldlinien zeigen die Richtung der wirkenden Kraft an.

Elektrischer Fluss: $\Phi = \vec{E} \cdot A_{\perp}$, Einheit V·m

Der elektrische Fluss ist das Produkt der Feldstärke E und der zu ihrer Richtung senkrecht stehenden Fläche A_{\perp} . Der elektrische Fluss bezeichnet die Anzahl der „Feldlinien des elektrischen Feldes“ die durch ein bestimmtes Flächenstück gehen.

Elektrische Spannung: $U = \frac{W}{q}$, Einheit Volt (V) = joule/coulomb (J/Cb)

Die Spannung zwischen zwei Punkten 1 und 2 des elektrischen Feldes entspricht der Arbeit W , die aufgebracht werden muß, um die Ladung q von 1 nach 2 zu bringen.

Die Spannung ist ein skalare Größe.

Kapazität: $C = \frac{Q}{U}$, Einheit Farad (F) = Cb/V

Unter der Kapazität eines Leiters (Körpers) versteht man das Verhältnis der zugeführten Ladungsmenge Q zur entstandenen Spannung U .

Relative Permittivitäts- oder Dielektrizitätszahl: $\epsilon_{\text{rel}} = \frac{C_D}{C_0}$, Einheit: reine Zahl

Quotient der Kapazität eines Kondensators *mit* Dielektrikum C_D zur Kapazität *ohne* Dielektrikum D_0 .

Elektrodynamik: die Lehre der Ladungen in Bewegung.

Gleichstrom: Die Stromstärke ist eine Konstante, d.h. sie ändert sich mit der Zeit nicht.

Elektrische Stromstärke: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, Einheit Ampere (A) = Cb/s

Wenn eine Ladungsmenge ΔQ in der Zeit Δt durch den Leiterquerschnitt fließt, dann ist die Stromstärke durch die Quotient der Ladungsmenge ΔQ und der Zeit Δt definiert.

Elektrische Stromdichte: $j = \frac{\Delta Q}{A_{\perp} \cdot \Delta t}$, Einheit A/m²

Die Stromstärke, die eine zur Bewegungsrichtung der Ladungsträger senkrechte Fläche A_{\perp} durchfließt.

Elektromotorische Kraft (Leerlauf-spannung): Spannung an den Polen einer Spannungsquelle bei *geöffnetem* Stromkreis. Einheit: volt (V)

Klemmenspannung: Spannung an den Polen einer Spannungsquelle bei *geschlossenem* Stromkreis. Einheit: volt (V)

Innerer Spannungsabfall: Differenz aus elektromotorischer Spannung und Klemmenspannung. Einheit: volt (V).

Elektrischer Widerstand: $R = U/I$, Einheit Ohm (Ω) = V/A

Quotient der angelegten Spannung U und der Stromstärke I die durch den Leiter fließt.
Elektrischer Leitwert: $G = 1/R$, Einheit Siemens (S) = A/V

Kehrwert des elektrischen Widerstandes.

Spezifischer Widerstand (Resistivität): $\rho = \frac{R \cdot A}{l}$, Einheit $\Omega \cdot m$

Eine, von der Geometrie des Leiters unabhängige molekularspezifische Größe.

R ist der elektrische Widerstand eines drahtförmigen Leiters der Länge l und der Querschnittsfläche A .

Elektrische Leitfähigkeit: $\sigma = 1/\rho$, Einheit S/m

Der reziproke Wert der Resistivität.

Wechselstrom: Die Stromstärke (und auch die Spannung) ist eine periodische (Sinus/Cosinusförmige) Funktion der Zeit.

Effektivwerte von Strom und Spannung: sie entsprechen der Stromstärke (bzw. Spannung) eines Gleichstromes, der an einem ohmschen Widerstand dieselbe Leistung (Wärmemenge) erzielt wie ein Wechselstrom.

Impedanz: der Wechselstromwiderstand. Einheit: ohm

Ohm'scher Widerstand: keine Phasenverschiebung entsteht zwischen Strom und Spannung.
Einheit: ohm

Kapazitiver Widerstand: der Strom eilt der Spannung um eine viertel Periode (Phasenwinkel $+\pi/2$) voraus. Einheit: ohm

Induktiver Widerstand: die Spannung eilt der Stromstärke um eine viertel Periode (Phasenwinkel $+\pi/2$) voraus. Einheit: ohm

Magnetostatik: Magnetisches Feld generiert durch Permanentmagneten (Magnetbaren) und/oder elektrische Gleichströme.

Elektromagnetismus: Zusammenhang (Wechselwirkung) zwischen Elektrizität und Magnetismus: wie erzeugt der elektrische Strom (Stromdurchflussene Leitung) ein magnetisches Feld (Versuch von Oersted) und umgekehrt, wie erzeugt der zeitlich veränderliche magnetische Fluss ein elektrisches Feld (induzierte elektrische Spannung, Faraday-Gesetz).

Richtung der magnetischen Feldlinien: die magnetischen Feldlinien sind von Nord nach Süd gerichtet, d.h. sie treten am Nordpol des Magneten aus und am Südpol ein.

Magnetische Feldstärke oder magnetische Erregung: $\vec{H} = \frac{N \cdot \vec{I}}{l}$, Einheit A/m

Diese magnetische Feldstärke herrscht im Zentrum einer langgestreckten Zylinder-
spule (Solenoid) der Länge l (l ist viel größer als der Durchmesser) mit N Windungen
und vom Erregerstrom I durchflossen.

Magnetische Permeabilität oder magnetische Leitfähigkeit μ , Einheit Vs/(Am)

Definition: $\mu = \mu_{\text{rel}} \cdot \mu_0$.

Sie bestimmt die Durchlässigkeit von Materie für magnetische Felder.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$ ist die magnetische Permeabilität des Vakuums (wo sich auch

Magnetfelder einstellen oder elektromagnetische Felder sich ausbreiten können) und
 μ_{rel} ist die Permeabilitätszahl (relative Permeabilität) eines Stoffes, die angibt, um wie viel
sich die magnetische Flussdichte vergrößert, wenn der vorher leere Raum innerhalb
der Spule mit Materie erfüllt wird, wobei $\mu_{\text{rel}} = 1$ für Vakuum ist. Einheit: reine Zahl

Magnetische Induktion (Flussdichte): $\vec{B} = \mu \frac{N \cdot \vec{I}}{l} = \mu \cdot \vec{H}$, Einheit Tesla (T) = Vs/m²

Das ist die magnetische Induktion im Zentrum einer langgestreckten Zylinder-spule (Solenoid) der Länge l (l ist viel größer als der Durchmesser) mit N Windungen, vom Erregerstrom I durchflossen und mit Materie erfüllt. Die magnetischen Eigenschaften der Materie sind mit μ charakterisiert.

Magnetischer Fluss: $\vec{\Phi} = \vec{B} \cdot A_{\perp}$, Einheit Weber (Wb) = V·s

Der magnetische Fluss ist das Produkt der magnetischen Induktion B und der zu ihrer Richtung senkrecht stehenden Fläche A_{\perp} . Der magnetische Fluss bezeichnet die Anzahl der „Feldlinien des magnetischen Feldes“ die durch ein bestimmtes Flächenstück gehen.

Selbstinduktion: magnetische Flussänderungen induzieren eine Spannung in der das magnetische Feld erzeugenden Spule selbst.

Selbstinduktionskoeffizient (Induktivität): $L = -\frac{U_{\text{ind}}}{\Delta I / \Delta t}$, Einheit Henry (H) = V·s/A

Das Verhältnis der infolge der Selbstinduktion erzeugte Induktionsspannung $-U_{\text{ind}}$ und der zeitlichen Änderung (Änderungsgeschwindigkeit) des felderzeugenden Stromes $\Delta I / \Delta t$ in der Spule.

Grundgesetze

Coulomb'sches Gesetz der Elektrostatik

Die Kraft zwischen zwei Punktladungen Q_1 und Q_2 ist proportional dem Produkt der beiden Ladungen und umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes r zwischen den beiden Ladungen:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2},$$

wirkt längs der Verbindungslinie zwischen den Ladungen und $k = 1/(4\pi\epsilon)$.

Im Vakuum $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ (Nm}^2\text{)/(A}^2\text{s}^2\text{)}$.

Gauss'sches Gesetz der Elektrostatik: $\Phi = Q/\epsilon$

Für eine beliebige in sich geschlossene Hüllfläche, welche die Gesamtnettoladung Q umschließt, der aus der Oberfläche hervorquellende elektrische Fluss Φ ist proportional zu Q .

Ohm'sches Gesetz: $U = R \cdot I$ (der Schweizer Kanton „URI“ dient als Merkhilfe)

Die Spannung U ist proportional zu der Stromstärke I und die Proportionalitätskonstante ist der Widerstand R .

1. Kirchhoff'sche (Knoten)Regel: $\sum_{k=1}^n I_k = 0$

n ist die Anzahl der Verzweigungen im Knotenpunkt.

In einem Verzweigungspunkt (Knote) eines Netzwerkes, die Summe der zufließenden Ströme (sie werden positiv gerechnet) und der abfließenden Ströme (sie werden negativ gerechnet) ist gleich null.

Vorzeichenregel der Richtung der Ströme:

die zufließenden Ströme werden positiv gerechnet und

die abfließenden Ströme werden negativ gerechnet.

2. Kirchhoff'sche (Maschen)Regel: $\sum_{k=1}^m U_k = 0$

m ist die Anzahl der Spannungsabfälle in einer geschlossenen Masche des Netzwerkes. Die Summe der Spannungsabfälle in einer geschlossenen Masche des Netzwerkes ist gleich null.

Vorzeichenregel der Richtung der Spannungen:

Aktiv: bei Gleichspannungsquelle (z.B. elektromotorische Kraft der Batterie): vom Plus-Pol zum Minus-Pol

Passive: bei den durch die durchfließenden Ströme erzeugten Spannungsabfällen: die Richtung des Spannungsabfalls ($U=IR$) an dem Widerstand (R) stimmt mit der Richtung des durchfließenden Stromes (I) überein.

Ampere'sches Gesetz: $\oint_K \vec{H} \cdot d\vec{s} = I$

Das Kurvenintegral der magnetischen Feldstärke H um eine geschlossene Kurve K gibt die Stromstärke I , die durch die von dieser Kurve eingeschlossene Fläche fließt.

Lorentzkraft: $\vec{F} = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$

Das ist die Kraft F die auf eine einzelne positive Ladung Q wirkt, die sich mit der Geschwindigkeit v im Magnetfeld der Flussdichte (Induktion) B bewegt. Das Vektorprodukt von v und B kann man auch so ausdrücken: $(\vec{v} \times \vec{B}) = v \cdot B \cdot \sin \alpha$, wobei α ist der Winkel zwischen v und B Vektoren.

Lorentzkraft am stromdurchflossenen Leiter: $\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$

Ein stromdurchflossener Leiter (Stromstärke I) der Länge l erfährt eine Kraft F im homogenen Magnetfeld der Flussdichte B . Der Betrag der Kraft ist $F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$, wobei α ist der Winkel zwischen der positiven Stromrichtung und der magnetischen Induktionsvektor.

Rechte-Hand-Regel: Der Daumen steht dabei für die Geschwindigkeit v (oder den Strom I), und zeigt die Richtung der Geschwindigkeit (oder die technische Stromrichtung). Der Zeigefinger stellt die magnetische Induktion (magnetische Flussdichte) B dar, und weist in die Magnetfeldrichtung. Der Mittelfinger zeigt die Richtung der Lorentzkraft F an, die auf das geladenen Teilchen (auf den stromdurchflossenen Leiter) wirkt. Die Anfangsbuchstaben lauten *IBF* („Ich bin Franz“).

Faraday'sche Induktionsgesetz mit Lenz'scher Regel: $U_{\text{ind}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Die in einem Leiter induzierte Spannung U_{ind} ist gleich der zeitliche Änderung des magnetischen Flusses durch die Leiterfläche.

Lenz'sche Regel: das negative Vorzeichen ($-$) im Ausdruck des Faraday'schen Gesetzes.

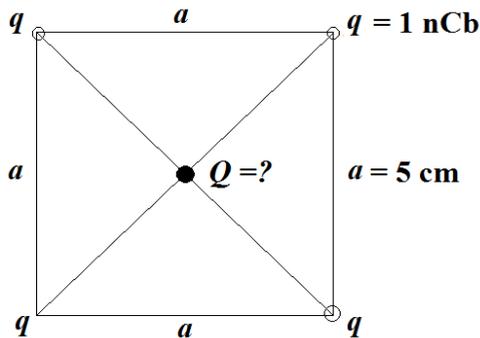
Der Induktionsstrom I_{ind} ist stets so gerichtet, dass sein Feld B_{ind} der Ursache der Induktion entgegenwirkt, d.h. das Feld B_{ind} sucht die Änderung $\Delta B/\Delta t$ des vorgegebenen Feldes B zu kompensieren.

Aufgaben

Elektrostatik

Coulomb'sches Gesetz

- 1) Eine Kupfermünze (Masse 1,9 g) ist elektrisch neutral, da jedes Kupferatom (molare Masse 63,5 g) gleich viel positive Kernladungen (Ordnungszahl 39) wie negative Elektronen in der Hülle trägt. Wie groß ist der Gesamtbetrag der Ladungen der Münze?
- 2) Ein Körper ist mit elektrischer Ladung von -800 nCb aufgeladen. Wie viel mehr Elektronen hat der Körper im aufgeladenen als im elektrisch neutralen Zustand? Die elementare Ladung ist $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$.
- 3) Was ist der Zuwachs der Masse der Metallkugel wenn sie mit -48 nCb Ladung elektrisch aufgeladen ist? Die Ladung und die Masse des Elektrons sind $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ bzw. $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$?
- 4) Berechnen Sie die Kraft, die zwei elektrische Ladungen von je $Q = 1 \text{ Cb}$ im Abstand von $r = 1 \text{ km}$ aufeinander ausüben.
- 5) Wie groß ist die elektrische Anziehungskraft zwischen dem Atomkern (Proton) und dem Elektron in Wasserstoffatom? berechnen Sie im Vergleich dazu die Massenanziehungskraft zwischen Proton und Elektron! Der Radius des Atoms ist $0,5 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), die elementare Ladung beträgt $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$, die Masse des Elektrons ist $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ und das Elektron ist mit einem Faktor 2000 leichter als das Proton.
- 6) Wie groß ist die minimale abstoßende Kraft zwischen zwei Protonen im Atomkern des häufigsten Isotopes des Urans ${}_{92}\text{U}^{238}$ vom Kernradius 8 fm ? Die elementare Ladung beträgt $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$.
- 7) Im Kern eines Eisenatoms haben zwei Protonen einen Abstand von 4 fm .
 - a) Wie groß ist die abstoßende Kraft zwischen den beiden Protonen?
 - b) Welche Folgerung lässt sich aus diesem Ergebnis für die Größe der Kernkräfte, die den Zusammenhalt des Atomkerns gewährleisten, im Vergleich zur Größe der Coulombkräfte ziehen?
- 8) Zwei Punktladungen mit den gleichen Ladungen sind im 5 cm Abstand. Wie groß sind diese Ladungen wenn sie eine abstoßende Kraft von 4 mN ausüben?
- 9) Zwei identisch positiv geladene Ionen haben einen Abstand von $0,5 \text{ nm}$ und die zwischen ihnen wirkende elektrostatische Kraft betrage $3,7 \cdot 10^{-9} \text{ N}$.
 - a) Wie groß ist die Ladung, die jedes Ion trägt?
 - b) Wievielwertig ist jedes Ion, d.h. wie viele Elektronen fehlen in diesem Beispiel jedem Ion?
- 10) Was ist der Abstand zwischen zwei Punktladungen von 50 \muCb bzw. 200 \muCb , wenn eine abstoßende Kraft von 10 N entsteht?
- 11) Welche Kräfte wirken auf die Punktladungen bei der folgenden Anordnung?



12) Welche Ladung müssen wir in den Mittelpunkt setzen um Gleichgewicht (Statik) unter den Ladungen zu versichern?

13) Zwei gleiche Körper sind ungleichnamig mit je $Q = 1 \text{ mCb}$ geladen und befinden sich im Abstand $r = 100 \text{ cm}$.

a) Wie groß ist die anziehende Kraft F zwischen ihnen?

b) Wie groß ist die Kraft F , wenn zwischen die beiden Körper eine Scheibe aus Paraffin ($\epsilon_r = 2$) geschoben wird?

geschoben wird?

14) Zwei an langen Seidenfäden aufgehängte kleine Hohlkugeln befinden sich im Abstand 10 cm voneinander und sind mit einer Ladung von je 10 nCb negativ aufgeladen.

a) Wie groß ist der Betrag der Kraft, mit der sie sich gegenseitig abstoßen?

b) Wie viel Überschüssige Elektronen sind auf jeder Kugel? Die elementare Ladung beträgt $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$.

15) Zwei punktförmige Kugeln von je 1 g Masse hängen am Ende von zwei langen parallelen Fäden von je 20 cm Länge. Welche gleiche Ladungsmenge sollten sie erhalten, wenn sie sich deswegen 3,3 cm voneinander entfernten?

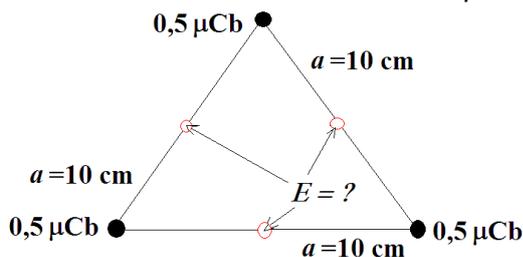
16) Zwei (ungeladene) punktförmige Kugeln von je 1 g Masse hängen am Ende von zwei langen parallelen Fäden von je 5 m Länge. Beide Kugeln werden auf 1 nCb elektrische Ladung aufgeladen. Wie groß ist der Abneigungswinkel der zwei Fäden?

Elektrisches Feld, elektrische Spannung und Kapazität (Kondensatoren)

17) Wie groß ist die elektrische Feldstärke, wenn auf eine 0,2 mCb elektrische Ladung 0,1 N Kraft wirkt?

18) Was für eine Kraft wirkt auf eine 4 nCb Ladung in elektrischer Feldstärke von 100 V/m?

19) Zwei gleichnamige Punktladungen von 8 nCb und 5 nCb sind im Abstand von 20 cm. In welchem Punkt der zusammenschließenden Strecke wird die elektrische Feldstärke Null sein?



20) Wie groß ist die elektrische Feldstärke 20 m vom Punktladung 1 mCb?

21) Was ist die elektrische Feldstärke in den Mittelpunkten der Seiten eines gleichseitigen Dreiecks der Seitenlängen von 10 cm? Gleichnamige, positive und punktförmige elektrische Ladungen (je $0,5 \mu\text{Cb}$) befinden sich in the Spitzen des Dreiecks.

elektrische Ladungen (je $0,5 \mu\text{Cb}$) befinden sich in the Spitzen des Dreiecks.

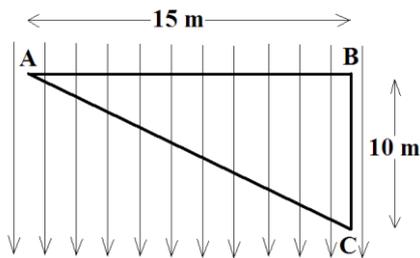
22) Wie große Ladungsdichte (elektrische Ladung/Masse) sollte ein freifallender Körper besitzen, wenn seine Beschleunigung 10% kleiner ist als g , die Fallbeschleunigung der Gravitation? Das elektrische Feld der Erde sollte homogen betrachtet und die Feldstärke beträgt 100 V/m .

23) Was ist die elektrische Feldstärke $E(r)$ eines Dipols vom Dipolmoment $p = Q \cdot l$ im großen Abstand r vom Mittelpunkt ($r \gg l$) in Gauss'schen Hauptlagen, d.h.

- a) in der Richtung des Dipols und
- b) in der Symmetrielinie senkrecht zum Dipol?

Vergleichen Sie die $E(r)$ Abstandabhängigkeit der Feldstärke des Dipols mit denen der Punktladung. Warum ist $E(r)$ bei Dipol steiler geworden ($E(r)$ nimmt mit dem Abstand r schneller ab)?

24) Was ist die Potentialdifferenz (Spannung) zwischen zwei Punkten des elektrostatischen Feldes, wenn 30 mJ Arbeit benötigt ist um die $20 \text{ } \mu\text{Cb}$ Ladung von einem Punkt zu dem anderen zu transportieren?



25) Berechnen wir die Arbeit die das homogene elektrische Feld von 100 V/m ausüben muss um eine Ladung von $0,1 \text{ Cb}$ vom Punkt A zum Punkt C

- a) indirekt entlang ABC Strecke und
- b) direkt von A zu C zubewegen.

Wie könnten Sie die Aufgabe verallgemeinern? Was ist die Potentialdifferenz (elektrische Spannung U_{AC})

zwischen Punkten C und A?

26) Was ist das elektrische Potential eines Dipols $U(r)$ im großen Abstand vom Mittelpunkt ($r \gg l$) in Gauss'schen Hauptlagen, d.h.

- a) in der Richtung des Dipols und
- b) in der Symmetrielinie senkrecht zum Dipol?

Vergleichen Sie die $U(r)$ Abstandabhängigkeit des Potentials des Dipols mit denen der Punktladung. Warum ist $U(r)$ bei Dipol steiler geworden ($U(r)$ nimmt mit dem Abstand r schneller ab)?

27) Bestimmen Sie das Potential eines ungleichnamigen Dipols mit den Ladungen $+Q$ und $-Q$ im Abstand l voneinander in einem beliebigen Punkt

- a) der Symmetrieebene und
- b) in der Richtung des Dipols.

28) Mit welcher Kraft stoßen sich 2 Metallkugeln von je 1 mm Radius im Mittelpunktsabstand 3 cm ab, wenn sie beide auf die Spannung 220 V gegen Erde aufgeladen werden?

29) Zwei (ungeladene) Metallkugeln von je 1 mm Radius hängen am Ende von zwei langen parallelen Fäden von je 1 m Länge. Beide Kugeln werden auf die Spannung 220 V gegen Erde aufgeladen. Wie groß ist der Abneigungswinkel der zwei Fäden?

30) Ein Mensch hat gegenüber seiner Umgebung eine Kapazität von 250 pF . Die zufällige Reibung an einem Sitzmöbel führt zu einer Aufladung auf eine Spannung $U = 600 \text{ V}$. Durch welche Ladungsmenge Q wird diese Aufladung bewirkt?

31) Geben Sie die Flächendichte C/A der Kapazität einer Zellmembran von $d = 6$ nm Dicke und $\epsilon_r = 9$ an. Enthielte die Zellmembran nur Lipide ($\epsilon_r = 2 - 4,5$), wie groß wäre die Flächendichte C/A der Kapazität?

32) An der Erdoberfläche herrscht im Mittel eine elektrische Feldstärke von $E = 130$ V/m. Betrachten wir die Erde als leitende Kugel (mittlerer Radius $R = 6378$ km), die sich isoliert im Raum befindet (d.h. in höheren Schichten der Atmosphäre sollen keine elektrischen Ladungen vorhanden sein), dann ergibt sich für die

- a) Gesamtladung Q auf der Erdoberfläche?
- b) Kapazität C der Erde?
- c) Elektrische Feldenergie?

33) Der Speicherkondensator eines Elektronenblitzgerätes wird von der Entladung auf eine Spannung von $U = 500$ V aufgeladen. Pro Blitzentladung wird bei dem Gerät eine Energie von $W = 100$ J umgesetzt.

- a) Wie groß ist die Ladungsmenge Q , die pro Blitzentladung durch die Blitzröhre des Gerätes geht?
- b) Welche Kapazität besitzt der Speicherkondensator des Gerätes?

34) Wie groß ist das Außenfeld (Coulombfeld) eines unendlich langen homogen geladenen Stabes (Leiters) im Abstand $r (\geq r_0)$, wenn der Leiterdurchmesser $2 \cdot r_0$ und die Flächenladungsdichte $\sigma = \text{Konst.}$ sind?

35) Wie groß ist das elektrische Feld und Potential unter einer 110 kV Hochspannungsleitung? Der Radius des Leiters ist $r_0 = 1$ cm und wir stehen $H = 10$ m unter der Hochspannungsleitung.

36) Das elektrische Feld in einem Zweiplattenkondensator soll einem darin befindlichen Elektron die gleiche Beschleunigung erteilen wie das Schwerfeld der Erde einem fallenden Stein. Welche Spannung muß zwischen den in 1 cm Abstand befindlichen Platten bestehen?

37) Was für eine elektrische Feldstärke herrscht in einem Zweiplattenkondensator, wenn ein Staubteilchen von 1 μg Masse und 98,1 nCb elektrische Ladung gerade schwäbt?

38) Das elektrische Feld in einem Zweiplattenkondensator soll einem darin befindlichen Elektron die gleiche Beschleunigung erteilen wie das Schwerfeld der Erde einem fallenden Stein. Welche Spannung muß zwischen den in 1 cm Abstand befindlichen Platten bestehen?

39) Ein Elektron (Masse $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, elementare Ladung $1,6 \cdot 10^{-19}$ Cb) wird mit einer Geschwindigkeit von $3 \cdot 10^6$ m/s in Richtung des elektrischen Feldes eines Zweiplattenkondensators von 3 kV/m geschossen. Das Feld ist so gerichtet, das es die Geschwindigkeit des Elektrons bremst. Welche Strecke ist benötigt um das Elektron zu stoppen?

40) Zwei Kondensatoren von $C_1 = 2$ μF bzw. $C_2 = 5$ μF werden auf $U_1 = 100$ V bzw. $U_2 = 200$ V geladen und dann mit gleichen Vorzeichen parallelgeschaltet. Welche gemeinsame Spannung stellt sich ein?

41) Welche Ladung enthält ein auf 220 V geladener Kondensator von 1,5 μF ?

42) Zwei parallelgeschaltete Kondensatoren, von denen der eine die Kapazität $C_1 = 2,8 \mu\text{F}$ hat, liegen an der Spannung $22,7 \text{ V}$ und enthalten die Ladung $75 \mu\text{C}$. Welche Kapazität hat der andere Kondensator?

43) Zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren von $C_1 = 1,5 \mu\text{F}$ bzw. $C_2 = 3,5 \mu\text{F}$ liegen an der Spannung 110 V . Auf welche Teilspannungen laden sie sich auf, und welche Ladungsmengen enthalten sie?

44) Zwei kreisförmige Platten von je 20 cm Durchmesser stehen einander im Abstand von $1,2 \text{ cm}$ isoliert gegenüber und sind mit einer Spannungsquelle von 220 V verbunden.

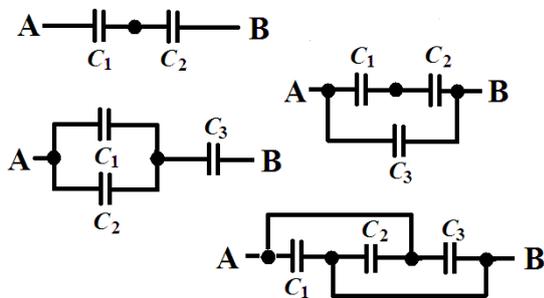
a) Wie groß ist die Feldstärke im Zwischenraum, und welche Ladungsmenge befindet sich auf den Platten?

b) Wie ändern sich die Feldstärke und die Ladungsmenge, wenn der Zwischenraum unter Aufrechterhaltung der Spannung mit Paraffinöl ($\epsilon = 2,5$) ausgefüllt wird?

45) Ein Luftkondensator wird mit 80 V geladen, von der Spannungsquelle abgetrennt und mit einem Öl von $\epsilon = 2,1$ gefüllt. Wie ändern sich Ladung und Spannung?

46) Drei Kondensatoren, von denen der eine die Kapazität $C_1 = 3 \mu\text{F}$ hat, ergeben in Parallelschaltung $C_p = 13 \mu\text{F}$ und in Reihenschaltung $C_r = 1,33 \mu\text{F}$. Welche Kapazitäten haben die beiden anderen Kondensatoren?

47) Auf welche Spannung muß ein Kondensator von $0,2 \mu\text{F}$ geladen werden, damit er die Energie 2 joule enthält?



48) Was ist die Gesamtkapazität (zwischen Punkten A und B, d.h. C_{AB}) der auf den Bildern angegebenen Schaltungen?

48) Bei einem Plattenkondensator der Kapazität 100 pF herrsche zwischen den Platten eine Spannung von 100 V . Wird diesem ein zweiter, ungeladener Kondensator parallel geschaltet, dann sinkt die an den Leiterflächen anliegende Spannung auf 80 V . Wie groß ist die Kapazität des zweiten, zugeschalteten Kondensators?

49) Welche Energie enthält ein Kondensator der Kapazität $5 \mu\text{F}$, wenn er mit der Spannung 220 V aufgeladen wird?

49) Welche Energie enthält ein Kondensator der Kapazität $5 \mu\text{F}$, wenn er mit der Spannung 220 V aufgeladen wird?

50) Die Feldstärke zwischen einer 420 m über der Erdoberfläche befindlichen Wolke der Flächenausdehnung $0,1 \text{ km}^2$ und dem Erdboden betrage durchschnittlich $2 \cdot 10^5 \text{ V/m}$. Das System Wolke-Erdboden kann man als geladene Leiterflächen eines Plattenkondensators mit Luft als Dielektrikum auffassen und dessen elektrisches Feld als homogen ansehen.

a) Wie groß ist die Spannung zwischen Wolke und Erdboden?

b) Welche elektrische Ladung trägt die Wolke?

c) Welche Energie steckt im elektrischen Feld des Systems Wolke-Erdboden?

d) Welchen finanziellen Gegenwert würde diese Energie darstellen, wenn man den Preis von $0,25 \text{ euro/kWh}$ zugrunde legt, für welchen die Elektrizitätswerke elektrische Energie liefern?

51) Wie groß ist die Kapazität eines Defibrillationskondensators von 3 kV Spannung, wenn die Defibrillationsenergie 360 J sein muß?

52) Zwei durch Luftzwischenraum voneinander isolierte Platten sind an eine Spannungsquelle von 1 kV angeschlossen und ziehen sich mit der Kraft 10 N an, wenn die Feldstärke 10^6 V/m beträgt. Wie groß sind die Platten und welche Kapazität hat der von ihnen gebildete Kondensator?

Gleichstrom

53) Einer Batterie wird 1 h lang eine Stromstärke von 0,5 A entnommen. Wie groß ist die in dieser Zeit transportierte Ladungsmenge?

54) Eine Batterie liefert bei einer Spannung von 6 V insgesamt 2 Minuten lang eine Stromstärke von 3 A. Wie groß ist

a) die umgesetzte und damit der Batterie entnommene Energie?

b) die Leistung?

55) Durch einen Kupferdraht fließe eine Stunde lang eine elektrische Stromstärke von 1 A. Wie viele Elektronen fließen dann in dieser Zeit durch einen beliebigen Querschnitt des Drahtes?

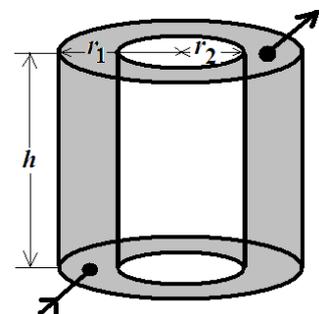
56) Wie groß ist der elektrische Widerstand einer Kupferleitung (kreisförmige Querschnittsfläche mit Durchmesser 4 mm), die 6,2 km lang ist? Der spezifische elektrische Widerstand des Kupfers ist $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

57) Im Rahmen einer Reizstromtherapie fließt ein Strom von 10 mA durch das Muskelgewebe. Die angelegte Spannung ist 50 V. Wie groß ist der elektrische Leitwert des Gewebes?

58) Durch einen Körper mit dem elektrischen Leitwert 2 mS fließt Strom mit der elektrischen Stromstärke 0,2 A. Welche elektrische Spannung liegt zwischen Ein- und Austrittspunkt des Körpers?

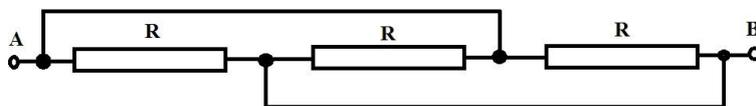
59) Welchen Spannungsverlust verursacht die aus 5 mm dickem Kupferdraht (Resistivität $0,0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) bestehende Zuleitung zu der 600 m vom Speisepunkt entfernten Baustelle bei einer Belastung mit a) 25 A und b) 60 A?

60) Was ist der Widerstand zwischen den Grund- und Deckplatten eines Rohres mit r_1 und r_2 außen und innenradii und Höhe h ? Der spezifische Widerstand des Materials des Rohres ist ρ .

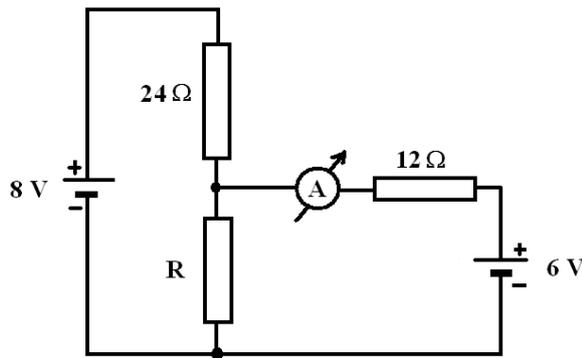


61) Zwei Widerstände ergeben in Reihenschaltung den 6fachen Wert wie in Parallelschaltung. In welchem Verhältnis (R_2/R_1) stehen sie zueinander?

62) Was ist der (resultierende) Gesamtwiderstand zwischen A und B?



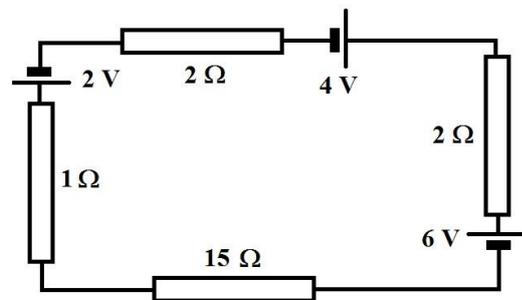
63) Auf das Wievielfache nimmt der Widerstand eines Drahtes zu, wenn dieser bei unveränderter Masse auf die 10fache Länge gestreckt wird?



64) Welchen Wert muss in der dargestellten (Kompensations)Schaltung der Widerstand R haben, damit das Amperemeter A stromlos ist?

65) Die Klemmenspannung einer Batterie hat bei einem äußeren Widerstand $17\ \Omega$ den Betrag $4,4\ \text{V}$ und bei $9\ \Omega$ den Betrag $4,3\ \text{V}$. Wie groß sind EMK (elektromotorische Kraft) und innerer Widerstand?

66) Eine Autobatterie, deren EMK (elektromotorische Kraft oder Leerlaufspannung) $12\ \text{V}$ und deren innerer Widerstand $0,01\ \text{ohm}$ beträgt, wird bei Nachtfahrt mit a) $15\ \text{A}$ und b) bei zusätzlicher Betätigung des Anlassers mit $130\ \text{A}$ belastet. Wie groß sind die Klemmenspannungen?

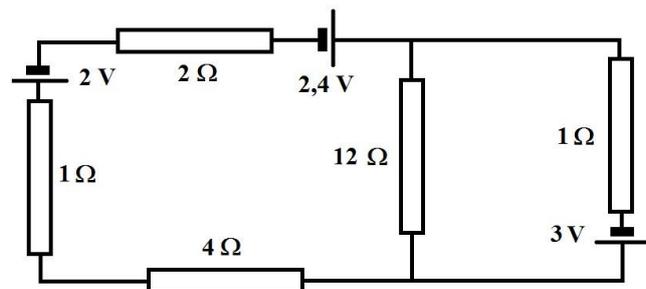


67) Wie groß ist die Stromstärke und was ist ihre Richtung in der angegebenen Schaltung?

68) Berechnen Sie den elektrischen Widerstand eines Muskelgewebestücks von $1\ \text{mm}$ Durchmesser und $1\ \text{cm}$ Länge. Die Resistivität des Muskels ist $2,5\ \Omega\cdot\text{m}$ (longitudinal) bzw. $5,6\ \Omega\cdot\text{m}$ (transversal). „Longitudinal“ und „transversal“ beziehen sich auf die Faserrichtung des

Herzmuskels.

69) Wie groß ist die Stromstärke einer $100\ \text{W}$ Haushaltsglühlampe?

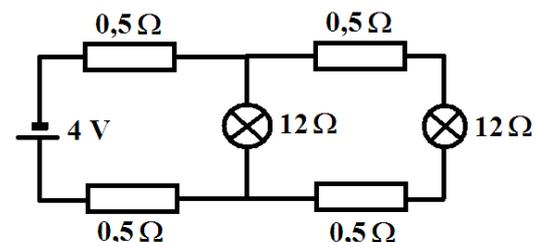


70) Wie groß ist die Spannung an dem $12\ \Omega$ Widerstand in der angegebenen Schaltung?

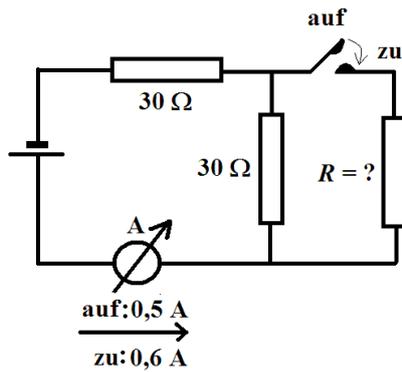
71) Ein Stromkreis mit der üblichen technischen Spannung des Haushalts ist mit $16\ \text{A}$ abgesichert. Welche Leistung kann diesem Stromkreis maximal langfristig entnommen werden?

langfristig entnommen werden?

72) Berechnen Sie die Spannungen, Leistungen und Ströme an den Glühlampen!



73) Die Elektrizitätswerke berechnen für eine Kilowattstunde ($1\ \text{kWh}$) einen Haushaltstarif von $12\ \text{Cent Euro}$. Wie lange kann eine $75\ \text{W}$ Glühlampe für diesen Betrag betrieben werden?



74) Wie groß ist der Widerstand R , wenn die Stromstärke beim Einschalten von $0,5\text{ A}$ auf $0,6\text{ A}$ wächst?

75) Eine parallel geschaltete Lampe von 100 W und ein Heizlüfter von 1 kW sind in Betrieb in einem Zimmer. Die Netzspannung beträgt 230 V . Wie groß ist die Gesamtstromstärke?

76) Eine mobile medizinische Notfallsituation mit einer Leistungsaufnahme von 2 kW wird durch eine Batterie von Bleiakkumulatoren mit 220 Ah „Kapazität“ (verfügbarer

Ladungsmenge) und 100 V Betriebsspannung versorgt. Die Versorgung würde zusammenbrechen, wenn die „Kapazität“ auf 10% gesunken ist. Bis zu diesem Zeitpunkt bleibt die Spannung annähernd 100 V . Etwa wie lange kann die Station betrieben werden, wenn die Akkumulatoren zunächst voll aufgeladen sind und nicht ausgetauscht werden können?

77) Ein Elektroskalpell (zum „Schneiden“ mit elektrischem Wechselstrom in der Chirurgie) wird als „monopolare“ Elektrode verwendet. Die Gegenelektrode („Neutralelektrode“) am Rücken des Patienten hat eine Kontaktfläche von etwa 500 cm^2 . Der Strom zwischen den Elektroden hat eine Frequenz von etwa 500 kHz und eine Stromstärke von etwa 1 A . Die Ladungsträger treten senkrecht durch die Kontaktfläche.

Wie groß ist die Stromdichte an der Gegenelektrode?

78) Welcher Strom fließt bei vollständigem Kurzschluß durch einen Akkumulator von 2 V und $0,05\ \Omega$ Innenwiderstand?

79) Wickelt man von einer Spule 10 m Draht ab, so erhöht sich bei derselben Spannung der Strom von $1,52\text{ A}$ auf $1,54\text{ A}$. Wie viel Meter Draht enthält die volle Spule?

80) Die Klemmenspannung einer Batterie hat bei einem äußeren Widerstand $17\ \Omega$ den Betrag $4,4\text{ V}$ und bei $9\ \Omega$ den Betrag $4,3\text{ V}$. Wie groß sind die elektromotorische Kraft (EMK) und der innere Widerstand der Batterie?

81) Von einem geraden Stück Draht der Länge l wird ein Stück x abgeschnitten und der Länge nach mit dem Rest verlötet. Wie lang muß das Stück x sein, wenn der Widerstand nunmehr den halben Wert haben soll?

82) In welchem Verhältnis stehen zwei Widerstände zueinander, die bei gleicher Spannung in Parallelschaltung die 6-fache Leistung wie in Reihenschaltung verbrauchen?

83) Zwei für 125 V bestimmte Lampen von 40 W bzw. 100 W werden in Reihe an 220 V angeschlossen. Welche Leistungen nehmen sie bei unverändert angenommenem Widerstand auf?

84) Zwei in einen Kochherd eingebaute Heizkörper geben in Reihe 133 W und parallelgeschaltet 600 W ab. Welche Leistungen werden abgegeben, wenn jeder Heizkörper einzeln eingeschaltet wird?

85) Der Heizdraht eines Kochherdes für 220 V/400 W wird bei einer Reparatur um 1/10 seiner Länge verkürzt. Wie ändern sich Leistung und Stromstärke?

86) Um wie viel Grad erwärmt sich eine 100 m lange und 1,2 mm dicke Kupferleitung, die eine Stunde lang von 6 A durchflossen wird, wenn keinerlei Wärme nach außen abgegeben wird? Spezifischer Widerstand $0,02 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, Dichte $8,93 \text{ kg}/\text{dm}^3$, spezifische Wärme $0,4 \text{ kJ}/\text{kg}/\text{grad}$.

Elektromagnetische Induktion

87) Wie groß ist das Magnetfeld B im Abstand von $H = 10 \text{ m}$ von einer Hochspannungsleitung wo die Stromstärke in der Größenordnung von $I = 1 \text{ kA}$ liegt?

88) Von zwei äußerlich gleich aussehenden Stahlstäben ist der eine magnetisch. Wie läßt sich dieser ohne weitere Hilfsmittel herausfinden?

89) Berechnen Sie die magnetische Induktion B im Abstand $r = 1 \text{ m}$ von einem 100 A Stromleiter.

90) Berechnen Sie das Magnetfeld in einem Punkt der Symmetrieachse im Abstand r von dem Mittelpunkt einer kreisförmigen und vom Strom I durchgeflossenen Stromschleife.

91) Ein Elektromagnet wird durch 2800 Windungen erregt, durch die eine Stromstärke von 3,2 A fließt. Welcher Strom würde bei nur 650 Windungen denselben magnetischen Fluß erzeugen?

92) An den Enden einer 15 cm langen eisengefüllte Zylinderspule von 850 Windungen (mittlere Windungslänge 6 cm) aus 0,3 mm dickem Kupferdraht (Resistivität $0,0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) liegt eine Spannung von 20 V. Welche magnetische Induktion herrscht im Spuleninnern? (Die relative Permeabilität des Eisenkerns ist $\mu_r = 668,6$.)

93) Die magnetische Flussdichte beträgt am Äquator $B_0 = 31 \mu\text{T}$ (an den Polen ist sie doppelt so groß). Wie groß muss der elektrische Strom einer Spule mit 10 Windungen pro cm Länge sein, damit im Innern der luftgefüllten lang gestreckten Spule eine magnetische Feldstärke H entsprechender gleicher Stärke H_0 herrscht? Die magnetische Permeabilität des Vakuums ist

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

94) Ein Leiter der Länge 10 cm wird von einem Strom 1 A durchflossen und befindet sich in Luft in einem äußeren, homogenen, senkrecht zum Leiter stehenden Magnetfeld der Stärke $H = 10^4 \text{ A}/\text{m}$. Wie groß ist die auf den Leiter wirkende Kraft und in welche Richtung zeigt sie?

95) Ein Teilchen mit elementarer Ladungsmenge ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$) fliege mit der Geschwindigkeit $10^5 \text{ km}/\text{s}$ senkrecht zur Feldlinienrichtung durch ein homogenes Magnetfeld der magnetischen Flussdichte 0,4 T. Mit welcher Kraft und in welche Richtung wirkt das Magnetfeld auf das Teilchen?

96) Welches Magnetfeld der Flussdichte würde ein Proton (Masse $1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) mit einer Geschwindigkeit von $10^7 \text{ m}/\text{s}$ auf einer Kreisbahn von der Größe der Erdäquators (Radius der Erde 6370 km) halten?

97) Ein Metallflugzeug fliege mit Geschwindigkeit von 800 km/h parallel zur Erdoberfläche. Die Vertikalintensität des Erdmagnetfeldes betrage $43 \mu\text{T}$. Wie groß ist die zwischen den Tragflächenenden der Spannweite 50 m induzierte Spannung?

98) Eine Spule mit 100 Windungen und $0,5 \text{ m}^2$ Querschnittfläche steht in einem homogenen äußeren magnetischen Feld parallel mit der Spulenachse. Innerhalb 0,3 s, die Spule dreht sich 180° um die Achse senkrecht zu der magnetischen Feldlinie und 100 V Spannung induziert sich in der Spule. Wie groß ist die magnetische Induktion des magnetischen Feldes?

Wechselstrom

99) Für die elektrolytische Wirkung von Strom ist die transportierte elektrische Ladung Q ausschlaggebend. Wie groß ist Q für eine Wechselstromperiode in dem elektrischen Nahversorgungsnetz ($U_{\text{eff}} = 220 \text{ V}$, $\nu = 50 \text{ Hz}$)?

100) Wie groß ist die Kapazität eines Kondensators, der sich über einen $500 \text{ k}\Omega$ Widerstand mit einer Zeitkonstanten von 10 s entlädt?

101) Wie groß ist der Wechselstromwiderstand (Impedanz) eines Kondensators der Kapazität $20 \mu\text{F}$, wenn die Frequenz des Wechselstromes 50 Hz beträgt?

102) In einem Wechselstromkreis befindet sich eine Spule mit dem ohmschen Widerstand 10Ω und der Induktivität $0,15 \text{ H}$. Die Frequenz der angelegten Wechselspannung beträgt 5 kHz. Welchen Gesamtwiderstand stellt die Spule einem Stromdurchgang entgegen?

103) In einem Wechselstromkreis seien $R = 4 \Omega$, $C = 150 \mu\text{F}$ und $L = 60 \text{ mH}$ in Reihe geschaltet. Man bestimme:

- a) U_{eff} und I_{eff} ,
- b) die Impedanz Z ,
- c) den Phasenwinkel φ zwischen angelegter Spannung und dem Strom in der Masche,
- d) den Leistungsfaktor $\cos \varphi$ und
- e) die Wirkleistung P_w des Wechselstromkreises.

104) Wie groß muß die Kapazität eines Kondensators sein, der bei 48 Hz die Wirkung einer Induktivität von $2,3 \text{ H}$ gerade aufheben soll?

105) Eine Glühlampe für 60 V und 30 W bei gleicher Leistung unter Zwischenschaltung eines Kondensators an 120 V Wechselspannung (50 Hz) angeschlossen werden. Welche Kapazität muß dieser haben?

106) Ein idealer verlustfreier Transformator hat eine Primärwicklung mit 690 Windungen und wird an einer 230 V Steckdose betrieben. Welche Windungszahl der Sekundärwicklung muss angeschlossen werden, um einen Verbraucher mit 6 V zu versorgen?

OPTIK

Physikalische Größen

Absolute Brechzahl (Brechungsindex): $n = c/v$, Einheit: reine Zahl

Der Quotient aus der Lichtgeschwindigkeit c in Vakuum und $v < c$ in Materie.

Relative Brechzahl: $n = c_1/c_2 (= n_2/n_1)$, Einheit: reine Zahl

Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten in zwei Media

Grenzwinkel der Totalreflexion: $\sin \alpha_G = n_1/n_2 (= 1/n)$

Der größter Einfallswinkel bei dem das Licht das Medium noch verläßt. Bei allen Einfallswinkel, die größer als α_G sind, tritt Totalreflexion ein: die gesamte Lichtenergie wird dann nach dem Reflexionsgesetz in das erste (dichtere) Medium reflektiert.

Brennweite f : der Abstand des Brennpunktes vom Scheitel des Spiegels (oder der Linse).

Gegenstandsweite (Gegenstandsabstand) g : der Abstand des Gegenstands vom Scheitel des Spiegels (oder der Linse).

Bildweite (Bildabstand) b : Abstand des Bildes von dem Spiegel (oder der Linse).

Sehwinkel: $\tan \delta = \frac{G}{g}$

G : Gegenstandsgröße und g : Gegenstandsweite. Unter dem Sehwinkel versteht man den Winkel, den die äußersten von einem Gegenstand kommenden Strahlen miteinander im Auge bilden. Er bestimmt die Größe des Netzhautbildes.

Winkelvergrößerung: $V = \delta/\delta_0$, keine Einheit

Das Verhältnis des Sehwinkels δ , unter dem der Gegenstand erscheint, zum Sehwinkels δ_0 , unter dem der Gegenstand in konventioneller Sehweite erscheinen würde.

Laterale (Seiten)Vergrößerung: $V = B/G$, keine Einheit

Verhältnis der Bildgröße B und der Gegenstandsgröße G .

Brechwert (Brechkraft): $D = 1/f$, Einheit: Dioptrie 1/m

Der reziproke Wert der Brennweite f .

Dispersion: $n = n(v)$, die Frequenzabhängigkeit der Brechzahl

Kohärenz: zwischen zwei interferierenden (Licht)Wellen eine konstante (zeitunabhängige) Phasendifferenz oder ein konstanter Gangunterschied besteht.

Stehende Welle: an allen Orten die Oscillation *in Phase* erfolgt.

Grundgesetze

Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$

Der einfallende Strahl, der reflektierte Strahl und das Einfallslot liegen in einer Ebene.

Der Einfallswinkel α ist gleich dem Reflexionswinkel β , d.h. Einfallender und reflektierter Strahl bilden mit dem Einfallslot gleiche Winkel.

Brechungsgesetz (Snellius-Descartes Gesetz): $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$

Verhältnis des Sinus des Einfallswinkels α_1 und des Sinus des Brechungswinkels α_2 ist konstant (Brechzahl). Die Brechzahl hängt vom Einfallswinkel nicht.

Beim Übergang vom optisch dünneren zum optisch dichteren Medium ($n_2 > n_1$) wird das Licht zum Einfallslot **hin** gebrochen. Beim Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium ($n_2 < n_1$) wird das Licht vom Einfallslot **weg** gebrochen.

Der einfallende Strahl, der gebrochene Strahl und das Einfallslot liegen in einer Ebene.

Prinzip von Huyens-Fresnel: jeder Punkt einer Wellenfläche ist der Ausgangspunkt einer *Elementarwelle*. Die äußere *Einhüllende* solcher Elementarwellen gleicher Phase bildet

wieder eine neue Wellenfläche der vom primären Erregungszentrum ausgehenden Welle (Huygens). Die neue Wellenfläche entsteht von der *Interferenz* der elementaren Wellen (Fresnel).

Wichtige Gesetze

Der ebene Spiegel: liefert virtuelle (scheinbare) Bilder, die symmetrisch mit dem Gegenstand zum Spiegel liegen: das Bild ist virtuell und gerade und die Vergrößerung ist 1.

Hohlspiegel (sphärischer Konkavspiegel): $f = r/2$

f : Brennweite des Hohlspiegels und r Krümmungsradius der Kugelfläche des Spiegels
Der Brennpunkt (F) halbiert die Strecke zwischen Mittelpunkt (M) und Scheitelpunkt.
Reelle Bilder sind stets umgekehrt, virtuelle Bilder dagegen aufrecht.

| Gegenstand | Bild | | |
|----------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| | Ort | Größe | Art |
| vor M | zwischen F und M | verkleinert | umgekehrt reell |
| in M | in M | gleich groß | umgekehrt reell |
| zwischen F und M | vor M | vergrößert | umgekehrt reell |
| in F | im Unendlichen | unendlich groß | - |
| innerhalb F | hinter dem Spiegel | vergrößert | aufrecht virtuell |

Wölbspiegel (sphärischer Konvexspiegel): Parallel zur optischen Achse fallende Strahlen werden so reflektiert, als sie kämen sie vom Zerstreuungspunkt F (bildseitiger Brennpunkt) her. Die Brennweite hat, weil sie hinter dem Spiegel liegt, einen negativen Zahlenwert ($f < 0$).

Der Konvexspiegel erzeugt stets virtuelle, aufrechte und verkleinerte Bilder.

Linienmacherformel (Berechnung der Brennweite einer Linse): $\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$

r : Krümmungsradius; $r > 0$ nach außen gewölbten Flächen, $r < 0$ nach innen gewölbten Flächen und $r \rightarrow \infty$ bei einer Ebene.

Linse (Spiegel)(Abbildungs)Gleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ und $V = b/g$

Konvexlinse (Sammellinse)

| Gegenstand | Bild | | |
|----------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| | Ort | Größe | Art |
| vor M | zwischen F und M | verkleinert | umgekehrt reell |
| in M | in M | gleich groß | umgekehrt reell |
| zwischen F und M | hinter M | vergrößert | umgekehrt reell |
| in F | im Unendlichen | unendlich groß | - |
| innerhalb F | vor der Linse | vergrößert | aufrecht virtuell |

F : Brennpunkt und M : Mittelpunkt auf der optischen Achse 2 Brennweite ($2 \cdot f$) von der Linse entfernt.

Reelle Bilder sind umgekehrt, virtuelle Bilder aufrecht.

Brechwert des Linsensystems: $D = D_1 + D_2$,

wenn der Abstand zwischen den dünnen Linsen null ist (die beiden Linsen sind dicht aneinander gesetzt). Die Brechwerte der dünnen Linsen addieren sich.

Vergrößerung der Lupe: $V = 1 + s/f$

s : deutliche (konventionelle) Sehweite, bei normalsichtigen Augen 25 cm und f : Brennweite der Lupe

Die Vergrößerung einer Lupe ist um so stärker, je kleiner ihre Brennweite ist.

Vergrößerung des Mikroskopes: $V = V_1 \cdot V_2 = \frac{t \cdot s}{f_1 \cdot f_2}$

t : Optische Tubuslänge, Abstand der inneren Brennpunkte F_1 und F_2 , f_1 : Brennweite des Objektivs, f_2 Brennweite des Okulars und s : deutliche (konventionelle) Sehweite.

Zweistrahlinterferenz: Überlagerung von zwei kohärenten Strahlen.

Zwei Sonderfälle im Verhältnis von Gangunterschied (Δ) und Wellenlänge (λ):

$\Delta = k \cdot \lambda$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) konstruktive Interferenz: die Wellen verstärken sich gegenseitig,

$\Delta = (2k+1) \cdot \lambda/2$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) destruktive Interferenz: die Wellen schwächen sich oder löschen sich gegenseitig aus, wenn ihre Amplituden gleich sind.

Beugung am Spalt: das k -te Minimum, welches unter dem Winkel α_k beobachtet wird

$b \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda$, wo $k = 1, 2, 3, \dots$

das l -te Maximum, welches unter dem Winkel α_l beobachtet wird

$b \cdot \sin \alpha_l = (2l+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$, wo $l = 1, 2, 3, \dots$

Die Breite des Spaltes b ist klein im Vergleich zur Wellenlänge λ .

Beugung am Gitter: Hauptmaxima k -ter Ordnung bei der Beugung am Gitter unter den Beugungswinkel α_k :

$g \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda$, wo $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

g : Gitterkonstante (Abstand zweier benachbarten Einzelspalte)

Doppler-Effekt: $f = f_0 \left(1 \pm \frac{v_B}{c} \right)$ für ruhende Quelle

$f = \frac{f_0}{1 \mp \frac{v_Q}{c}}$ für ruhender Beobachter

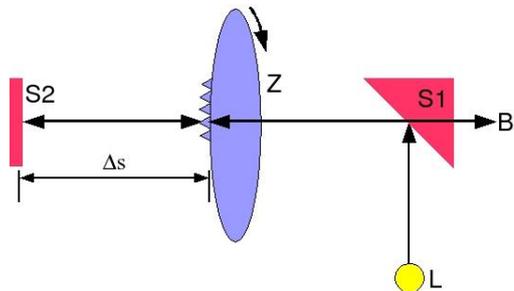
f_0 : emittierte Frequenz, f : Empfangsfrequenz, v_B : Geschwindigkeit des Beobachters relative zur schall(licht)ausbreitenden Quelle, v_Q : Geschwindigkeit der schall(licht)ausbreitenden Quelle relative zum Beobachter, c : Schall(Licht)geschwindigkeit im ruhenden Medium.

Aufgaben

Geradlinige Ausbreitung des Lichtes

- 1) Ein 9 m hoher Baum steht 36 m entfernt von einer Lochkamera. Wie groß ist das Bild des Baumes am Schirm, das 10 cm weit vom Loch der Kamera sich befindet?
- 2) Wie lang ist der Schatten der Erde belichtet durch die Sonne? Der Abstand zwischen der Erde und der Sonne ist $1,5 \cdot 10^8$ km und die Durchmesser der Sonne und der Erde sind $1,3 \cdot 10^6$ km bzw. $1,26 \cdot 10^4$ km. Kann der Mond in Schatten kommen? Der Abstand zwischen der Erde und dem Mond ist $3,64 \cdot 10^5$ km.
- 3) Wir sehen den Mond von der Erde unter dem Sehwinkel von $0,55^\circ$. Wie groß ist das Durchmesser des Mondes, wenn der Abstand zwischen dem Mond und der Erde $3,8 \cdot 10^5$ km beträgt?

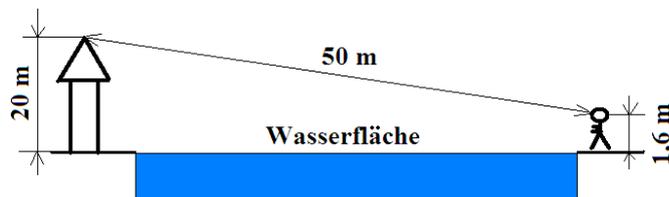
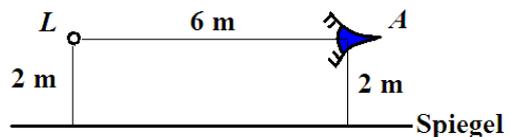
- 4) Zur Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit, Fizeau (1849) hat die Zahnradmethode benutzt: er führte sein Experiment entlang einer $\Delta s = 8,6$ km langen Strecke in der Nähe von Paris durch. Das Licht wurde von der Lichtquelle (L) zu einem halbdurchlässigen Spiegel (S1) weitergeleitet, der das Licht durch das sich drehende Zahnrad (mit $n = 720$ Zähnen) in Form von Lichtblitzen zum zweiten Spiegel (S2) leitete, von wo es zum Beobachter (B) (wieder durch das Zahnrad) reflektiert wurde. Nun wurde die Drehzahl des Zahnrades auf $f = 12,6 \text{ s}^{-1}$ erhöht, bei welchem Wert der vom zweiten Spiegel (S2) reflektierte Strahl auf dem Rückweg nicht mehr auf die Lücke traf, sondern auf den nächsten Zacken. Der Beobachter konnte dann den reflektierten Lichtstrahl nicht mehr sehen. Was war die Lichtgeschwindigkeit die er bestimmen konnte?



Reflexion des Lichtes

Ebener Spiegel

- 5) Die direkte Entfernung zwischen Auge A und Lichtquelle L beträgt 6 m. Sie sind 2 m vom ebenen Spiegel. Wie weit ist das Spiegelbild von K vom Auge entfernt?



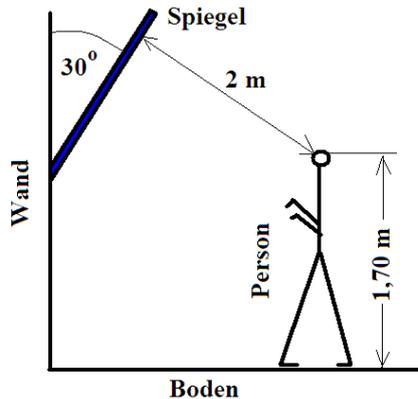
- 6) Die Luftlinie zwischen dem 1,60 m hoch gelegenen Auge des Beobachters und der Spitze des 20 m hohen Turmes am jenseitigen Ufer eines Teiches beträgt 50 m. Wie weit ist das im Wasser sichtbare Spiegelbild der Turmspitze vom Auge entfernt?

Turmspitze vom Auge entfernt?

- 7) Eine Frau hält einen Handspiegel 30 cm hinter ihren Kopf, um einen im Hinterhaar angebrachten Haarschmuck zu betrachten. Die Dame steht selbst in einer Entfernung von 1,20 m vor ihrem Garderobenspiegel.

- a) Wie das Bild entsteht, was die Dame sieht? Skizzieren Sie die wichtigsten optischen Strahlen der Bildausbildung.
 b) Wie weit hinter dem Garderobenspiegel das Bild des Haarschmucks entsteht?

8) Welche Länge muß ein senkrecht an der Wand hängender Spiegel mindestens haben, damit man sich selbst vom Scheitel bis zur Sohle vollständig sehen kann?



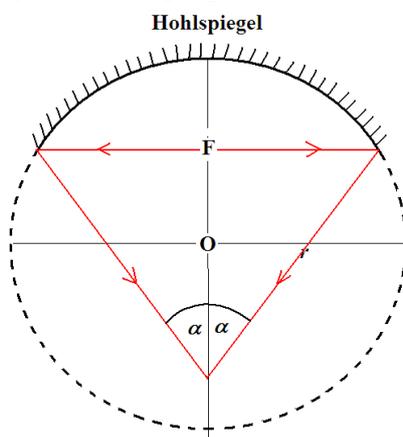
9) Welche Länge muß ein unter 30° gegen die Wand hängender Spiegel haben, wenn sich eine davorstehende Person von 1,70 m Größe gerade vollständig darin sehen soll? Der Abstand Kopf-Spiegel beträgt 2 m.

10) Ein Lichtstrahl fällt auf einen Spiegel und wird reflektiert. Mit welchem Winkel dreht sich der reflektierte Strahl, wenn sich der Spiegel um den Winkel α dreht?

11) Bei zweimaliger Reflexion an zwei rechtwinklig angeordneten Spiegeln wird jeder in der Ebene der beiden Spiegelnormalen einfallende Strahl parallel zu sich selbst zurückgeworfen. Dies ist zu beweisen!

12) Bei der Reflexion an zwei Spiegeln, die den Winkel α miteinander einschließen, ist der ausfallende Strahl gegenüber dem einfallenden um $2 \cdot \alpha$ verdreht. Dies ist zu beweisen!

Sphärische Spiegel



13) Im Brennpunkt eines sphärischen Hohlspiegels, dessen Rand in Brennpunkthöhe abgeschnitten ist, befindet sich eine punktförmige Lichtquelle. Welchen Winkel bilden die reflektierten Randstrahlen mit der Spiegelachse?

14) Der Öffnungsdurchmesser eines sphärischen Hohlspiegels beträgt 100 cm, sein Krümmungsradius 60 cm. Welchen Abstand vom Spiegelscheitel muss eine punktförmige Lichtquelle haben, wenn die äußersten reflektierten Randstrahlen parallel zur Achse verlaufen?

15) In einem sphärischen Hohlspiegel befindet sich ein Gegenstand zwischen der Spiegelfläche und dem Brennpunkt. Was können wir über das entstehende Bild sagen? Wo und welches Bild wird entstehen, wenn der Gegenstand außen dem Brennpunkt gesetzt ist?

16) Wie weit muß ein Gegenstand vom Scheitel des Hohlspiegels ($r = 20$ cm) entfernt sein, damit ein 5mal so großes a) reelles, b) virtuelles Bild entsteht? In welchen Entfernungen vom Scheitel befinden sich diese Bilder?

17) Ein Hohlspiegel erzeugt von einem Gegenstand ein umgekehrtes vergrößertes Bild mit einem Abbildungsmaßstab von $V = 3$. Bild- und Gegenstandsort befinden sich im Abstand $e = 28$ cm voneinander.

- a) Wie das Bild entsteht? Skizzieren Sie die wichtigsten optischen Strahlen der Bildausbildung.
- b) Wie groß ist die Gegenstandsweite?
- c) Wie groß ist die Brennweite des Hohlspiegels?

18) Ein Gegenstand steht zwischen einem Konkav- und einem Konvexspiegel von gleich großen Krümmungsradien $r = 50$ cm. Der Scheitelabstand der Spiegel ist $a = 130$ cm. In welcher Entfernung x vom Konkavspiegel steht der Gegenstand, wenn beide Bilder gleich groß sind?

19) Der Krümmungsradius eines sphärischen Spiegels ist 80 cm. Eine Kerze wird vor den Spiegel im Abstand der halben Brennweite gestellt. Wo entsteht das Bild der Kerze wenn der Spiegel konkav bzw. konvex ist?

20) In welchem Abstand müssen wir unser Gesicht vom Konkavspiegel (Hohlspiegel) der Brennweite 15 cm beim Rasieren setzen um das Bild in der deutlichen Sehweite (25 cm) zu entstehen?

21) Ein Gegenstand steht 60 cm vor einem Hohlspiegel. Wenn wir es 10 cm näher zum Spiegel setzen, dann die Bildweite wird $5/3$ mal größer. Was ist die Brennweite des Konkavspiegels?

22) Ein Gegenstand steht 20 cm vor einem Konvexspiegel (oder Wölbungsspiegel, oder Zerstreuungsspiegel) der Brennweite von 15 cm. Wo und was für eine Bild wird entstehen? Machen Sie Skizze über die Strahlengänge!

23) Wie weit ist ein Gegenstand von dem Konvexspiegel der Brennweite von 20 cm, wenn das Bild 7mal kleiner ist als der Gegenstand?

Lichtbrechung und Linsen

24) Die Brechzahl eines Glases für gelbes Natriumlicht beträgt $n = 1,5$. Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieses Lichtes im Glas?

25) Eine Licht emittierende Diode (LED) strahlt periodisch kurze Lichtblitze in einem Zeitintervall von $2 \mu\text{s}$ in einen Lichtleiter (Brechzahl 1,5). In welchem Abstand laufen die Lichtblitze im Lichtleiter?

26) Was für eine Wellenlänge besitzt das Licht mit der Vakuumwellenlänge 600 nm im Glaskörper eines Auges mit der Brechzahl (Brechungsindex) $4/3$?

27) Die Brechzahl eines Glases beträgt $n = 1,5$. Der Einfallswinkel eines Lichtstrahles ist 85° . Wie groß ist der Brechwinkel?

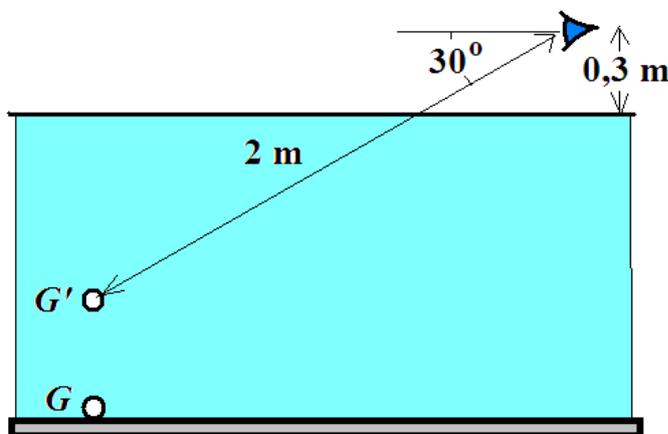
28) Das Licht fällt unter 60° auf eine Glasfläche und bricht unter 35° im Glass. Was ist die Lichtgeschwindigkeit im Glass? Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

29) Die Brechzahl des Flintglases beträgt $n_{\text{Glas}} = 1,515$ und die Brechzahl des Wassers ist $n_{\text{Wasser}} = 1,33$. Was ist die (relative) Brechzahl wenn das Licht vom Glas ins Wasser geht? Unter welchem Einfallswinkel werden wir eine Totalreflexion erfahren?

30) Von einer Lichtquelle unter Wasser (Brechzahl $4/3$) gehen in alle Richtungen Lichtstrahlen aus. Zu welchem Wert ergibt der Grenzwinkel der Totalreflexion sich an der Grenze des optisch dünneren Mediums von Luft (Brechzahl 1)?

31) Eine Person blickt von der Brücke senkrecht hinunter auf die Steine am Grund eines Teichs. Mit welchem Maß erscheint ihr der Teich weniger tief, als er tatsächlich ist? Die Brechzahl des Wassers sei $4/3$.

32) Auf welche Entfernung muß eine Kamera eingestellt werden, wenn ein 2 m unter Wasser liegender Gegenstand senkrecht von oben aus einer Entfernung von 1 m über dem Wasserspiegel photographiert werden soll?

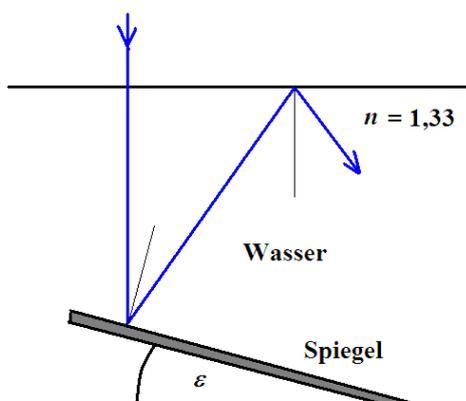


33) Ein scheinbar vom Punkt G' unter Wasser ausgehender Lichtstrahl wird unter einem Senkungswinkel von 30° gesehen und hat die scheinbare Länge von 2 m. In welcher Tiefe liegt der Gegenstand G , wenn $n = 1,33$ ist?

34) Zeigen Sie den möglichen Strahlengang von monochromatischem Licht durch
 a) eine Glaskugel in Luft und
 b) eine Luftblase im Wasser.

35) Unter welchem Winkel („Brewster-Winkel“) muß ein Lichtstrahl auf Glas von Brechzahl $n = 1,5$ fallen, wenn die reflektierte und die eingedrungene (refraktierte, gebrochene) Strahle aufeinander senkrecht stehen sollen?

36) Wie groß ist der Durchmesser des Kreises, durch den ein 12 m unter Wasser befindlicher Taucher den Himmel sehen kann? Mit anderen Worten, wie beschränkt sich der Horizont wenn man den Himmel unter dem Wasser mit nakedem Auge betrachtet?



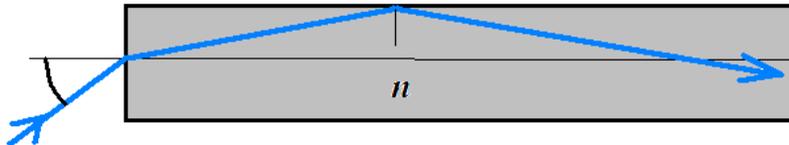
37) Licht fällt senkrecht von oben auf einen unter Wasser liegenden Spiegel. Um welchen Winkel ε muß dieser mindestens gegen die Horizontale geneigt sein, wenn das von ihm reflektierte Licht nicht wieder in die Luft zurückkehren soll?

38) Ein in Luft Normalsichtiger kann mit aufgemachtem barem Auge (d.h. ohne Hilfsmittel wie Taucherbrille) unter Wasser auch bei günstigen Lichtverhältnissen nichts scharf sehen, weil die Lichtbrechung an der Cornea-Vorderfläche vermindert. Berechnen Sie die Brechung des

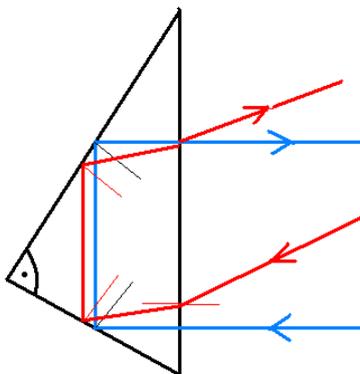
Lichtstrahles, wenn es auf die Grenze zweier Medien mit Brechzahlen n_1 ($= 1$ für Luft und $= 4/3$ für Wasser) und n_2 ($= 1,5$ für Cornea) trifft.

39) Unter welchem (Grenz-)Winkel des einfallenden Strahles in der vorigen Aufgabe werden wir totale Reflexion erfahren?

40) Prinzip des Lichtleiters. Welchen Brechungsindex muß ein zylindrischer Stab mindestens haben, wenn alle in seine Basis eintretenden Strahlen innerhalb des Stabes durch Totalreflexion fortgeleitet werden soll? Wie groß ist der maximale Eintrittswinkel bei $n = 1,33$?

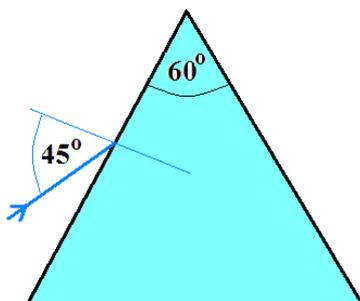
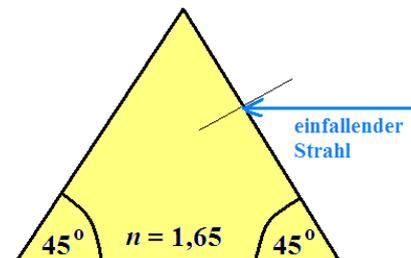


reflexion fortgeleitet werden soll? Wie groß ist der maximale Eintrittswinkel bei $n = 1,33$?



41) Weshalb wird ein beliebiger, auf die Hypotenuse in ein rechtwinkliges Spiegelprisma fallender Strahl parallel zu sich selbst zurückgeworfen?

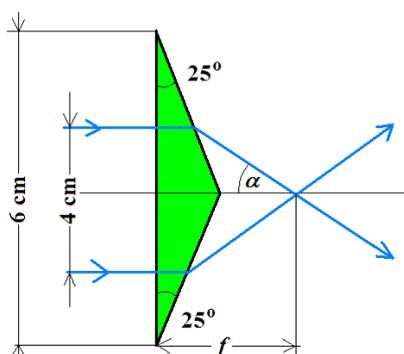
42) Aus welcher Fläche und unter welchem Winkel tritt der Strahl aus dem Prisma ($n = 1,65$) wieder aus? Welche Ablenkung erleidet der einfallende Lichtstrahl?



43) Welche Gesamtablenkung erleidet der in das auf dem Bild angegebene Prisma ($n = 1,5$) einfallende Strahl?

44) Der Brechungswinkel des Prismas ist 60° . Das Lichtstrahl fällt auf eine Fläche des Prismas unter veränderlichem ($0^\circ - 90^\circ$) Winkel. Bei $27,9^\circ$ Einfallswinkel, das Licht erleidet Totalreflexion an der anderen Fläche. Was ist der Brechungsindex des Prismas?

45) Ein Lichtstrahl fällt unter 75° auf eine 15 mm dicke Glasplatte ($n = 1,5$), die auf der Rückseite versilbert ist. Ein Teil des Lichtes dringt ins Glas ein und wird an der Unterseite reflektiert. Welchen Abstand haben die beiden parallel austretenden Strahlen?



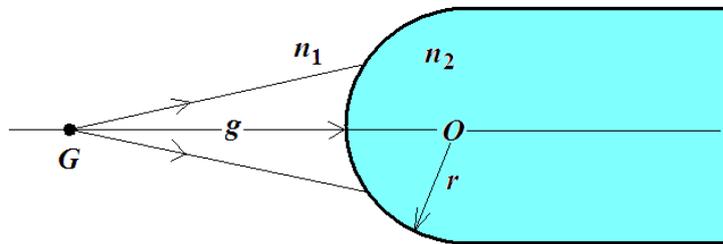
46) Zwei parallele Strahlen fallen im Abstand von 4 cm lotrecht auf die Basis des Glasprismas ($n = 1,65$).

a) Unter welchem Winkel α treten sie aus dem Prisma aus?

b) In welcher Entfernung f von der Basis scheiden sie einander?

47) Wie groß ist die Querverschiebung eines schräg (Einfallswinkel $\alpha = 40^\circ$) durch eine Parallelplatte von der Dicke $d = 6$ mm laufenden Lichtstrahls? Die Brechzahl der Planparallelplatte ist $n = 1,5$.

48) Auf eine Parallelplatte der Dicke d und Brechzahl n fällt senkrecht ein Lichtkegel des Öffnungswinkels von $2 \cdot \alpha$. Die Achse des Kegels ist senkrecht zu der Parallelplatte. Bestimmen Sie die Verschiebung der Spitze des Lichtkegels durch die Parallelplatte!



49) Vereinfachtes optisches Modell des Auges: Eine sphärischen Fläche des Radius r trennt zwei Media 1 und 2 mit den Brechzahlen n_1 bzw. n_2 . Ein punktförmiger Gegenstand G befindet sich im Medium 1 und steht im Abstand g von der

sphärischen Fläche. In welchem Abstand b von der Fläche entsteht das Bild des Gegenstandes?

Dünne Linsen und Linsensysteme

50) Ein Brillenglas bündelt in Luft das Sonnenlicht in 50 cm Abstand von der Linse. Wie groß ist der Brechwert der Linse?

51) Eine Sammellinse bildet einen Gegenstand reell und gleich groß in der Bildweite 20 cm ab. Was für eine Brechkraft hat die Linse in Luft?

52) Ein Gegenstand der Größe 5 cm stehe senkrecht zur optischen Achse vor einer Sammellinse der Brennweite 10 cm. Die Gegenstandsweite betrage 15 cm. Bezeichnen Sie die abbildenden Strahlenbündel! Wie groß sind die Bildweite und die Bildgröße und ob das Bild virtuell oder reell, gerade oder umgekehrt ist?

53) Gegeben ist eine dünne Sammellinse mit der Brechkraft 20 m^{-1} (dpt). In welcher Entfernung von der Linse muß ein Gegenstand platziert werden, damit das Bild reell und gleich groß wie der Gegenstand wird?

54) Zwei Sammellinsen mit derselben optischen Achse stehen so hintereinander, dass der hintere Brennpunkt der ersten Linse (Brennweite f_1) mit dem vorderen Brennpunkt der zweiten Linse (Brennweite f_2) zusammenfällt. Von links (Linse 1) ein achsenparallel schmales Parallellichtbündel mit dem Durchmesser d_1 fällt ein. Was gilt dann für das Durchmesser d_2 des Bündels nach dem Austritt aus Linse 2?

55) Sonnenlicht trifft lotrecht auf eine Linse von 7 cm Durchmesser und wirft auf einen 4 cm dahinter aufgestellten Schirm einen Schein von 5 cm Durchmesser. Wie groß ist die Brennweite der Linse?

56) Eine Sammellinse von 20 cm Brennweite soll mit einer Linse kombiniert werden, um eine Gesamtbrennweite von 40 cm zu erhalten. Beide Sammellinsen seien „dünn“ und einander so nah, dass der Abstand ihrer Zentren vernachlässigbar klein ist. Welche Linse ist erforderlich?

57) Zwei dünne sammelnde Linsen haben in Luft je einen Brechwert von 5 dpt. In welchem Abstand voneinander müssen sich die Linsen befinden, damit sich gerade ein Gesamtbrechwert von Null dpt ergibt?

58) Man setzt eine dünne Sammellinse der Brennweite $f_1 = 12$ cm und eine dünne Zerstreuungslinse der Brennweite $f_2 = -48$ cm dicht aneinander. Hat das System sammelnde oder zerstreue Wirkung? Was ist die Brennweite des optischen Systems?

59) Man kombiniert eine dünne Sammellinse der Brennweite $f_1 = 48$ cm mit einer dünnen Zerstreuungslinse der Brennweite $f_2 = -12$ cm dicht hintereinander. Wie verhält sich das Gesamtsystem? Hat das System sammelnde oder zerstreue Wirkung? Was ist die Brennweite des optischen Systems?

60) Ein Mikroskop hat eine Vergrößerung 180. Welche Vergrößerung erhält man, wenn sowohl das Objektiv gegen ein anderes mit doppelter Brennweite als auch das Okular gegen ein anderes mit doppelter Brennweite bei gleicher „optischer Tubuslänge“ ausgetauscht wird?

61) Ein Mikroskop hat eine Vergrößerung 400. Nun wird sowohl das Objektiv gegen ein anderes mit vierfacher Brennweite als auch das Okular gegen ein anderes mit doppelter Brennweite bei gleicher „optischer Tubuslänge“ ausgetauscht? Welche Vergrößerung ergibt sich?

62) Der Pupillendurchmesser erweitert sich von 1,5 mm auf 7,5 mm. Wie viel fache erhöht sich der Lichtstrom durch die Pupille bei unveränderter Beleuchtung?

63) Der Fernpunkt eines Patientenauges liegt bei 50 cm, der (akkomodative) Nahepunkt bei 20 cm. Wie groß ist die Akkomodationsbreite?

64) Ein Großvater befürchtet, sein 8-jähriger Enkel sei kurzsichtig, da Gegenstände in 7 cm Abstand zu den Augen hält, wenn er sie ganz genau betrachtet. Welche Akkomodationsbreite hat sein Enkel? Der Fernpunkt des emmetropen Enkels liegt höchstwahrscheinlich in unendlicher Ferne.

Physische Optik (Wellenoptik)

65) Wie groß sind die Frequenzen, die Periodendauern und Photonenergien der Grenz-Spektralfarben des sichtbaren Lichts, wenn deren Vakuumwellenlängen 380 nm (Violett) und 780 nm (Rot) sind? Welches Licht ist energiereicher?

66) Das menschliche Auge besitzt seine größte spektrale Empfindlichkeit für Tageslicht im Gelb-Grünen bei 555 nm. Berechnen Sie die Photonenergie dieser Strahlung.

67) Bei welchem Gangunterschied zwischen zwei interferenzfähigen Lichtstrahlen gleicher Intensität kann bei Überlagerung vollständige Auslöschung auftreten?

68) Bei einem Doppelspalt, auf den Licht der Wellenlänge λ auftrifft, beobachtet man für die Strahlen, die um den Winkel $\alpha = 30^\circ$ gegenüber der geradlinigen Ausbreitung des Lichts gebeugt sind, das erste Interferenzmaximum. Wie groß ist der Abstand d der beiden Spalte?

69) Ein Laserstrahl trifft senkrecht auf ein Strichgitter (Gitterkonstante $12 \mu\text{m}$). Auf einem $a = 20$ cm entfernten Schirm entsteht das Beugungsbild. Das erste Beugungsmaximum liege $d = 1$ cm vom zentralen Maximum entfernt. Welche Wellenlänge besitzt die Laser-Strahlung?