Über den Umschlag

Der Umschlag ist unter Verwendung einer Skizze von Leonardo da Vinci (1456-1519) entstanden, einem der Universalgenies der Renaissance. Die *Mona Lisa* und das *Abendmahl* sind nur die bekanntesten Zeugnisse seines umfangreichen künstlerischen Schaffens. Da Vinci war aber auch Techniker und Naturwissenschaftler und in diesen Disziplinen seiner Zeit weit voraus. Es gibt Skizzen von ihm, die Fahrräder zeigen, wie sie erst im 19. und 20. Jahrhundert gebaut wurden. Er beschäftigte sich immer wieder mit dem Fliegen und soll auch praktische Versuche gemacht haben. Viele seiner Entwürfe zeigen Hubschrauber und andere Fluggeräte.

Dass wir seine Skizzen auf dem Umschlag abgebildet haben, hat mit dem technischen Fortschritt zu tun, der sich derzeit in der Medizin vollzieht, vor allem im Bereich der bildgebenden Verfahren und der Prothetik. Wir leben in einer Zeit, in der Visionen Wirklichkeit werden.

Betrachten wir eine so unscheinbare Prothese wie einen *Stent*, die Jahr für Jahr weltweit Hunderttausenden von Menschen mit coronarer Herzerkrankung zusätzliche und vor allem beschwerdefreie Lebensjahre schenkt: Damit diese so geniale wie einfache Idee in die Tat umgesetzt werden konnte, bedurfte es großen technischen Know-hows und genauer Kenntnis physikalischer Gesetze.

Anschrift des Verfassers:
Dr. Volker Harms, In’t Holt 37, 24214 Lindhöft

Zeichnungen:
Liane Pielke-Harms, Lindhöft
Dipl.-Phys. Dr. Ing. Stephan Rautenberg, Achim

1. Auflage: Juni 1981
2., völlig neu bearbeitete Auflage: April 1987
3., völlig neu bearbeitete Auflage: April 1990
4., neu bearbeitete Auflage: Dezember 1993
5., überarbeitete Auflage: Juni 1998
6., völlig neu bearbeitete Auflage: Dezember 2000
7., völlig neu bearbeitete Auflage: April 2004
8., überarbeitete Auflage: November 2006
9., neu bearbeitete Auflage: Oktober 2010
10., neu bearbeitete Auflage: Mai 2016
11., neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage: April 2022

Gesamtherstellung: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Kempten
Printed in Germany

Dieses Buch wird zusammen mit der 20. Auflage des Lehrbuchs (978-3-86026-291-7)
als „Physikpaket” zum ermäßigten Preis verkauft: ISBN 978-3-86026-297-9

ISBN 978-3-86026-292-4

Übungsbuch Physik

für Mediziner und Pharmazeuten

von

Volker Harms

Harms Verlag - Lindhöft

Vorwort

Es ist bei Medizinstudenten heute allgemein üblich, sich anhand von Originalfragen auf die Prüfungen vorzubereiten. Leider führt diese Lernmethode häufig zu einem Auswendiglernen der Prüfungsfragen, weil man zeitlich nicht in der Lage ist, alle unklaren Fragen nachzuschlagen und sich ihren Hintergrund zu erarbeiten. In den letzten Jahren sind die Fragen zunehmend spezieller geworden, so dass es heute kaum noch möglich ist, die Fragen zu beantworten, wenn man sie nur gelernt aber nicht verstanden hat.

Das vorliegende Übungsbuch bietet zu jeder Aufgabe eine ausführliche Erläuterung. Bei schwierigen Fragen wird der Lösungsweg aufgezeigt. Wo immer es möglich ist, werden Querverbindungen gezogen, z.B. wird auf Analogien zu anderen Gesetzen hingewiesen. Das Übungsbuch ist also nicht zum „Pauken" gedacht, sondern dazu, den Stoff gedanklich nachzuvollziehen.

Ähnliche Fragen wurden zusammengefasst, wobei die Formulierung gelegentlich leicht abgeändert wurde. Ein „M" über der Aufgabe bedeutet, dass diese oder eine ähnliche im Physikum gestellt wurde, ein „P" bezieht sich auf die Herkunft aus dem ersten Abschnitt der Pharmazeutischen Prüfung. Ein Vergleich von Mediziner- und Pharmazeutenfragen zeigt eine weitgehende Übereinstimmung, wobei die Pharmazeutenfragen gelegentlich stärker ins Detail gehen.

Die Seitenzahlen über den Aufgaben beziehen sich auf die 20. Auflage des Lehrbuches „Physik für Mediziner und Pharmazeuten" vom selben Verfasser. Die Angabe der Seitenzahlen soll das gezielte Nachschlagen erleichtern und das gleichzeitige Durcharbeiten beider Bücher erleichtern.

Die Lösung der Aufgaben wird auf der rechten Buchseite in Verbindung mit einem erklärenden Kommentar angegeben.

Ich bin für Verbesserungsvorschläge und kritische Stellungnahmen stets dankbar und freue mich über jede zurückgesandte Leserumfrage (s. S. 192).

Abschließend möchte ich mich bei Bente Blasius für die Layout- und Korrekturarbeiten und bei meiner Frau und meinem Sohn für die Anfertigung vieler Abbildungen bedanken.

Lindhöft, im März 2022

Volker Harms

Inhaltsverzeichnis

Einführung

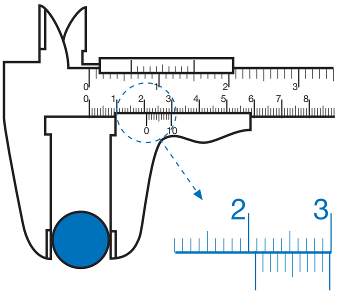
1, 2 P, S. 10 ff.
Ordnen Sie bitte den in Liste 1 genannten Messgeräten die Größe aus Liste 2 zu, die mit dem Gerät am besten zu bestimmen ist.

Liste 1

(1) Schieblehre
(2) Messmikroskop

Liste 2
(A) Wellenlänge der Natrium-D-Linie
(B) Durchmesser einer Tablette (Stichprobenmessung)
(C) Durchmesser eines Öltröpfchens in einer Emulsion
(D) Länge eines Eiweißmoleküls
(E) Abstand zweier Na-Ionen in einem Kochsalzkristall

3 M S. 10 ff.
Beim Einsatz von Implantaten kommt es häufig auf passgenauen Sitz an. Bestimmen Sie den Durchmesser der Implantathülse mit der Schieblehre unter Zuhilfenahme der Noniusskala gemäß Zeichnung:



Der Durchmesser beträgt

(A) 18,8 mm
(B) 20,8 mm
(C) 28,0 mm
(D) 28,8 mm
(E) 29,8 mm

4 M, P, S. 17
Welche der folgenden physikalischen Größen sind Vektoren?

(1) Temperatur
(2) Volumen
(3) Geschwindigkeit
(4) Kraft
(5) Dichte
(6) kinetische Energie
(7) Trägheitsmoment
(8) magnetische Flussdichte

(A) nur 1 und 2
(B) nur 1 und 3
(C) nur 1, 4, 6 und 8
(D) nur 2, 3, 5 und 7
(E) nur 3, 4 und 8

5 M, S. 17
Welche Größe ist ein Skalar?

(A) Kraft
(B) Geschwindigkeit
(C) Beschleunigung
(D) Dichte
(E) Impuls

6 M, P, S. 12
Dividiert man eine physikalische Größe durch ihre Einheit, so erhält man

(A) eine neue physikalische Größe
(B) die physikalische Größe selbst
(C) eine reine Zahl
(D) die Einheit der physikalischen Größe
(E) eine Basisgröße

7 P, S. 22 f.
Welche Antwort trifft **nicht** zu? Folgende Einheiten können eine Geschwindigkeit darstellen:

(A) m/s
(B) km/h
(C) $\mu m\ s^{-1}$
(D) nm Hz
(E) km/Hz

8 M, P, S. 16 und S. 275
Welche der unten genannten Größen sind Grundgrößen im SI und wie lauten ihre Maßeinheiten im SI?

Länge . . . .
Zeit . . . .
Ladung . . . .
Geschwindigkeit . . . .
Wärmemenge . . . .
Energie . . . .
Stromstärke . . . .
Masse . . . .

9 M, S 16 und 275
In welcher der Antworten (A)-(E) sind beide Einheiten Basiseinheiten des SI-Systems?

(A) Sekunde und Newton
(B) Kilogramm und Candela
(C) Pascal und Mol
(D) Kelvin und Coulomb
(E) Ampere und Volt

10 M, P, S. 14
Welche der folgenden Längenangaben ist **nicht** äquivalent zu 7 µm?

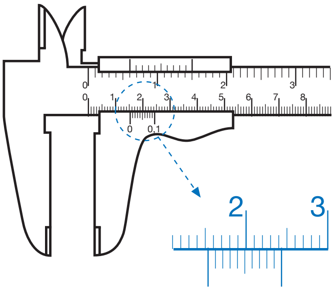
(A) 7 000 nm
(B) 0,007 mm
(C) $7 \cdot 10^{-6}$ m
(D) $7 \cdot 10^{-3}$ cm
(E) $7 \cdot 10^{3}$ nm

11 P, S. 14
Welche Beziehung trifft **nicht** zu?

(A) $1\ MV = 10^{-3}\ V$
(B) $1\ GW = 10^{9}\ W$
(C) $1\ pF = 10^{-12}\ F$
(D) $1\ kg = 10^{3}\ g$
(E) $1\ ns = 10^{-9}\ s$

1 (B)

Eine Schieb- oder Schublehre, die neuerdings meist als Messschieber bezeichnet wird, dient zur Messung von Objekten zwischen ca. 1 mm und ca. 10 bis 20 cm, sodass außer (B) alle Objekte zu klein sind. Die in der Abbildung obere Seite des Messschiebers dient zur Messung von Innendurchmessern (z.B. eines Rohres) und die untere Seite ist für Außendurchmesser (z.B. einer Tablette) vorgesehen.
Der bewegliche Teil des Messschiebers trägt eine sog. Noniusskala, die aus zehn Teilstrichen im Abstand von je 0,9 mm besteht und dazu dient, die über den letzten vollen Millimeterbetrag hinausgehende Strecke abzulesen.



Man prüft, der wievielte Teilstrich der Noniusskala mit einem Teilstrich der Millimeterskala übereinstimmt. Wenn z.B. der dritte Teilstrich übereinstimmt, so beträgt die über den letzten vollen Millimeter hinausgehende Strecke 0,3 mm, denn für die über den letzten Millimeter hinausgehende Strecke x gilt:

$$x + 3 \cdot 0{,}9 \text{ mm} = 3 \text{ mm}, \qquad \text{sodass}$$

$$x = 3 \text{ mm} - 3 \cdot 0{,}9 \text{ mm} = 3 \text{ mm} - 2{,}7 \text{ mm} = 0{,}3 \text{ mm}.$$

Das Prinzip der Noniusskala beruht darauf, dass der Mensch wesentlich genauer beurteilen kann, ob zwei Striche fluchten, als dass man abschätzen kann, in welchem Verhältnis der freie Raum zwischen zwei mm-Teilstrichen geteilt wird.
Es gibt auch Noniusskalen, in denen der letzte Millimeter durch 20 Teilstriche mit einem Abstand von 0,95 mm oder durch 40 Teilstriche mit einem Abstand von 0,975 mm oder sogar durch 50 Teilstriche mit einem Abstand von 0,98 mm geteilt wird. Stets gilt: Zahl der Teilstriche x (Strichabstand - 1 mm) = 1 mm, denn nur so kann jede Position innerhalb des letzten Millimeters genau vermessen werden.

2 (C)

Ein Messmikroskop ist ein Mikroskop mit einer Skala, die in der Zwischenbildebene des Mikroskopes angeordnet ist. Der Maßstab dieser Skala hängt vom jeweils benutzten Objektiv ab. Hiermit lassen sich alle im Mikroskop sichtbaren Objekte vermessen, z.B. Blutzellen. Die unter (D) und (E) genannten Strukturen sind jedoch zu klein, die Länge einer elektromagnetischen Welle (A) lässt sich nur indirekt, z.B. durch Interferenz, ermitteln, aber nicht direkt beobachten wie eine Wasserwelle.

3 (B)

Siehe Erläuterung zu Aufgabe 1. In diesem Fall passt der 8. Teilstrich der Noniusskala mit der darüber liegenden Millimeterskala überein.

4 (E)

Eine vektorielle Größe ist eine gerichtete Größe, zu deren vollständiger Beschreibung die Richtung gehört, in welcher die Größe wirkt. Dies gilt für die Geschwindigkeit, die Kraft und die magnetische Flussdichte.

5 (D)

Die Dichte hat keine Richtung.

6 (C)

Eine physikalische Größe ergibt sich stets als Produkt aus Zahlenwert und Maßeinheit, deshalb ergibt sich bei Division durch die Maßeinheit ein Zahlenwert.

7 (E)

Jeder Quotient aus einer Einheit für die Länge und einer Einheit für die Zeit kann als Einheit für die Geschwindigkeit dienen, so dass (A), (B) und (C) möglich sind. Hertz (Hz) = s^{-1} ist die Einheit der Frequenz und ist der Kehrwert einer Zeiteinheit, weshalb (D) ebenfalls möglich ist.
(E) lässt sich auch als km · s schreiben und stellt demnach keinen Quotienten, sondern das Produkt aus Längen- und Zeiteinheit dar.

8

Grundgrößen und ihre Maßeinheiten im SI sind: Länge (Meter), Zeit (Sekunde), Masse (Kilogramm), Stromstärke (Ampere), Temperatur (Kelvin), Lichtstärke (Candela) und Stoffmenge (Mol)

9 (B)

siehe Erläuterung zur letzten Frage

10 (D)

Die Einheiten lassen sich folgendermaßen mittels Vorsilben erweitern:

p (Piko)	10^{-12}
n (Nano)	10^{-9}
µ (Mikro)	10^{-6}
m (Milli)	10^{-3}
c (Centi)	10^{-2}
k (Kilo)	10^{3}
M (Mega)	10^{6}
G (Giga)	10^{9}
T (Tera)	10^{12}

Demnach gilt:
$7\ \mu\text{m} = 7 \cdot 10^{-6}\ \text{m} = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2}\ \text{m} = 7 \cdot 10^{-4}\ \text{cm}$

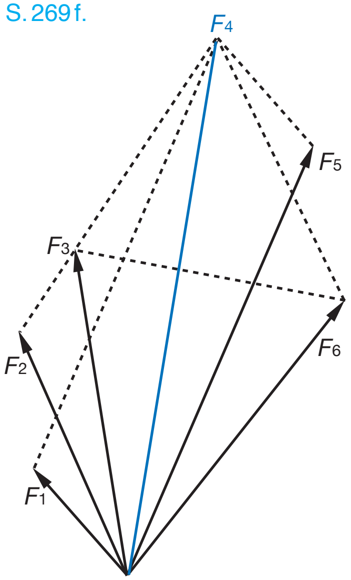
11 (A)

$1\ \text{MV} = 10^{6}\ \text{V}$

12 M, S. 17 und S. 269 f.

Eine mögliche Komponentenzerlegung des Vektors $\boldsymbol{F}_4$ der Abbildung ist

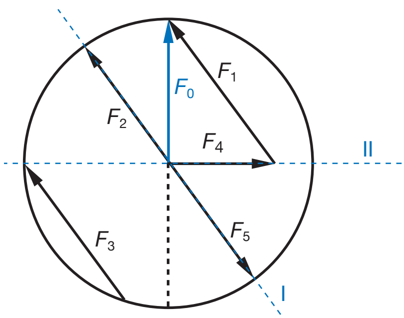
(A) $\boldsymbol{F}_3, \boldsymbol{F}_5$
(B) $\boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_5$
(C) $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_6$
(D) $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_5$
(E) $\boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_3$



13 M, S. 17 und S. 269 f.

Welche Aussage trifft zu? Der Vektor $\boldsymbol{F}_0$ soll in zwei Komponenten mit den Richtungen I und II zerlegt werden (s. Abb.). Die richtige Zerlegung hat die beiden Komponenten

(A) $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_3$
(B) $\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_4$
(C) $\boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_3$
(D) $\boldsymbol{F}_2, \boldsymbol{F}_4$
(E) $\boldsymbol{F}_5, \boldsymbol{F}_1$



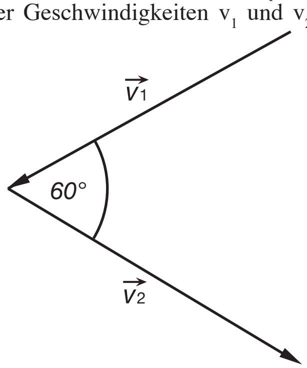
14 M, S. 17 und S. 269 f.

Bilden Sie die Differenz: $\boldsymbol{F}_0 - (\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_4) =$

15 M, S. 17 und S. 269 f.

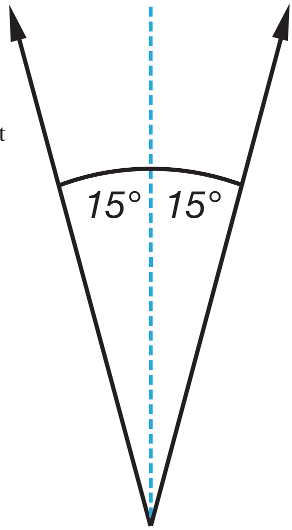
Wie groß ist nach der folgenden Abbildung der Betrag der resultierenden Geschwindigkeit $v = v_1 + v_2$, wenn die Beträge der Geschwindigkeiten v_1 und v_2 jeweils 1,0 m/s sind?

(A) 0,5 m/s
(B) 1,0 m/s
(C) $\sqrt{2}$ m/s
(D) $\sqrt{3}$ m/s
(E) 2.0 m/s



16 M, S. 17 und S. 269 f.

Ein Muskel entspringt zweiköpfig (also an zwei verschiedenen Ursprungsstellen), hat aber eine gemeinsame Insertionsstelle am Knochen. Jeder der beiden Muskelteile wirkt mit einer Kraft von 50 N in einem Winkel von 15° zur dazwischen (in derselben Ebene) befindlichen Achse (s. Schemazeichnung).
sin(15°) = 0,26;
cos(15°) = 0,97;
sin(300°) = 0,5;
cos(30°) = 0,87



Welcher der folgenden Werte gibt den Betrag der resultierenden Kraft (mit der der Muskel an der Insertionsstelle zieht) am besten wieder?

(A) 26 N
(B) 48,5 N
(C) 50 N
(D) 87 N
(E) 97 N

17 P, S. 15

Die Schallgeschwindigkeit in Wasser beträgt 1500 m/s. Zwischen einem Schiff und einem Fischschwarm sind 500 m Abstand.

Wie lange braucht ein Impuls vom Schiff zum Fischschwarm und zurück?

(A) 0,33 s
(B) 0,66 s
(C) 1,5 s
(D) 0,5 s
(E) 1,0 s

18 M, S. 15

Bei einer gleichförmigen Bewegung

(A) nimmt die Geschwindigkeit gleichförmig zu
(B) nimmt die Beschleunigung gleichförmig zu
(C) ist die Geschwindigkeit konstant
(D) ist die Beschleunigung von Null verschieden und konstant
(E) keine der obigen Aussagen ist richtig

12 (D)

Vektoren lassen sich geometrisch als gerichtete Strecken auffassen. Bei der Zerlegung eines Vektors in seine Komponenten hat man großen Spielraum:

- man kann beliebige Komponenten wählen
- die Komponenten können länger sein als der ursprüngliche Vektor
- Bedingung ist lediglich, dass die Summe der Komponenten gleich dem ursprünglichen Vektor ist. Dies kann man geometrisch überprüfen, indem man die erste Komponente an den Ausgangspunkt des ursprünglichen Vektors legt, die zweite Komponente an den Endpunkt der ersten Komponente usw. Die Zerlegung ist richtig, wenn der Endpunkt der letzten Komponente mit dem Endpunkt des ursprünglichen Vektors übereinstimmt.

Vektoren können beliebig parallelverschoben werden. Demnach gibt es zwei Möglichkeiten, um vom Anfangspunkt zum Endpunkt des Ursprungsvektors zu gelangen: In unserem Beispiel erst $\boldsymbol{F}_1$ und dann $\boldsymbol{F}_5$ oder in umgekehrter Reihenfolge. Hierdurch ergibt sich ein Parallelogramm, dessen Diagonale der Ursprungsvektor ist.

13 (B)

Begründung wie oben

14

$\boldsymbol{F}_0 - (\boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_4) = 0$

15 (B)

Beide Dreiecksseiten sind gleich lang und außerdem beträgt der Winkel 60 Grad. Für die verbleibenden zwei Winkel des Dreiecks verbleiben deshalb 120 Grad.

Weil beide Seiten gleich lang sind, handelt es sich um ein symmetrisches Dreieck, in dem jeder Winkel 60 Grad aufweist. Es handelt sich um ein gleichseitiges Dreieck, in dem auch die dritte Seite die Länge 1 hat.

16 (E)

Die beiden Muskeln setzen leicht schräg am Knochen an. Der resultierende Kraftvektor ist durch die gestrichelte Linie dargestellt. Für beide Muskeln gilt, dass nicht die gesamte Kraft des Muskels wirksam ist, sondern nur der Teil der Kraft, der in dieselbe Richtung wirkt wie die gestrichelte Linie.

Wenn man den Muskel bzw. seine Sehne als Hypothenuse auffasst, ist die gestrichelte Linie die Ankathete. Folglich gibt der Cosinus an, welcher Anteil der Kraft wirksam ist. Wir erhalten:

$$F = \cos 15° \; 50 \text{ N} + \cos 15° \; 50 \text{ N} = 97 \text{ N}$$

17 (B)

$$\text{Es gilt: Geschwindigkeit} = \frac{\text{zurückgelegter Weg}}{\text{Zeit}}$$

$$\text{Demnach gilt auch: Zeit} = \frac{\text{zurückgelegter Weg}}{\text{Geschwindigkeit}}$$

$$\frac{1000 \text{ m}}{1500 \text{ m/s}} = \frac{2}{3} \text{ s} = 0{,}66 \text{ s}$$

Im Kopf würde man die Aufgabe wahrscheinlich folgendermaßen lösen: Wenn der Schall 1500 m pro Sekunde zurücklegt, so erreicht er den Fischschwarm in einer drittel Sekunde und ist nach einer weiteren drittel Sekunde wieder beim Schiff.

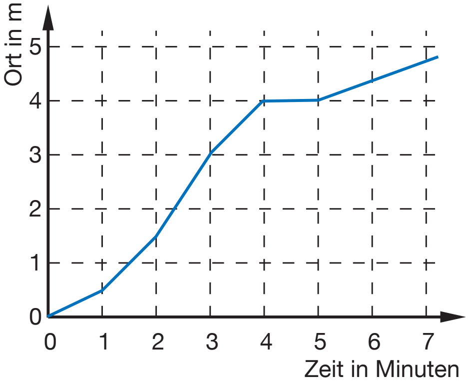
18 (C)

Konstante Geschwindigkeit bedeutet, dass sowohl Betrag als auch Richtung der Geschwindigkeit konstant bleiben. Demnach fällt beispielsweise eine Kreisbewegung auch bei konstanter Winkelgeschwindigkeit nicht unter den Begriff der gleichförmigen Bewegung.

Grundbegriffe der Mechanik

19 P, S. 22 f.

Die größte Momentangeschwindigkeit der dargestellten Bewegung einer Packung, die in einem automatisierten Lager transportiert wird, beträgt:



(A) 1 m/min
(B) 0,8 m/min
(C) 0,67 m/min
(D) 2,5 cm/s
(E) 1,5 cm/s

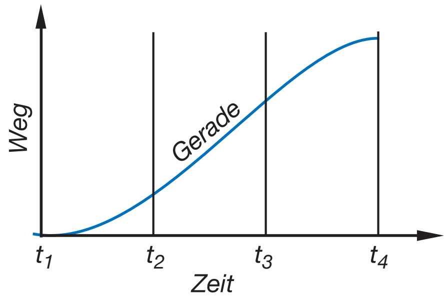
20 M, S. 22

Die Geschwindigkeit 50 km/h ist etwa gleich

(A) 1,4 m/s
(B) 14 m/s
(C) 18 m/s
(D) 140 m/s
(E) 200 m/s

21 M, S. 22

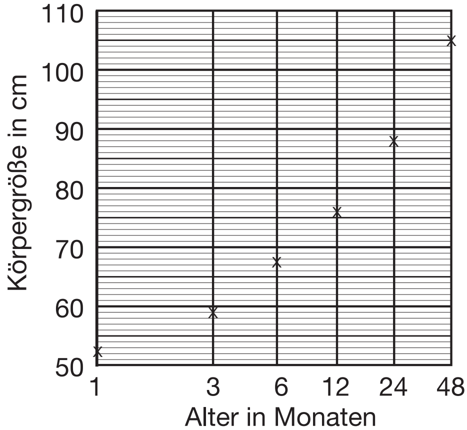
Ein Körper bewegt sich nach abgebildeter Weg-Zeit-Kurve.



(A) Zum Zeitpunkt t_3 ist die Geschwindigkeit kleiner als zum Zeitpunkt t_4.
(B) Zum Zeitpunkt t_1 ist die Geschwindigkeit größer als zum Zeitpunkt t_2.
(C) Im Zeitintervall zwischen t_1 und t_4 ist die mittlere Geschwindigkeit kleiner als die maximale Geschwindigkeit.
(D) Die Beschleunigung ist im Zeitintervall zwischen t_3 und t_4 positiv.
(E) Die mittlere Beschleunigung ist im Zeitintervall zwischen t_1 und t_2 kleiner als im Zeitintervall zwischen t_2 und t_3.

22 M, S. 22

Im Diagramm sind sechs Messwerte der Körpergröße eines Mädchens im Verlauf des 1. bis 48. Lebensmonats dargestellt:



Etwa wie groß war die mittlere Wachstumsgeschwindigkeit im zweiten Lebenshalbjahr, also in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahrs?

(A) 0,5 crn/Monat
(B) 1,5 cm/Monat
(C) 2,5 cm/Monat
(D) 3 cm/Monat
(E) 5 cm/Monat

23 M, S. 22

Bei einem Probanden beträgt die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta etwa 6 m/s.

Wie lange dauert es etwa, bis die Pulswelle im Verlauf der Aorta 30 cm zurückgelegt hat?

(A) 2 ms
(B) 5 ms
(C) 20 ms
(D) 50 ms
(E) 500 ms

24 M, S. 22

Bei einem Patienten wird der N. ulnaris am Oberarm und am Handgelenk gereizt und jeweils das Summenaktionspotential am M. abductor digiti minimi abgeleitet.
Bei Reizung am Oberarm beginnt das Summenpotential nach 10,5 ms und bei Reizung am Handgelenk nach 2,1 ms. Die beiden Reizorte sind 42 cm voneinander entfernt. Die motorische Nervenleitgeschwindigkeit des N. ulnaris ist die mittlere Erregungsleitungsgeschwindigkeit zwischen den beiden Reizorten.

Wie groß ist sie bei dem Patienten?

(A) 20 m/s
(B) 30 m/s
(C) 40 m/s
(D) 50 m/s
(E) 60 m/s

19 (D)

Im Weg-Zeit-Diagramm ist die Geschwindigkeit umso größer, je größer die Steigung ist. An der Stelle der größten Steigung lesen wir eine Ortsveränderung von 1,5 m pro Minute ab. Dies sind 150 cm pro 60 s, also 2,5 cm/s.

20 (B)

50 km/h entsprechen 50 000 m/3600 s = 13,88 m/s.

21 (C)

Es handelt sich um ein Weg-Zeit-Diagramm.

Für das Weg-Zeit-Diagramm gilt grundsätzlich, dass die Geschwindigkeit um so höher ist, je größer die Steigung ist. Deshalb sind (A) und (B) falsch.

(D) ist falsch, weil eine positive Beschleunigung bedeutet, dass die Geschwindigkeit steigt.

(E) ist falsch, weil die Beschleunigung bei einer gleichbleibenden Geschwindigkeit Null ist.

(C) ist richtig. Das ergibt sich einerseits daraus, dass die Steigung im mittleren Abschnitt am höchsten ist und andererseits daraus. dass die Geschwindigkeit am Anfang und am Ende Null ist, so dass ein umfassender Mittelwert kleiner sein muss als der Wert in der Mitte der Kurve.

22 (B)

Das zweite Lebenshalbjahr bedeutet den Zeitraum zwischen dem 6. und 12 Lebensmonat. In dieser Zeit ist das Mädchen von ca. 67 cm bis ca. 76 cm, also um 9 cm gewachsen. Das sind 1,5 cm je Monat.

23 (D)

Generell gilt: $v = s/t$, so dass $t = s/v$

In unserem Fall: $t = 0{,}3$ m/6 m/s = 0,05 s = 50 ms

24 (D)

Generell gilt: $v = s/t$

In unserem Fall:

$v = 0{,}42$ m/8,4 ms = 0,42 m/0,008,4 s = 50 m/s

25 M, S. 22

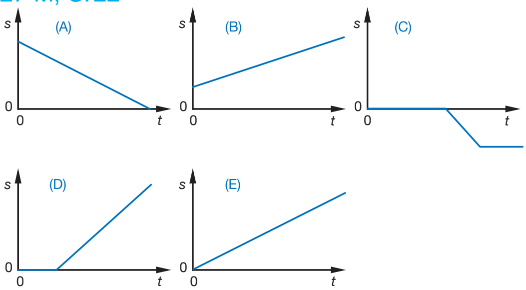
Eine konstante Geschwindigkeit ergibt in einem Weg-Zeit-Diagramm mit linearen Achseneinteilungen (Zeit auf der Abszisse) eine

(A) Parallele zur Abszisse
(B) Parallele zur Ordinate
(C) geneigte Gerade ($\infty >$ Steigung > 0)
(D) immer steiler werdende Kurve
(E) immer flacher werdende Kurve

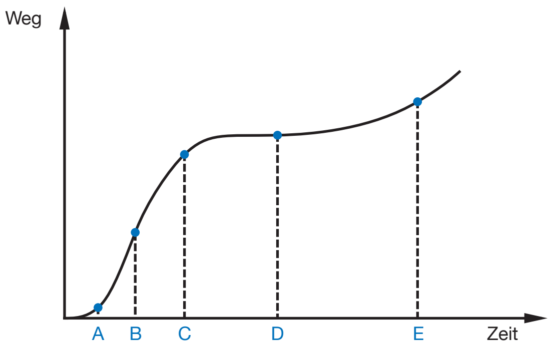
26 M, S. 22 f.

Durch welche der Darstellungen (A) bis (E) wird die Funktion $s = v\,t + s_0$ dargestellt?
($v > 0$; $s_0 > 0$; Abszissen und Ordinaten linear geteilt)

27 M, S. 22



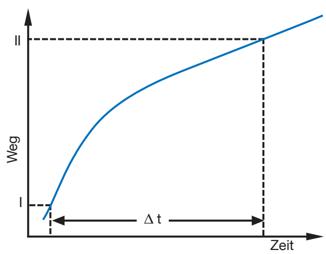
Die Bewegung eines Körpers werde durch das nachstehende Weg-Zeit-Diagramm dargestellt. Zu welchem der Zeitpunkte A, B, C, D oder E hat der Körper die größte Geschwindigkeit?



28 M, S. 22

Welche Aussage trifft zu?

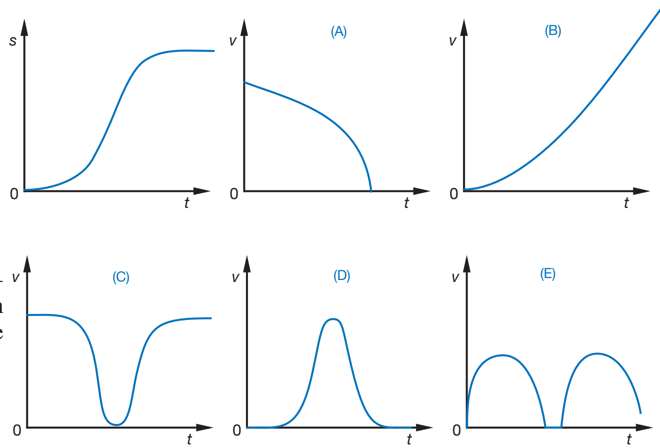
Ein Körper bewegt sich vom Ort I zum Ort II. Das Weg-Zeit-Diagramm ist in der Abbildung dargestellt.



(A) Die Beschleunigung hat einen konstanten Wert zwischen I und II.
(B) In II ist die Geschwindigkeit des Körpers größer als die mittlere Geschwindigkeit im Zeitintervall Δt.
(C) Die Beschleunigung des Körpers ist in I größer als in II.
(D) Die mittlere Geschwindigkeit im Zeitintervall Δt wird auf der Strecke von I nach II nur einmal angenommen.
(E) In I ist die Geschwindigkeit des Körpers kleiner als die mittlere Geschwindigkeit im Zeitinervall Δt.

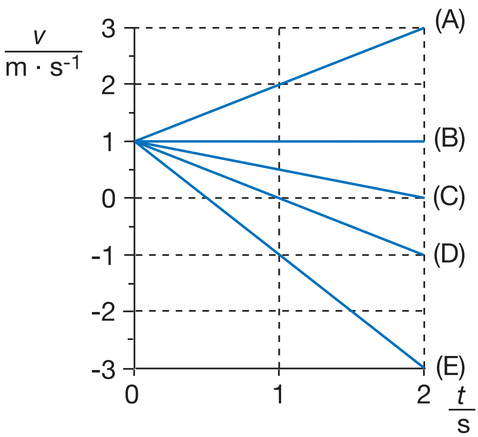
29 M, S. 22 f.

Welches der aufgeführten Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme (A)-(E) gehört zu dem untenstehenden Weg-Zeit-Diagramm?



30 M, S. 22 f.

Ein Körper bewegt sich mit der konstanten negativen Beschleunigung $a = 1$ m/s² auf einer Geraden.
Seine Anfangsgeschwindigkeit beträgt $v_0 = 1$ m/s.



Welche der Kurven (A) bis (E) zeigt den zugehörigen Geschwindigkeits-Zeit-Zusammenhang?

25 (C)

Bei einer konstanten Geschwindigkeit wird zu jedem Zeitpunkt pro Zeiteinheit Δt die gleiche Wegstrecke Δs zurückgelegt. Deshalb ist die Steigung im Weg-Zeit-Diagramm überall gleich.
Eine Steigung mit dem Wert Unendlich würde einer unendlich hohen Geschwindigkeit entsprechen („unendlich" bezogen auf die Dimensionen des Diagramms), eine Steigung mit dem Wert Null würde einem Stillstand entsprechen.

In Position I liegt eine konstante Geschwindigkeit vor, danach tritt eine leichte Abbremsung auf und im letzten Abschnitt liegt wiederum eine konstante Geschwindigkeit vor.
Die mittlere Geschwindigkeit im Zeitintervall Δt wird nur einmal angenommen, und zwar an dem Punkt im Weg-Zeit-Diagramm, an dem die Steigung gleich der Steigung der Verbindungslinie zwischen den Punkten I und II ist.

26 (B)

Weil $v > 0$, muss die Steigung der Geraden positiv sein. Damit kommen nur noch (B), (D) und (E) in Frage.
Weil $s_0 > 0$, muss die Gerade die s-Achse bei einem positiven s-Wert schneiden. Deshalb kommt nur (B) in Frage.

27 (B)

Die Momentangeschwindigkeit ist umso höher, je größer die Steigung im Weg-Zeit-Diagramm ist.

28 (D)

Im Weg-Zeit-Diagramm ist eine Beschleunigung als Änderung der Steigung erkennbar.

29 (D)

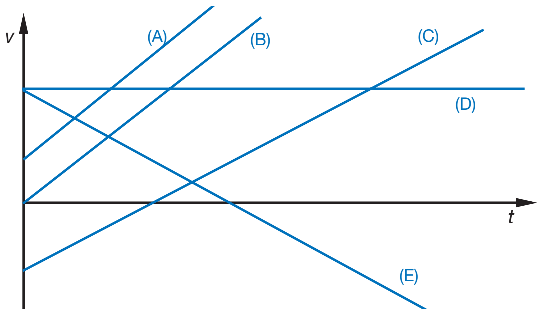
Es wird stillschweigend vorausgesetzt, dass alle Diagramme denselben Maßstab der Zeitachse aufweisen.
Im Weg-Zeit-Diagramm herrscht zu Anfang und am Ende Stillstand und zwischenzeitlich ein Geschwindigkeitsmaximum. Deshalb kommt nur Lösung (D) in Frage.

30 (D)

Für alle Kurven gilt die Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 1$ m/s. Weil die Beschleunigung negativ ist, kommt eine der Kurven (C) bis (E) in Frage.
Bei (D) vermindert sich die Geschwindigkeit in jeder Sekunde um genau 1 m/s.

31, 32 M, S. 22 f.

Ordnen Sie bitte den in Liste 1 aufgeführten Anfangsbedingungen (v_0: Anfangsgeschwindigkeit, a: Beschleunigung) die jeweils zutreffende Kurve im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm zu.



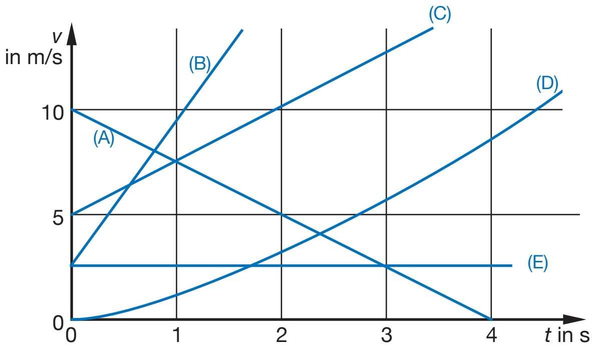
Liste 1

31 $v_0 > 0$; a > 0

32 $v_0 > 0$; a = 0

33 M, S. 22 f.

In der Abbildung ist das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm verschiedener Bewegungen eines Körpers dargestellt. Welche Kurve gehört zu der Bewegung mit der konstanten Beschleunigung $a = 2{,}5$ m/s² ?



34 M, S. 23 f.

Zeichnen Sie in das Diagramm von Aufgabe 33 eine Kurve für $a = 5$ m/s² ein, wenn die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt $t = 0$ null ist.

35 M, S. 23 f.

Die Einheit der Beschleunigung ist definiert als

(1) m s^{-1}	(A) nur 1 ist richtig
(2) m s^{-2}	(B) nur 3 ist richtig
(3) km h^{-1}	(C) nur 1 und 3 sind richtig
(4) km h^{-2}	(D) nur 2 und 4 sind richtig
(5) km Lichtjahr^{-2}	(E) nur 2, 4 und 5 sind richtig

36 P, S. 23 f.

Ein Eisenbahnwagen wird aus dem Stand mit 0,1 m/s² beschleunigt; welche Geschwindigkeit hat er nach 500 m erreicht?

(A) 50 m/s
(B) 10 m/s
(C) 1 m/s
(D) 5 m/s
(E) keine Antwort ist richtig

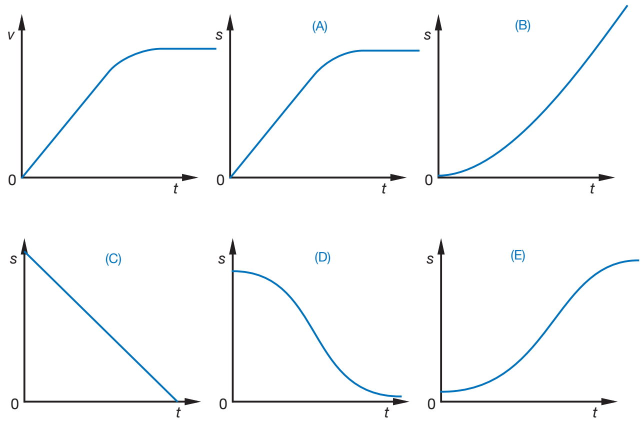
37 P, S. 23 f.

Nach welcher Gesetzmäßigkeit steigt beim freien (reibungslosen) Fall aus der Ruhelage die Geschwindigkeit mit dem Fallweg s an?

(A) proportional e^s
(B) proportional s
(C) proportional $\sqrt{s}$
(D) proportional s^2
(E) Der Anstieg der Geschwindigkeit hängt nur von der Masse ab.

38 M, P, S. 23 f.

Welches der aufgeführten Weg-Zeit-Diagramme (A) bis (E) gehört zu dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm? (Abszissen und Ordinaten sind linear geteilt.)



39 M, S. 23 f.

Ein Körper fällt frei aus der Höhe $h = h_1$ zu Boden ($h = 0$). Die Fallbewegung beginnt zur Zeit $t = 0$. Welches der in der letzten Aufgabe dargestellten Weg-Zeit-Diagramme gibt die Bewegung wieder? Falls kein Diagramm zutrifft, zeichnen Sie die richtige Kurve in eines der Diagramme ein.

40 M, S. 24 f.

Bei einem Sturz fällt eine Person mit dem Kopf auf den Boden. Beim Aufprall wird der Kopf von der Geschwindigkeit 4 m/s innerhalb einer Strecke von 10 mm vollständig abgebremst.

Wie groß ist der Absolutbetrag der Beschleunigung (Abbremsung), wenn man eine geradlinige gleichförmige Beschleunigung (Abbremsung) annimmt?

(A) 200 m/s²
(B) 400 m/s²
(C) 600 m/s²
(D) 800 m/s²
(E) 1600 m/s²

31 (A)

Weil $a > 0$, also weil die Beschleunigung positiv ist, muss die Gerade im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm eine positive Steigung haben. Demnach kommen (A), (B) und (C) in Frage.
Weil auch $v_0 > 0$ ist, also zum Zeitpunkt $t = 0$ eine positive (nach vorne gerichtete) Geschwindigkeit vorliegt, trifft nur (A) zu.

32 (D)

Hier ist die Bedingung $a = 0$ vorgegeben, d. h. die Beschleunigung ist gleich Null. Im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ergibt sich damit eine parallel zur Zeit-Achse verlaufende Gerade. Deshalb kommt nur (D) in Frage. (D) erfüllt auch die zusätzliche Bedingung $v_0 > 0$.

33 (C)

Im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm zeichnet sich eine konstante Beschleunigung durch eine konstante Steigung, also die Darstellung als Gerade aus. Da die Beschleunigung positiv sein soll, muss auch die Steigung positiv sein. Deshalb kommen nur (B) und (C) in Frage. Wegen der Zahlenwerte fällt die Entscheidung auf (C).

34

Die gewünschte Kurve ist eine Gerade und geht im 45°-Winkel durch den Nullpunkt.

35 (D)

Als Einheit für die Beschleunigung eignet sich jeder Quotient, bei dem im Zähler eine Längeneinheit und im Nenner das Quadrat einer Zeiteinheit steht (h ist hier die Abkürzung für hour = Stunde).
Die kohärente SI-Einheit für die Beschleunigung lautet $\mathrm{m\,s^{-2}}$.
(5) ist unzutreffend, weil die Einheit „Lichtjahr“ eine in der Astronomie verwendete Einheit für die Entfernung ist.

36 (B)

Bei der gleichförmigen Beschleunigung a beträgt die Geschwindigkeit v nach Zeit t

$$v = a\,t$$

Demnach müssen wir wissen, welche Zeit t der Zug zum Durchlaufen der Strecke von 500 m benötigt. Die Integration der eben genannten Gleichung nach der Zeit liefert analog dem Weg-Zeit-Gesetz:

$$s = \frac{1}{2}\,a\,t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2\,s}{a}} = \sqrt{\frac{1000\ \mathrm{m}}{0{,}1\ \mathrm{m/s^2}}} = 100\ \mathrm{s}$$

Der Zug benötigt zum Durchlaufen von 500 m die Zeit von 100 s und hat dann die Geschwindigkeit

$$v = 100\ \mathrm{s} \times 0{,}1\ \mathrm{m/s^2} = 10\ \mathrm{m/s}.$$

37 C

Beim freien Fall liegt ebenso wie beim oben behandelten Zug eine gleichförmige Beschleunigung vor. Die Geschwindigkeit ist proportional der Zeit t und die Zeit t ist proportional der Quadratwurzel des Weges s. Demnach ist die Geschwindigkeit v proportional $\sqrt{s}$.

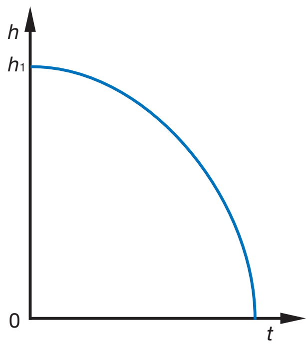
$$v \sim t \qquad t \sim \sqrt{s} \qquad v \sim \sqrt{s}$$

38 (B)

Aus dem Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm geht hervor, dass die Geschwindigkeit zunächst linear ansteigt und dann auf einem bestimmten Wert konstant bleibt. Deshalb muss die Steigung des Weg-Zeit-Diagramms zunächst ansteigen und dann auf dem erreichten Wert konstant bleiben. Beim genauen Hinsehen erkennt man, dass der letzte Teil der Kurve (B) eine Gerade ist.

39 (B)

Beim freien Fall liegt die konstante Fallbeschleunigung $g = 9{,}81\ \mathrm{m\ s^{-2}}$ vor, demnach triffr der erste Teil von Kurve (B) zu.
Wenn $h = 0$ im Schnittpunkt des Koordinatensystems liegen soll (was in der Aufgabenstellung nicht unbedingt verlangt wird), muss man die Kurve auf den Kopf drehen, denn h = 0 wird erst erreicht, wenn die Fallzeit t verstrichen ist.



3mrz40 (D)

Es gibt zwei Formeln, die den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit v, Beschleunigung a, zurückgelegtem Weg s und der Zeit t beschreiben:

$$v = a\,t \qquad \text{und} \qquad s = ½\ a\,t^2$$

In der Aufgabe sind s und v gegeben und nach a wird gefragt. Weil auch t unbekannt ist, lösen wir $v = a\,t$ nach t auf und erhalten $t = v/a$. Wir setzen ein und formen um

$$s = ½\ a\,t^2 = ½\ a\,(v/a)^2 = ½\ v^2/a$$

$$a = ½\ v^2/\mathrm{s}$$

Wir setzen die Zahlenwerte ein:

$$a = ½\ 16\ (\mathrm{m/s})^2/0{,}01\mathrm{m} = 800\ \mathrm{m/s^2}$$

Weil die Erdbeschleunigung $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$, haben wir es hier mit dem 80fachen der Erdbeschleunigung zu tun. Das birgt erhebliche Verletzungsrisiken, ist aber noch wenig verglichen mit einem Motorradfahrer, der gegen einen Baum prallt.

41 M, S. 24 f.

Eine gleichförmig beschleunigte Bewegung

(A) ist im Weg-Zeit-Diagramm ein linearer Graph
(B) führt ein Körper aus, wenn keine Kraft auf ihn einwirkt
(C) ist durch eine gleichmäßig zunehmende Beschleunigung zu erreichen
(D) ist im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ein linearer Graph
(E) ist durch eine konstante Geschwindigkeit gekennzeichnet

42 P, S. 26 ff.

Welche der folgenden Aussagen treffen zu? Damit ein ruhender, frei beweglicher Körper in Ruhe bleibt, ist erforderlich, dass

(1) keine resultierende äußere Kraft auf ihn einwirkt
(2) kein resultierendes äußeres Drehmoment auf ihn einwirkt
(3) er eine große Masse hat

(A) nur 2
(B) nur 1 und 2
(C) nur 1 und 3
(D) nur 2 und 3
(E 1 bis 3 (alle)

43, S. 26 ff.

Wie lautet das physikalische Gesetz, auf welches sich die letzte Aufgabe bezieht?

44 M, P, S. 26 f.

Welche Beziehungen ergeben sich aus dem 2. newtonschen Axiom?

Die Kraft ist darstellbar als

(A) Masse · Beschleunigung
(B) Impuls · Zeit
(C) Kraft · Masse
(D) Kraft/Masse
(E) Kraft · Zeit

45 P, S.26 f. und 22 f.

Welche Aussage trifft zu? Eine anfangs ruhende Masse von 1 kg wird 5 s lang mit einer Kraft von 6 N beschleunigt. Sie erreicht dabei eine Geschwindigkeit von

(A) 1/30 $m\,s^{-1}$
(B) 1,2 $m\,s^{-1}$
(C) 15 $m\,s^{-1}$
(D) 30 $m\,s^{-1}$
(E) 75 $m\,s^{-1}$

46 M, S. 26 f. und 23

Ein Auto fahre mit 50 km/h (≈ 14 m/s) im rechten Winkel auf eine Mauer auf. Auf einer Strecke von 50 cm (Knautschzone) komme es gleichmäßig verzögert zum Stehen.

Welcher Beschleunigung (in Vielfachen der Erdbeschleunigung g) sind die Insassen etwa ausgesetzt?

(A) 0,5 g
(B) 2 g
(C) 6 g
(D) 20 g
(E) 70 g

47 M, S. 26 f. und 29 f.

Ein Auto von 1000 kg Masse fahre mit 10 m/s im rechten Winkel auf eine Mauer auf. Auf einer Strecke von 50 cm (Knautschzone) komme es gleichmäßig verzögert zum Stehen. Welche Kraft wird auf die Mauer ausgeübt?

(A) 10^3 N
(B) 10^4 N
(C) 10^5 N
(D) 10^6 N
(E) 10^7 N

48 P, S. 2 12 M, S. 17 und S. 269 f. 1

Wie verhalten sich die Beträge der gegenseitigen Gravitationskräfte F_1 und F_2 zweier Himmelskörper, wenn sich ihre Massen $M_1 : M_2 = 2 : 3$ verhalten?

(A) $F_1 = F_2$
(B) $2\,F_1 = 3\,F_2$
(C) $3\,F_1 = 2\,F_2$
(D) $4\,F_1 = 9\,F_2$
(E) $9\,F_1 = 4\,F_2$

49 P, S. 27

Wie hängt die Krafteinheit Newton mit den Grundeinheiten des internationalen Einheitensystems SI zusammen?

(A) $1\ N = 1\ kg\ m^2\ s^{-2}$
(B) $1\ N = 1\ m\ s^{-2}$
(C) $1\ N = 1\ kg\ m\ s^{-2}$
(D) $1\ N = 1\ kg\ m\ s^{-1}$
(E) $1\ N = 1\ kg\ m^2 s^{-1}$

50 M, S. 26 f.

Welche Aussage trifft zu? Auf eine Masse m = 50 kg wirkt eine Schwerkraft von etwa

(A) $F_g = 50$ N
(B) $F_g = 50\ kg\ m\ s^{-2}$
(C) $F_g = 500$ N m
(D) $F_g = 5 \cdot 10^2$ N
(E) $F_g = 500$ J

41 (D)
Der freie Fall ist ein typisches Beispiel für eine gleichförmig beschleunigte Bewegung. Aus den Aufgaben 38 und 39 ging bereits hervor, dass sich im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ein linearer Graph ergibt. Die Beschleunigung ist konstant, bei (C) würde auch die Beschleunigung zunehmen.

42 (B)
Auch ein Körper mit kleiner Masse, z. B. ein Staubkorn, bleibt ohne äußere Kräfte dort liegen, wo er liegt. Die sog. resultierende Kraft ergibt sich als Summe der einwirkenden Kraftvektoren. Wenn ein Gegenstand z.B. auf einer Unterlage ruht, ist die Summe aus Schwerkraft und der von der Unterlage ausgehenden Kraft Null.
Ein Drehmoment resultiert aus einer Kraft, die den Körper in Drehung zu setzen versucht.

43
1. newtonsches Axiom: Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, solange keine Kraft auf ihn einwirkt.

44 (A)
Das 2. newtonsche Axiom lautet:

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung},$$

sodass

$$\text{Beschleunigung} = \text{Kraft/Masse}$$

45 (D)
Aus dem 2. newtonschen Axiom ergibt sich:

$$\text{Beschleunigung} = \text{Kraft/Masse}$$
$$a = 6\ \text{N}/1\ \text{kg} = 6\ \text{ms}^{-2}$$

Bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung gilt:

$$\text{Geschwindigkeit} = \text{Beschleunigung} \cdot \text{Zeit}$$
$$v = 6\ \text{ms}^{-2} \cdot 5\ \text{s} = 30\ \text{ms}^{-1}$$

46 (D)
Der Wagen kommt gleichmäßig verzögert zum Stehen; er wird abgebremst, bis er in Ruhe ist. Das Weg-Zeit-Gesetz

$$s = 0{,}5\ a\ t^2 + v_0\ t + s_0$$

kann in seiner verkürzten Form

$$s = 0{,}5\ a\ t^2$$

für die gleichmäßige Beschleunigung eines Körpers aus der Ruhelage angewendet werden.
Weil t unbekannt ist, wird es nach der Beziehung $v = a\ t$ (sodass $t = v/a$) eingesetzt:

$$s = 0{,}5\ \ a\ v^2/a^2 = 0{,}5\ \ v^2/a$$

Nach Multiplikation beider Seiten mit a/s erhalten wir

$$a = 0{,}5\ v^2/s = 0{,}5 \cdot 14^2\ \text{m}^2\text{s}^{-2}/0{,}5\ \text{m}$$

$$a = 196\ \text{ms}^{-2} \approx 20\ g$$

47 (C)
Nach der Beziehung

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung}$$

muss zunächst die einwirkende Beschleunigung a errechnet werden: Nach dem ersten Lösungsansatz der vorigen Aufgabe ergibt sich:

$$a = 0{,}5\ \text{v}^2/\text{s}$$

$$a = 0{,}5 \cdot 10^2\ \text{m}^2\text{s}^2/0{,}5\ \text{m} = 100\ \text{ms}^{-2}$$

Hieraus errechnet sich die Kraft F als:

$$F = 1000\ \text{kg} \cdot 100\ \text{ms}^{-2}$$

$$F = 100\,000\ \text{kg ms}^{-2} = 100\ 000\ \text{N}$$

Die Gewichtskraft des Wagens beträgt bei einer Masse von 1000 kg als Gewicht = Masse · Erdbeschleunigung etwa 10000 N. Das bedeutet, dass trotz der relativ langen Knautschzone und der relativ geringen Geschwindigkeit von ca. 36 km/h eine Bremskraft auftritt, die etwa zehnmal so groß ist wie die Gewichtskraft des Wagens.

48 (A)
Hier gilt das 3. newtonsche Axiom: Kraft = Gegenkraft. Nach dem Gravitationsgesetz ergibt sich die gegenseitige Anziehungskraft $F_1 = F_2$ als

$$F_1 = F_2 = \gamma\ \frac{M_1\ M_2}{r^2}$$

wobei r der Abstand der Schwerpunkte von M_1 und M_2 und γ die Gravitationskonstante ist.

49 (C)
Newton ist die kohärente Einheit des SI für die Kraft. Da sich Kraft als Masse mal Beschleunigung ergibt, ergibt sich die SI-Einheit der Kraft als Produkt der SI-Einheiten von Masse (kg) und Beschleunigung (m s^{-2}).

50 (D)
Die Schwerkraft ist Ursache der Beschleunigung beim freien Fall. Wenn man die Masse von 50 kg fallen lässt, erhalten wir nach dem 2. newtonschen Axiom:

$$\begin{aligned}\text{Schwerkraft} &= \text{Masse} \cdot \text{Erdbeschleunigung}\\ &= 50\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \text{m s}^{-2}\\ &\approx 500\ \text{kg m s}^{-2} = 500\ \text{N}\end{aligned}$$

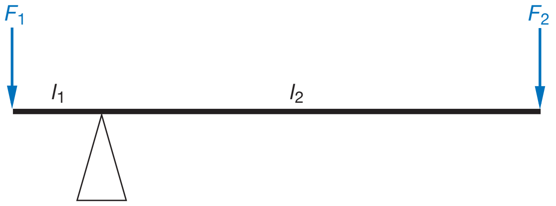
51 M, S. 26 ff.

Welche Aussage trifft zu? Zwei Kugeln (10 und 20 kg) werden in einem luftleeren Raum zur gleichen Zeit von der gleichen Höhe *h* fallen gelassen. In halber Höhe über dem Boden ist

(A) der Impuls beider Kugeln gleich
(B) die Beschleunigung beider Kugeln gleich
(C) die kinetische Energie beider Kugeln gleich
(D) die Summe aus potenzieller und kinetische Energie für beide Kugeln gleich
(E) keine der Aussagen trifft zu

52 M, S. 31 f.

An einem zweiarmigen Hebel wirkt an dem einen Arm mit der Länge l_1 = 20 cm eine Kraft F_1 = 5 N.

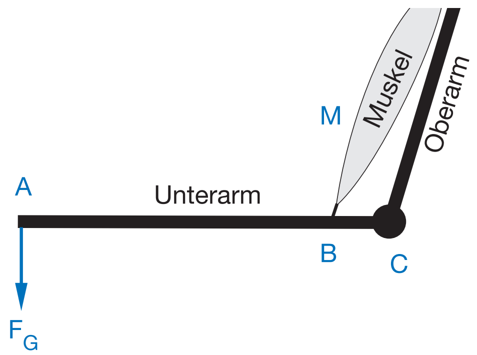


Welche parallel zu F_1 gerichtete Kraft F_2 muss an dem anderen Hebelarm mit der Länge l_2 = 100 cm angreifen, damit das gesamte Drehmoment Null ist?

(A) F_2 = 1 N
(B) F_2 = 5 N
(C) F_2 = 25 N
(D) F_2 = 100 N
(E) F_2 = 500 N

53 M, S. 31 f.

Die Abbildung zeigt schematisch einen Unterarm als Hebel. Die Entfernung des Angriffspunktes A der Gewichtskraft F_G vom Ellenbogengelenk C sei a, die Entfernung des Angriffspunktes B des Bizeps M von C sei b.

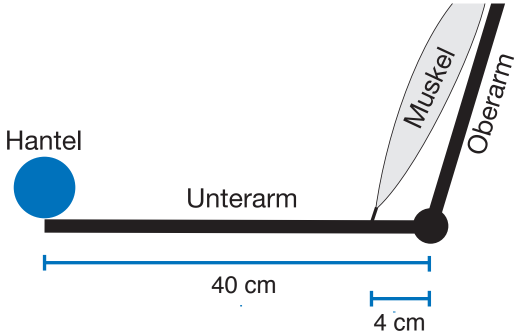


Welche Kraft F muss der Bizeps etwa aufbringen, um F_G im Gleichgewicht zu halten, falls beide Kräfte senkrecht zum Unterarm wirken?

(A) $F = F_G$
(B) $F = F_G \cdot a/b$
(C) $F = F_G \cdot b/a$
(D) $F = F_G \cdot ab/b$
(E) $F = F_G \cdot ab/a$

54 M, S. 31 f.

Ein Mann hält eine Hantel (siehe Skizze). Unterarm und Hand (mit vernachlässigbarem Eigengewicht) wirken wie ein waagrecht stehender, einarmiger Hebel mit den Längen l_1 = 32 cm und l_2 = 4 cm. Die Hantel hat die Masse 10 kg.

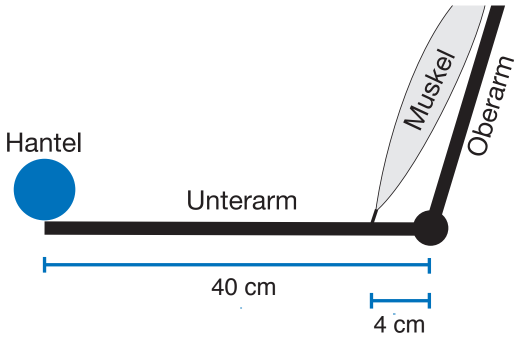


Etwa mit welcher senkrechten Kraft muss der Bizeps ziehen, um die Hantel in dieser Stellung zu halten?

(A) 100 N
(B) 300 N
(C) 800 N
(D) 8 kN
(E) 80 kN

55 M, S. 31 ff.

Ein Athlet hält statisch eine Hantel mit der Masse 10 kg. Unterarm und Hand (mit vernachlässigbarem Eigengewicht) sind wie ein waagrecht stehender einarmiger Hebel mit den Längen l_1 = 40 cm und l_2 = 4 cm. Die Wirkung aller Muskeln außer dem Bizeps ist zu vernachlässigen. Die Achse des Ellenbogengelenks ist waagrecht und steht in rechtem Winkel zum Unterarm und zur Wirkrichtung des Bizeps.



Etwa wie groß sind die Drehmomente, die von Hantel und Bizeps am Unterarm erzeugt werden? (Positives Vorzeichen: Vektor zeigt in die Zeichenebene hinein; negatives Vorzeichen: Vektor zeigt auf den Betrachter.)

(A) Hantel: + 4 Nm; Bizeps: – 40 Nm
(B) Hantel: + 4 Nm; Bizeps: – 4 Nm
(C) Hantel: + 40 Nm; Bizeps: – 40 Nm
(D) Hantel: + 40 Nm; Bizeps: – 4 Nm
(E) Hantel: + 400 Nm; Bizeps: – 40 Nm

51 (B)

Beide Kugeln unterliegen der Erdbeschleunigung g. Die daraus resultierende beschleunigende Kraft $F = m\ g$ ist proportional ihrer Masse m, und weil die Beschleunigung $a = F/m$ ergibt sich für beide Kugeln $a = m\ g/m = g$.
In der Aufgabenstellung wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass andere Kräfte, wie z. B. der Luftwiderstand, nicht einwirken.

52 (A)

Es gilt das Hebelgesetz:

$$\text{Kraft} \cdot \text{Kraftarm} = \text{Last} \cdot \text{Lastarm}$$

In unserer Aufgabe sei $F_1 = 5$ N die Kraft, $l_1 = 20$ cm der Kraftarm und $l_2 = 100$ cm der Lastarm, sodass bei $F_2 = 1$ N das Hebelgesetz erfüllt ist:

$$5 \text{ N} \cdot 0,20 \text{ m} = 1 \text{ N} \cdot 1{,}00 \text{ m}$$

Die Last braucht also nur 1/5 der Kraft zu betragen, weil der Lastarm 5 mal so lang wie der Kraftarm ist.

53 (B)

Die benötigte Kraft ist um so größer,

- je größer die Gewichtskraft F_G ist
- je länger der Hebelarm a ist
- je kürzer der Hebelarm b ist

54 (B)

Das Hebelgesetz lautet:

$$\text{Last} \cdot \text{Lastarm} = \text{Kraft} \cdot \text{Kraftarm}$$

In unserem Fall gilt

$$100 \text{ N} \cdot 32 \text{ cm} = \text{x N} \cdot 4 \text{ cm}$$

Wir teilen beide Seiten durch 4 cm und erhalten

$$100 \text{ N} \cdot 8 = 800 \text{ N}$$

zweiter Lösungsweg: der Lastarm ist mit 32 cm achtmal so lang wie der Kraftarm mit 4 cm. Folglich muss die Kraft achmal so groß sein wie die Last.
Die Last beträgt 10 kg $\cdot$g m/s^{-2} = 100 N.

55 (C)

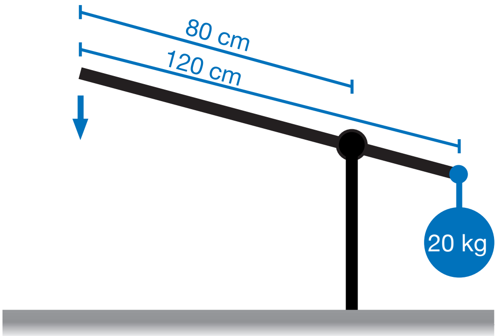
Das Drehmoment ergibt sich als Produkt aus Hebelarmlänge und und der (sekrecht) am Hebelarm wirkenden Last bzw. Kraft.
Die Hebelarmlänge für die Hantel ist 0,4 m, für den Muskel 0,04 m. Die Hantel zieht mit 100 N nach unten, das Drehmoment für die Hantel beträgt deshalb 40 Nm. Die Kraft des Muskels ist nicht angegeben, aber es heißt, dass der Athlet die Hantel statisch halten würde, so dass beide Drehmoment gleich groß sind, jedoch umgekehrtes Vorzeichen haben. Folglich zieht der Muskel den Knochen mit 1000 N nach oben, so dass

$$100 \text{ N} \cdot 0{,}4 \text{ m} = 1000 \text{ N} \cdot 0{,}04 \text{ m} = 40 \text{ Nm}$$

Beide Drehmomente habe denselben Absolutbetrag, jedoch die entgegengesetzte Richtung.

56 M, S. 31f.

Bei der schematisch dargestellten Maschine drückt die trainierende Person mit der linken Hand das Ende einer 120 cm langen starren Stange hinunter. Die Stange ist um eine Querachse drehbar, die sich etwa 80 cm von der Handmitte entfernt befindet und in einer bestimmten Höhe fest verankert ist. An dem der Hand gegenüberliegenden Ende der Stange ist über eine Achse ein Gewicht mit der Masse m = 20 kg angehängt. (Das Eigengewicht von Stange, Achsenlager usw. bleibt unberücksichtigt.)

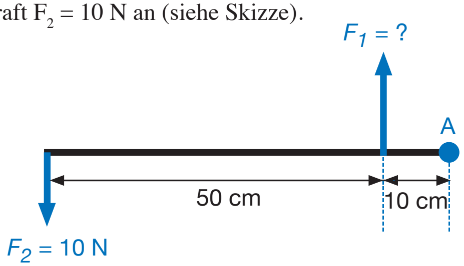


Etwa welche (senkrecht nach unten wirkende) Kraft muss die Person an der Stange aufbringen, um das Gewicht anzuheben?

(A) 10 N
(B) 20 N
(C) 50 N
(D) 75 N
(E) 100 N

57 M, S. 31 f.

Eine Stange ist bei A um eine zur Zeichenebene senkrechte Achse drehbar gelagert. An der Stange greift die Kraft F_2 = 10 N an (siehe Skizze).

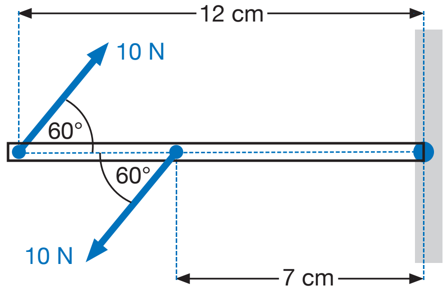


Wie groß muss F_1 gewählt werden, damit sich die beiden Drehmomente kompensieren?

(A) F_1 = 10 N
(B) F_1 = 40 N
(C) F_1 = 50 N
(D) F_1 = 60 N
(E) F_1 = 500 N

58 M, S. 31 f. und 274

Eine „Rippe" eines atemmechanischen Modells ist ein gerader Stab, der drehbar an einer Wand gelagert ist. Eine Kraft F_1 = 10 N, die im Abstand r_1 = 12 cm angreift, wirkt an ihm in einem Winkel von 60^0 nach oben, während eine zweite Kraft F_2 = 10 N, die im Abstand r_2 = 7,0 cm angreift, in einem Winkel von 60^0 nach unten wirkt.
(cos 60^0 = sin 30^0 = 0,500; cos 30^0 = sin 60^0 = 0,866)

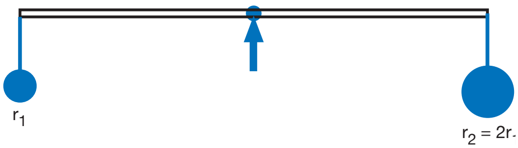


Wie groß etwa ist der Betrag des resultierenden Drehmoments?

(A) 0,25 Nm
(B) 0,43 Nm
(C) 1,0 Nm
(D) 1,4 Nm
(E) 4,4 Nm

59 M, S. 31 f. und 274

An den Enden einer Stange, die in der Mitte unterstützt wird, hängen zwei Kugeln 1 und 2 mit einem Radienverhältnis von $r_1 : r_2 = 1 : 2$.

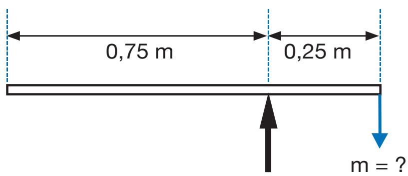


Wie muss ihr Dichteverhältnis $p_1 : p_2$ sein, damit die Stange im Gleichgewicht ist?

(A) $p_1 : p_2 = 1 : 4$
(B) $p_1 : p_2 = 1 : 2$
(C) $p_1 : p_2 = 2 : 1$
(D) $p_1 : p_2 = 4 : 1$
(E) $p_1 : p_2 = 8 : 1$

60 M, S. 31 ff.

Eine 1 m lange und 1 kg schwere homogene Stange wird in der gekennzeichneten Weise unterstützt. Welche Masse m ist rechts erforderlich, um Gleichgewicht herzustellen?



(A) 0,25 kg
(B) 0,5 kg
(C) 1,0 kg
(D) 1,5 kg
(E) 2,0 kg

56(E)

Diese Fitness-Maschine ist physikalisch gesehen ein Hebel. Der Kraftarm hat die Länge 80 cm, der Lastarm hat die Länge 120 cm – 80 cm = 40 cm. Folglich muss man am Kraftarm nur halb soviel Kraft aufwenden, wie die Last wiegt, dafür jedoch beim Anheben der Last die doppelte Länge zurücklegen, was dem Trainingserfolg zugute kommt.
Das Gewicht beträgt 20 kg · 10 m/s^2 = 200 N. Die Hälfte davon sind 100 Newton.

57 (D)

Die Hebelarmlänge bemisst sich immer bis zur Drehachse. Deshalb ist die Hebelarmlänge für F_2 60 cm. Die Hebelarmlänge für F_1 beträgt 10 cm.
Damit beide Drehmomente im Gleichgewicht sind, muss F_1 sechsmal größer als F_2 sein, also 60 N betragen.

58 (B)

Hier ist offenbar danach gefragt, welche Wirkung die Musculi intercostales haben, weil diese die Rippen sowohl nach oben als auch nach unten ziehen. Weil es in den benachbarten Zwischenrippenräumen auch wieder Musculii intercostales gibt, ist die Frage nicht so trivial wie sie scheint.
Bei der Berechnung des Drehmomentes spielt ausschließlich die Kraftkomponente eine Rolle, die senkrecht zum Hebelarm wirkt. Das ist in der Zeichnung die Kraftkomponente in Richtung der gestrichelten Linie. Der Winkel zwischen dem Muskel und der gestrichelten Linie beträgt 30 Grad, der Quotient aus Ankathete (relvante Kraftwirkung) und Hypothenuse (Muskel) ergibt sich demnach als Cosinus 30 Grad = 0,866.
Demnach entwickelt der obere Muskel ein Drehmoment von 0,12 m · 8,66 N = 1,04 Nm, mit dem die Rippe gehoben werden soll.
Der unteren Muskel entwickelt ein Drehmoment von 0,07 m · 8,66 N = 0,61 Nm, welches versucht die Rippe zu senken.
Die Differenz zwischen den beiden Drehmomenten beträgt 0,43 Nm und hebt die Rippe.
Neben der Hebung der Brustkorbes hat die Anspannung der Musculi intercostales zur Folge, dass der gesamte Brustkorb gestrafft wird, was angesichts des Unterdrucks, der sich im Brustkorb während der Inspiration einstellt, anatomisch sinnvoll ist.

59 (E)

Es heißt in der Aufgabenstellung, dass die Stange in der Mitte unterstützt wird. Das bedeutet, dass beide Hebelarme gleich lang sind.
Die rechte Kugel hat den doppelten Durchmesser und damit das achtfache Volumen ($V = {}^4/_3\ \pi \cdot \text{Radius}^3$).
Damit die kleinere Kugel dasselbe Gewicht bzw. dieselbe Masse wie die größere hat, muss ihre Dichte achtmal größer sein als die Dichte der größeren Kugel.

60 (C)

Wir teilen die linke Seite der Stange gedanklich in zwei Teile:

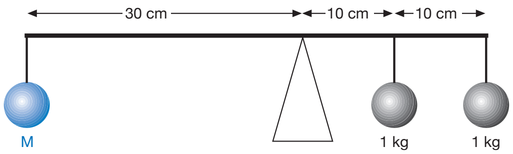
- den rechten Teil der linken Stangenseite: Länge 25 cm. Dieser Teil wird von dem rechten Teil der Stange im Gleichgewicht gehalten.

- den linken Teil der linken Stangenseite: Länge 50 cm. Dieser Teil soll von dem Gewicht, welches gesucht wird. im Gleichgewicht gehalten werden. Dieser Teil hat eine Masse von 500 g, der Schwerpunkt liegt 50 cm vom Drehpunkt entfernt.

Das gesuchte Gegengewicht liegt nur 25 cm vom Drehpunkt entfernt und muss deshalb eine Masse von 1000 g haben, damit sich die Drehmomente gegenseitig aufheben, also gleichen Betrag, aber entgegengesetztes Vorzeichen haben.

61 M, P, S. 31

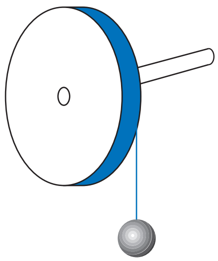
Wie groß muss im unten stehenden Beispiel die Masse *M* gewählt werden, damit Gleichgewicht herrscht?



(A) 0,5 kg
(B) 0,75 kg
(C) 1,0 kg
(D) 2,0 kg
(E) 3,0 kg

62 P, S. 31 f.

Ein Gewicht von 5 N hängt an einem Faden, der über eine zentrisch gelagerte Rolle von 40 cm Durchmesser gewickelt ist. Welches Drehmoment wirkt auf die Rolle?



(A) 0,2 Nm
(B) 1 Nm
(C) 2 Nm
(D) 20 Nm
(E) 100 Nm

63 M, S. 31 f.

Welche Aussage trifft zu?
Das Drehmoment ist definiert als

(A) Kraft · Abstand der Kraftwirkungslinie vom Drehpunkt
(B) Kraft · Masse
(C) Kraft · Winkelgeschwindigkeit
(D) Kraft · Winkelbeschleunigung
(E) Keine der Aussagen trifft zu

64 M, S. 31 f.

Die Größe eines Drehmomentes hängt nicht ab von

(A) der Richtung der angreifenden Kraft
(B) dem Betrag der angreifenden Kraft
(C) dem Abstand des Drehpunktes vom Angriffspunkt der Kraft
(D) dem Winkel zwischen Kraft und Kraftarm
(E) der Dauer der Krafteinwirkung

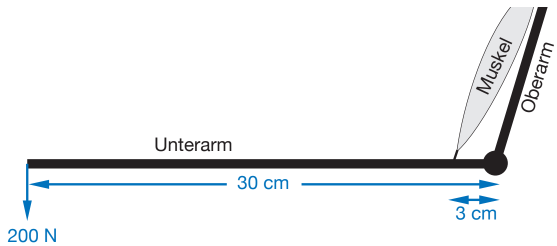
65, 66 M, S. 31, S. 35 ff. und S. 270 f.

Ordnen Sie den in Liste 1 genannten Größen die zutreffende Einheit der Liste 2 zu.

	Liste 1		Liste2
65	Arbeit	(A)	kg m^{-2} s^{-2}
66	Drehmoment	(B)	kg m^2 s^{-2}
		(C)	kg m^{-1} s^{-2}
		(D)	kg m^2 s^{-1}
		(E)	kg m s^{-2}

67 M, S. 31 f.

Bei einem einfachen Modell des menschlichen Arms greift der Bizeps wie aus der Zeichnung ersichtlich am Unterarm an. Welche Kraft muss er aufbringen, um eine Last von 200 N halten zu können?

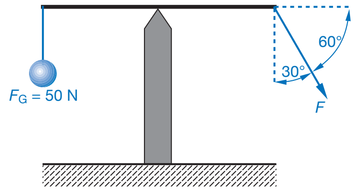


(A) 1773 N
(B) 1828 N
(C) 1970 N
(D) 2000 N
(E) > 2000 N

68 M, S. 25

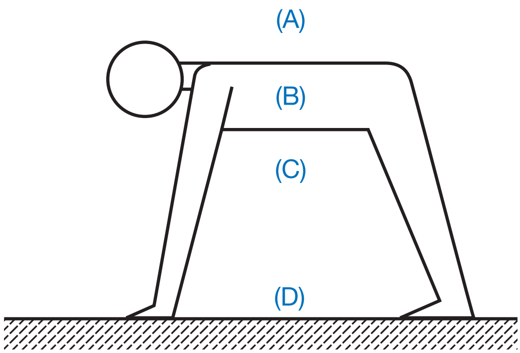
Bei einem gleicharmigen Hebel in der Abbildung wird das Gewicht F_G durch eine Kraft im Gleichgewicht gehalten, die unter 60° zur Horizontalen (30° zur Vertikalen) angreift. Wie groß muss die Kraft *F* sein?

(A) $F = F_G \approx \sin 60°$
(B) $F = F_G \approx \sin 30°$
(C) $F = F_G / \sin 60°$
(D) $F = F_G / \sin 30°$
(E) $F = F_G$



69 M, S. 33 f.

Der Schwerpunkt eines mit beiden Händen und Füßen auf dem Boden stehenden Menschen liegt etwa bei welcher mit den Buchstaben bezeichneten Stelle?



(E) Der Schwerpunkt kann aus der Abbildung auch nicht ungefähr angegeben werden

61 (C)

Auch diese Aufgabe kann man nach dem Hebelgesetz lösen:

Kraft · Kraftarm = Last · Lastarm

Wenn man die in der Aufgabe genannten Zahlen einsetzt, und die Erdbeschleunigung mit g abkürzt, ergibt sich:

$$\text{Kraft} \cdot 0{,}3\ \text{m} = 1\ \text{kg} \cdot g \cdot 0{,}1\ \text{m} + 1\ \text{kg} \cdot g \cdot 0{,}2\ \text{m}$$
$$\text{Kraft} \cdot 0{,}3\ \text{m} = 1\ \text{kg} \cdot g \cdot (0{,}1\ \text{m} + 0{,}2\ \text{m})$$
$$\text{Kraft} = 1\ \text{kg} \cdot g$$

Zweiter Lösungsweg: Es sind 0,333 kg erforderlich, um dem in 10 cm Achsenabstand aufgehängten Gewicht (1 kg) die Waage zu halten. Zusätzlich benötigt man für das in 20 cm Achsenabstand aufgehängte Kilogramm ein Gegengewicht von 0,666 kg Masse.

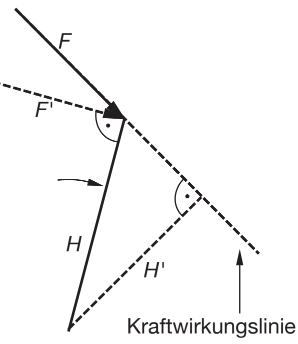
Dritter Lösungsweg: Auf der rechten Seite ist eine Gesamtlast von 2 kg aufgehängt mit einer durchschnittlichen Lastarmlänge von 15 cm. Deshalb benötigt man bei einer Kraftarmlänge von 30 cm die Gewichtskraft von 1 kg Masse als Gegengewicht.

62 (B)

Das Drehmoment ergibt sich als Produkt aus senkrecht wirkender Kraft und Hebelarmlänge. Als Hebelarmlänge ist hier der Radius von 20 cm anzusehen; die Kraft steht senkrecht zum Radius, sodass sich ein Drehmoment von 5 N · 0,2 m = 1 Nm ergibt.

63 (A)

Das Drehmoment ist als Produkt aus Hebelarmlänge ***H*** und senkrecht zum Hebelarm wirkender Komponente ***F´*** des Kraftvektors ***F*** definiert. Auf Seite 32 im Kompendium wird anhand eines anatomischen Beispiels nachgewiesen, dass diese Definition mit der unter (A) genannten Definition übereinstimmt.



$F'\,H = F\,H'$

64 (E)

Grundsätzlich hat die Dauer einer Krafteinwirkung nichts mit der Größe der Kraft zu tun.

65 (B)

Mechanische Arbeit ergibt sich als Kraft (N) · Weg (m).
Die Kraft wiederum ergibt sich als
Masse (kg) · Beschleunigung (m s^{-2}).
In Klammern sind die Einheiten im SI angegeben.
Das Produkt aus Kraft und Weg hat demnach die SI-Einheit

$$\text{kg m s}^{-2}\ \text{m} = \text{kg m}^2\text{s}^{-2}.$$

66 (B)

Das Drehmoment ergibt sich als Produkt aus Kraft (kg m s^{-2}) und Kraftarrn (m) und hat demnach ebenfalls die SI-Einheit kg m^{2}s^{-2}.
Der Unterschied zwischen beiden Größen besteht darin, dass bei der mechanischen Arbeit nur die in Wegrichtung zeigende Komponente des Kraftvektors berücksichtigt wird, da es sich bei der mechanischen Arbeit um das ***Skalarprodukt von Kraft und Weg*** handelt, während beim Drehmoment nur die senkrecht zum Hebelarm wirkende Komponente des Kraftvektors in die Rechnung eingeht. Es handelt sich beim Drehmoment um das ***Kreuzprodukt von Kraft und Weg***.
Das Kreuzprodukt ist eine vektorielle Größe, die senkrecht auf den beiden anderen Vektoren steht. Die Begriffe Skalarprodukt und Kreuzprodukt werden im Kompendium auf Seite 270 f. erläutert.
Drehmoment und Energie sind trotz gleicher Einheit physikalisch völlig unterschiedliche Größen.

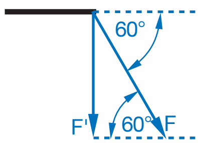
67 (E)

Der Lastarm ist genau zehnmal so lang wie der Kraftarm. Deshalb muss nach der Gleichung

Kraft · Kraftarm = Last · Lastarm

die Kraft genau zehnmal so groß sein wie die Last. Allerdings geht diese Gleichung davon aus, dass Kraft und Last senkrecht oder zumindest unter gleichem Winkel am Kraft- bzw. Lastarm angreifen. Dies ist bei der Last auch der Fall, wie an der Zeichnung deutlich wird, nicht jedoch bei der Kraft. Da nur die senkrecht wirkende Komponente der Kraft ein Drehmoment erzeugt, muss die Kraft größer als 10 · 200 N = 2000 N sein.

68 (C)



Die angreifende Kraft F bildet mit dem senkrecht zum Hebelarm orientierten Kraftvektor F' ein rechtwinkliges Dreieck. Ausgehend vom 60°-Winkel gilt: sin 60° = Gegenkathete durch Hypothenuse = F'/F. Hieraus ergibt sich:
$F = F'/\sin 60° = F_G/\sin 60°$.
Im Gleichgewichtszustand gilt $F' = F_G$.

69 (C)

Der Schwerpunkt eines Gegenstandes ist – umgangssprachlich gesprochen – der „Mittelpunkt aller Massenpunkte“ des Gegenstandes. Wenn ein Körper an einem Faden hängt, liegt der Schwerpunkt in Verlängerung des Fadens. Wenn ein Körper steht, muss der Schwerpunkt über der Unterstützungsfläche liegen, damit der Körper nicht umfällt.
(B) würde ungefähr den Schwerpunkt von Rumpf und Kopf angeben. Wären die Arme erhoben und die Beine gestreckt, so würde (B) auch in etwa dem Schwerpunkt des gesamten Körpers entsprechen, doch da Rumpf und Beine nach vorne bzw. unten gebeugt sind, liegt der Schwerpunkt im leeren Raum unterhalb des Bauches.

70 M, S. 24

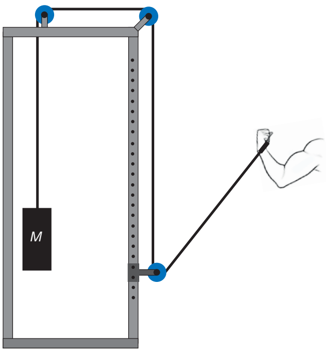
Ein auf der Rückbank eines PKW festgeschnalltes Kind (25 kg) kommt bei einem Frontalzusammenstoß des PKW in nur 0,1 s von einer Geschwindigkeit von 72 km/h (20 m/s) mit konstanter Verzögerung zum Stillstand.
Der Betrag der Kraft, mit der das Kind in die Sicherheitsgurte gepresst wird, ist F. Der Betrag der Gewichtskraft des Kindes ist G.

Um etwa welchen Faktor ist F größer als G?

(A) $F/G \approx 2$
(B) $F/G \approx 4$
(C) $F/G \approx 12{,}5$
(D) $F/G \approx 20$
(E) $F/G \approx 100$

71 M, S. 21

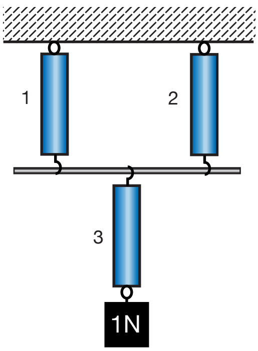
Die Zeichnung zeigt schematisiert ein Gerät zum Krafttraining. Die am Seil hängende Masse M kann von 5 kg bis 50 kg verändert werden. Die Massen der übrigen Teile des Geräts und Reibungskräfte werden nicht berücksichtigt. Zwischen welchen Werten etwa kann also die Kraft variiert werden, mit der der Sportler am Seil ziehen muss?



(A) 2,5 N bis 25 N
(B) 5 N bis 50 N
(C) 25 N bis 250 N
(D) 50 N bis 500 N
(E) 100 N bis 1 000 N

72 M, S. 21

Drei gleiche Federwaagen mit einem Messbereich von je 1 N seien wie abgebildet aneinandergehängt und ohne angehängtes Gewicht auf Null justiert (d. h. alle zeigen in der hängenden Position Null an).

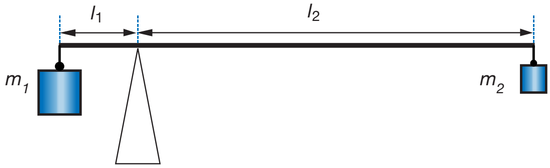


Was zeigen die Waagen an, wenn ein Gewicht von 1 N an Waage 3 unten angehängt wird?

(A) jede Waage zeigt 0,33 N
(B) jede Waage zeigt 0,5 N
(C) jede Waage zeigt 1 N
(D) Waage 1 und 2 zeigen je 0,5 N, Waage 3 zeigt 1 N
(E) Waage 1 und 2 zeigen je 0,25 N, Waage 3 zeigt 0,5 N

73 M, S. 31

Wie sind bei Gleichgewicht an der Balkenwaage die Längen l_1, l_2 und die Massen m_1 m_2 miteinander verknüpft?



(A) $m_1 + l_1 = m_2 + l_2$
(B) $m_1 + l_2 = m_2 + l_1$
(C) $m_1 \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$
(D) $m_1 \cdot l_2 = m_2 \cdot l_1$
(E) $m_1/l_1 = m_2/l_2$

74 M, S. 34

Eine Versuchsperson steht frei auf einer Personenwaage (Federwaage). Als sie ruhig steht, wird die Masse m_0 angezeigt. Die Versuchsperson macht nun eine Kniebeuge, um anschließend wieder in die Ausgangsstellung zurückzukehren.

Die von der Federwaage angezeigte Masse m ist während der Beschleunigung des Oberkörpers am Anfang der

(A) Abwärtsbewegung gleich m_0
(B) Abwärtsbewegung größer als m_0
(C) Abwärtsbewegung kleiner als m_0
(D) Aufwärtsbewegung kleiner als m_0
(E) Aufwärtsbewegung gleich m_0

75 M, P, S. 36 f.

Ein Mensch mit der Masse m = 50 kg besteigt einen Berg mit der Höhe h = 1000 m. Die von ihm verrichtete Hubarbeit W ist ungefähr

(A) $W = 50 \cdot 10^{-3}$ J
(B) W = 5000 N
(C) W = 500 N/m
(D) W = 500 kJ
(E) W = 50 000 J

76 M, P, S. 37 f. und S. 274

Längs einer schiefen Ebene mit dem Neigungswinkel 30° wird eine Masse m = 100 kg reibungslos gehoben. Dazu muss folgende Kraft F' (parallel zur schiefen Ebene) aufgewendet werden: (Beschleunigung des freien Falls g = 10 ms^{-2}), (sin 30° = 0,50; cos 30° = 0,87; tan 30° = 0,58)

(A) 50 N
(B) 100 N
(C) 500 N
(D) 1000 N
(E) Die Kraft kann ohne Angabe der Höhe nicht berechnet werden

70 (D)

Es gilt generell: $v = a\,t$, so dass $a = v/t$.
In unserem Fall ergibt sich:

$$a = 20 \text{ m/s}/0{,}1 \text{ s} = 200 \text{ m/s}$$

Das ist die 20fache Erdbeschleunigung g. Aus diesem Grunde ist die Kraft, mit der das Kind in den Sicherheitsgurt gepresst wird 20 Mal so hoch wie sein Gewicht, nämlich 5000 N!

71 (D)

Die Rollen verändern nur die Richtung, in der gezogen werden muss, der Betrag der Kraft wird von den Rollen weder vergrößert noch verkleinert. Weil ein Seil flexibel ist, zieht es immer genau in der Richtung, in der auch die Kraft wirkt. Man muss hier also keine Vektorzerlegung des Kraftvektors vornehmen.

Eine Masse von 5 kg hat ein Gewicht von

$$5 \text{ kg x } 10 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ N.}$$

Eine Masse von 50 kg hat ein Gewicht von 500 N.

72 (D)

Das Gewicht hängt an der unteren Federwaage und diese zeigt deshalb genau 1 N an.
Weil die untere Federwaage genau in der Mitte zwischen den anderen beiden Federwaagen ansetzt, wird das Gewicht hälftig auf die beiden oberen Federwaagen aufgeteilt.

73 (C)

Das Hebelgesetz besagt, dass Kraft mal Kraftarm gleich Last mal Lastarm, so dass es heißen müsste:

$$m_1 \cdot g \cdot l_1 = m_2 \cdot g \cdot l_2$$

Wenn man beide Seiten der Gleichung durch die Erdbeschleunigung g teilt, erhält man die Antwort (C).

74 (C)

Die Waage zeigt die Kraft an, die notwendig ist, damit der Körper nicht der Schwerkraft folgend nach unten fällt. Deshalb lautet die Formel für die Berechnung der Gewichtskraft $F_G = m\,g$.
Bei der Abwärtsbewegung fällt der Oberkörper nach unten, bei der Aufwärtsbewegung wird der Oberkörper gegen die Schwerkraft nach oben beschleunigt. Bei der Auf- bzw. Abwärtsbewegung addiert sich zu der Gewichtskraft F_G eine beschleunigende Kraft $F_B = m\,a$, die je nach Richtung von a positiv oder negativ ist. Bei der Abwärtsbewegung wird die Gewichtskraft F_G um die beschleunigende Kraft F_B vermindert, bei der Aufwärtsbewegung erhöht.

75 (D)

Allgemein ergibt sich mechanische Arbeit als Produkt aus der aufgewendeten Kraft mit dem gegen diese Kraft zurückgelegten Weg. Die Hubarbeit ergibt sich als

$$\text{Hubarbeit} = \text{Schwerkraft} \cdot \text{Höhendifferenz}$$

$$\text{Hubarbeit} = 50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ ms}^{-2} \cdot 1000 \text{ m}$$

$$\text{Hubarbeit} = 500\,000 \text{ kg m}^2\text{s}^{-2} = 500 \text{ kNm} = 500 \text{ kJ}$$

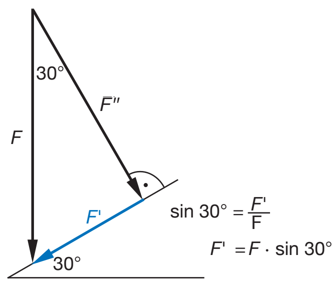
Dieser Wert gibt die gewonnene potenzielle Energie an. Der Mensch muss jedoch erheblich mehr Energie aufwenden. Bei Muskelarbeit ist im Höchstfall ein Wirkungsgrad von ca. 30 % erreichbar.

76 (C)

Der Vektor der Gewichtskraft $\boldsymbol{F} = m\,g$ zeigt senkrecht nach unten und hat den Betrag

$$100 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m s}^{-2} = 1000 \text{ N.}$$

Die Vektorkomponente F'' zeigt senkrecht auf die schiefe Ebene und wird von dieser aufgefangen. Die parallel zur schiefen Ebene liegende Komponente F' muss durch eine Gegenkraft aufgefangen werden. Da der Sinus das Verhältnis von Gegenkathete F' zur Hypothenuse F angibt, ergibt sich die gesuchte Vektorkomponente F' als

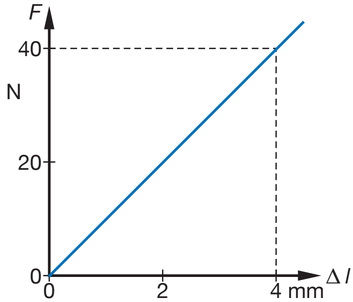


$$F' = F \cdot \sin 30° = 1000 \text{ N} \cdot 0{,}5 = 500 \text{ N.}$$

2. Lösungsweg: 100 kg Masse haben ein Gewicht von 1000 N. Deshalb scheidet Lösung (D) bereits aus. Bei Lösung (A) und (B) würde nur ein Zwanzigstel bzw. ein Zehntel der Gewichtskraft benötigt werden, was nur dann richtig sein könnte, wenn die schiefe Ebene 10- bzw. 20-mal so lang wäre wie die überwundene Höhendifferenz. Dies ist aber bei einem Winkel von 30 Grad nicht der Fall. Deshalb kommt nur (C) in Frage.

77 P, S. 38 f.

Bei der Belastung eines Fadens mit maximal 40 N finden Sie unten stehenden Zusammenhang zwischen der Kraft F und Längenänderung Δl. Welche Arbeit wurde insgesamt bei der Dehnung von $\Delta l = 0$ auf $\Delta l = 4$ mm aufgewandt?



(A) 10 Nmm
(B) 20 Nmm
(C) 40 Nmm
(D) 80 Nmm
(E) 160 Nmm

78, M, S.38 f.

Wie groß ist die bei Abnahme der Geschwindigkeit eines Körpers mit der Masse m = 2 kg durch Reibung von v_1 = 11 km/s auf v_2 = 10 km/s entstehende Wärmemenge ΔQ?

(A) $\Delta Q = 1/2\, m\, (v_1 - v_2)^2 = 10^6$ J
(B) $\Delta Q = 1/2\, m\, (v_1 - v_2)^2 = 10^3$ J
(C) $\Delta Q = 1/2\, m\, (v_1^2 - v_2^2) = 21 \cdot 10^6$ J
(D) $\Delta Q = 1/2\, m\, (v_1^2 - v_2^2) = 21 \cdot 10^3$ J
(E) $\Delta Q = 1/2\, m\, (v_1 - v_2)^2 = 2{,}1$ kJ

79 M, S. 40

Bei der ungedämpften (reibungsfreien) Schwingung eines Fadenpendels

(A) ist die kinetische Energie in den Umkehrpunkten am größten
(B) ist die kinetische Energie beim Durchgang des Pendels durch den tiefsten Punkt am kleinsten
(C) ist die potenzielle Energie beim Durchgang des Pendels durch den tiefsten Punkt am größten
(D) ist die potenzielle Energie in den Umkehrpunkten am kleinsten
(E) ist zu jedem Zeitpunkt der Schwingung die Summe der Energien konstant

80, 81 M, S.41 und 26 ff.

Ordnen Sie den in Liste 1 aufgeführten physikalischen Größen die zugehörigen Einheiten zu.

	Liste 1	
		(A) W/s
80	Leistung	(B) Nm
81	Kraft	(C) Nm/s
		(E) kgm/s²
		(D) kgm/s

82 M, S. 41

Ein Mann hat 1 Liter Limonade mit einem biologischen Brennwert von 1,8 MJ getrunken. Er möchte die Energieaufnahme durch körperliche Mehrbelastung wieder ausgleichen. Beim Spazierengehen ist sein Energieumsatz um 120 W höher als im Sitzen.

Etwa wie lange muss er spazieren gehen, bis diese Steigerung des Energieumsatzes 1,8 MJ ergibt?

(A) 2,5 min
(B) 15 min
(C) 60 min
(D) 150 min
(E) 250 min

83 M, S. 41

Eine Masse von 100 kg wird (von der Erdoberfläche) um 2 m gegen die Schwerkraft angehoben ($g = 10\ \mathrm{ms}^{-2}$).

Die dabei zu leistende Arbeit ist etwa

(A) 50 J
(B) 100 J
(C) 200 J
(D) 1000 J
(E) 2000 J

84 M, S. 41

Die mittlere Energiezufuhr mit den Nährstoffen beträgt pro Tag (24 Stunden) bei einem Probanden 18 MJ, wobei die Person 10 % der Energie in mechanische Arbeit umwandelt.

Eine mittlere (mechanische) Leistung von 1,8 MJ/Tag ist etwa gleich

(A) 11 W
(B) 21 W
(C) 31 W
(D) 41 W
(E) 51 W

85, 86, 87 P, S. 38 ff.

Ein Kran hebt mit praktisch konstanter Geschwindigkeit eine Masse m = 100 kg in der Zeit t = 8 s um die Strecke x = 4 m vertikal in die Höhe.

Ordnen Sie den in Liste 1 angegebenen physikalischen Größen die in Liste 2 in SI-Einheiten (J bzw. J/s) angegebenen Maßzahlen zu! (Fallbeschleunigung g = 10 m/s²)

	Liste 1	Liste 2
85	Geleistete Hubarbeit W_p	(A) 12,5
86	Leistung P des Krans während des Hebevorganges	(B) 25
		(C) 500
87	Kinetische Energie W_k der Masse m während des Hebevorganges	(D) 1000
		(E) 4000

88 M, S 41

Leistung ist in der Physik

(A) Energie mal Weg
(B) Kraft geteilt durch Zeit
(C) Arbeit mal Weg
(D) Masse mal Geschwindigkeit
(E) Energie geteilt durch Zeit

77 (D)

Die Arbeit ergibt sich als Produkt von Längenänderung mit der jeweils aufgewendeten Kraft, d. h. als Fläche unter der dargestellten Kurve. Falls die Kraft von Anfang an 40 N betrüge, würde die gesuchte Arbeit

$$40\ \text{N} \cdot 4\ \text{mm} = 160\ \text{Nmm}$$

betragen (gestricheltes Viereck). Die durchschnittliche Kraft beträgt jedoch nur 20 N, die Fläche unter der Kurve macht genau die Hälfte der Fläche des gestrichelten Vierecks aus, das Ergebnis lautet 80 Nmm.

78 (C)

Die kinetische Energie errechnet sich nach der Formel

$$E_{kin} = {}^1/_2\, m\, v^2,$$

so dass sich für die Differenz zwischen v_1 und v_2 ergibt:

$$\Delta Q = {}^1/_2\, m\, v_1^{\,2} - {}^1/_2\, m\, v_2^{\,2} = {}^1/_2\, m\, (v_1^{\,2} - v_2^{\,2})$$

Eingesetzt ergibt sich:

$$\Delta Q = 1\ \text{kg}\ (11.000^2\ \text{m}^2/\text{s}^2 - 10.000^2\ \text{m}^2/\text{s}^2)$$

$$\Delta Q = (121 \cdot 10^6 - 100 \cdot 10^6)\ \text{kg m}^2/\text{s}^2$$

$$= 21 \cdot 10^6\ \text{Nm} = 21 \cdot 10^6\ \text{J}$$

79 (E)

Die Aussagen (A) bis (D) wären richtig, wenn die Worte „am größten“ und „am kleinsten“ oder wenn die Worte „potenziell“ und „kinetisch“ vertauscht wären. Für die Aussage (E) ist der Zusatz „ungedämpft (reibungsfrei)“ in der Fragestellung wichtig, weil die Energie sonst ständig abnehmen würde.

80 (C)

Nm oder Newtonmeter ist als Kraft · Weg die Einheit der Energie. Leistung ist die pro Zeiteinheit geleistete Arbeit, deshalb ist Newtonmeter pro Sekunde (Nm/s) die SI-Einheit der Leistung. Diese Einheit ist identisch mit der Einheit Watt.

81 (E)

Kraft ergibt sich als Masse · Beschleunigung. Die SI-Einheit der Kraft lautet deshalb kg m/s^2, wobei 1 kg m/s^2 = 1 N.

82 (E)

120 W Leistung bedeutet, dass jede Sekunde 120 J umgesetzt werden. Wenn wir wissen wollen, wie lange der durstige Herr spazieren gehen muss, müssen wir die 1,8 MJ = $1{,}8 \cdot 10^6$ J durch 120 J teilen. und erhalten dann die Zahl der Sekunden, die benötigt werden, um die 1,8 MJ abzuarbeiten:

$$1{,}8 \cdot 10^6/120 = 15\,000$$

Jede Minute hat 60 Sekunden, folglich muss der Herr 250 Minuten spazieren gehen.

83 (E)

Die Hubarbeit errechnet sich als Kraft x Weg, in unserem Fall also als

$$100\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 \cdot 2\ \text{m} = 2000\ \text{Nm} = 2000\ \text{J}$$

84 (B)

Die Leistung ist als Arbeit pro Zeit definiert. In unserem Fall geht es um 1,8 MJ pro Tag, so dass sich pro Sekunde ein Wert von 20,83 J ergibt:

$$1{,}8\ \text{MJ} / 24 \cdot 60 \cdot 60\ \text{s} = 20{,}83\ \text{W}$$

85 (E)

Die geleistete Hubarbeit ergibt sich als

$$m \cdot g \cdot h = 100\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 \cdot 4\ \text{m}$$

$$= 4000\ \text{kg m}^2/\text{s}^2 = 4000\ \text{Nm} = 4000\ \text{J}$$

86 (C)

Die Hubarbeit von 4000 Joule wird in 8 Sekunden geleistet, damit wird pro Sekunde eine Arbeit von 500 J geleistet, denn Leistung ergibt sich als Arbeit pro Zeit.

87 (A)

Die Geschwindigkeit der gehobenen Masse beträgt

$$4\ \text{m}/8\ \text{s} = 0{,}5\ \text{m/s}.$$

Damit erhalten wir:

$$E = (m/2)\, v^2 = 50\ \text{kg} \cdot 0{,}25\ \text{m}^2/\text{s}^2$$

$$= 12{,}5\ \text{kg m}^2/\text{s}^2 = 12{,}5\ \text{J}$$

88 (E)

Leistung ist als Energie pro Zeiteinheit definiert also als J/s = Nm/s = W.

89 M, S 41

Bei einem Patienten wird eine Belastungsuntersuchung mittels Fahrradergometer durchgeführt. Die dem Patienten jeweils vorgegebene Belastung ist die von ihm zu erbringende mechanische Leistung. Eine korrekte Angabe der Maßeinheit dieser physikalischen Größe ist:

(A) J
(B) J · s
(C) kcal
(D) W
(E) W · s

90 M, S 41

Das Produkt aus Watt (W) und Sekunde (s) ist

(A) Newton (N)
(B) Joule (J)
(C) Coulomb (C)
(D) Pascal (Pa)
(E) $kg \cdot m \cdot s^{-2}$

91 M, S 35, 64, 114, 170

Welcher der folgenden Ausdrücke hat **nicht** die Dimension einer Energie?

(A) $p \cdot V$
(B) $U \cdot I \cdot t$
(C) $1/2\ m \cdot v^2$
(D) $h \cdot \nu$
(E) $1/2\ g \cdot t^2$

p = Druck
V = Volumen
U = Spannunq
I = Stromstärke
t = Zeit
m = Masse
v = Geschwindigkeit
h = Plancksches Wirkungsquantum
ν = Frequenz
g = Schwerebeschleunigung

92 M, S 41

Eine Energie kann durch folgende Einheit **nicht** ausgedrückt werden:

(A) J
(B) N · m
(C) A · V · s
(D) Gy · kg
(E) $kg \cdot m \cdot s^{-2}$

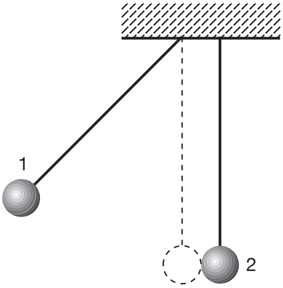
93 M, S 41

Ein Patient hat bei seiner Reduktionsdiät gesündigt und seine Energiezufuhr mit der Nahrung um 2 MJ überschritten. Er möchte nun durch körperliche Arbeit einen Mehrumsatz von 2 MJ erzielen. Hierzu will er auf einen Berg steigen. Der Patient wiegt einschließlich Wanderausrüstung etwa 100 kg. Der Nettowirkungsgrad, also das Verhältnis aus Hubarbeit zum Mehrumsatz des Organismus, betrage 0,20. Der Rückweg ins Tal wird nicht berücksichtigt.

Etwa welche Höhendifferenz muss der Patient nach dieser einfachen Abschätzung überwinden?

(A) 40 m
(B) 100 m
(C) 250 m
(D) 400 m
(E) 1000 m

94 P, S. 41 ff.



Von den an dünnen Fäden gemäß Skizze aufgehängten, einander gleichen, elastischen Kugeln 1 und 2 wird 1 (Ruhelage punktiert gezeichnet) aus der gezeichneten ausgelenkten Lage losgelassen. Nach dem Zusammenstoß

(A) wird 1 nach links reflektiert, 2 bleibt in Ruhe
(B) bleibt 1 in Ruhe, 2 wird nach rechts ausgelenkt
(C) wird 1 nach links reflektiert und zugleich 2 nach rechts ausgelenkt
(D) bleiben beide Kugeln in Ruhe
(E) bewegen sich 1 und 2 gemeinsam nach rechts

95 M, P, S. 43 f.

Welche Aussage trifft zu?
In einem abgeschlossenen Gefäß befinde sich ein Gas. Wenn ein Gasmolekül auf die Wand prallt, übt es einen Kraftstoß auf die Wand aus. Die Summe aller Kraftstöße dividiert durch die verstrichene Zeit und die Gefäßwandfläche ergibt

(A) die Kraft, die die Moleküle auf die Wand ausüben
(B) die Gesamtenergie des Systems
(C) den Gesamtimpuls des Systems
(D) die kinetische Energie der Moleküle im Gefäß
(E) den Gasdruck

96 M, P, S. 45 f.

Der Winkel im Vollkreis hat im Bogenmaß den Wert

(A) 2π
(B) 1π
(C) $\pi/2$
(D) $\pi/4$
(E) 1

97 P, S. 48

Welche Größen entsprechen bei der Rotationsbewegung den Größen Masse und Kraft bei der Translationsbewegung?

Kraft . . . .

Masse . . . .

98 M, P, S. 48 f.

Welche Antwort trifft zu?
Eine Zentrifuge rotiert mit rund 12 000 Umdrehungen/min. Die Kreisfrequenz beträgt ca.:

(A) $200\ s^{-1}$
(B) $314\ s^{-1}$
(C) $628\ s^{-1}$
(D) $1257\ s^{-1}$
(E) $12\,000\ s^{-1}$

89 (D)
Die Einheit der Leistung im SI ist Watt.

90 (B)
Es gilt

Leistung = Energie/Zeit

Daraus folgt

Leistung · Zeit = Energie

91 (E)
(A) bezieht sich auf die Volumenarbeit: $p \cdot V$
(B) bezieht sich auf die elektrische Arbeit: $U \cdot I \cdot t$
(C) bezieht sich auf die kinetische Energie: $1/2\ m \cdot v^2$
(D) bezieht sich auf die Vorgänge im Atom: $h \cdot \nu$
(E) soll die Prüflinge verwirren

92 (E)
kg m s^{-2} ist die SI-Einheit der Kraft

93 (D)
Der Patient möchte einen Mehrumsatz von 2 MJ erreichen. Bei einem Wirkungsgrad von 20 Prozent kann er dabei 400 000 J mechanische Arbeit leisten. Das sind 400 000 Nm. Bei einem Gewicht von 100 kg, also 1000 N entspricht das einer Höhendifferenz von 400 m.

94 (B)
Beim Zusammenstoß beider Kugeln tritt ein Kraftstoß auf, der zur Übertragung von kinetischer Energie und Impuls von Kugel 1 auf Kugel 2 führt. Da der Stoß elastisch ist, geht hierbei keine Energie verloren. Die Frage lautet, wie viel Energie und Impuls übertragen werden müssen, damit Energie- und Impulserhaltungssatz erfüllt sind. Der Impuls errechnet sich als $m\,v$, die Energie als $m/2\ v^2$. Es gilt:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = K_I \qquad 0{,}5\,(m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2) = K_E$$

Hierbei sind K_I und K_E Konstanten, die nach dem Impuls- und Energieerhaltungssatz vor und nach dem Stoß dieselben Werte haben müssen. v_2 hat vor dem Stoß den Wert Null. Für den hier beschriebenen Fall, dass beide Kugeln die gleiche Masse haben ($m_1 = m_2$), können die oben genannten Gleichungen nur erfüllt sein, wenn die gesamte Energie und der gesamte Impuls von Kugel 1 auf Kugel 2 übertragen wird.

95 (E)
Die Summe aller Kraftstöße $\Sigma\ F\ t$ pro Zeiteinheit ergibt die auf die Wand wirkende Kraft. Wenn man die Kraft durch die Wandfläche teilt, erhält man den von Gasmolekülen ausgeübten Druck, den Gasdruck.

96 (A)
Es gibt drei häufig benutzte Einheiten für Winkelangaben:
1. Winkelgrad, in der Geometrie häufig benutzt; ein voller Kreis hat 360°, der rechte Winkel 90°
2. Neugrad, in der Technik benutzt; ein voller Kreis hat 400 Neugrad, der rechte Winkel 100 Neugrad
3. Bogenmaß, in der Physik häufig benutzt; ein voller Kreis hat 2π, der rechte Winkel π/2. Der Winkel im Bogenmaß entspricht dem Umfang des Einheitskreises, eines Kreises mit dem Radius 1.

97
Bei der Translationsbewegung ist die Kraft Ursache der Beschleunigung. Bei der Rotationsbewegung ist das Drehmoment Ursache der Winkelbeschleunigung. Die analoge Größe zur Masse ist das Trägheitsmoment, denn analog zum newtonschen Grundgesetz der Mechanik

Kraft = Masse · Beschleunigung

gilt bei der Drehbewegung

Drehmoment =
Trägheitsmoment · Winkelbeschleunigung.

98 (D)
Die Kreisfrequenz ist ein Synonym für Winkelgeschwindigkeit, sie gibt an, um welchen Winkel (im Bogenmaß gemessen) pro Sekunde die Rotation erfolgt. Bei 12 000 Umdrehungen pro Minute liegen 200 Rotationen pro Sekunde vor, die sog. Drehzahl oder Drehfrequenz beträgt 200. Jede Umdrehung ist mit dem Rotationswinkel 2 π verbunden, demnach beträgt die Kreisfrequenz 400 π/s oder ca. 1257/s.

99 P, S. 48 f.
Wenn die eben genannte Zentrifuge ca. 210 Sekunden bis zum Erreichen ihrer Höchstgeschwindigkeit benötigt, so beträgt die durchschnittliche Winkelbeschleunigung ca.:

Winkelbeschleunigung = ______________________

= ______________________

100 M, S. 48 f.
Die Zentrifugalbeschleunigung a in einer Laborzentrifuge beträgt zunächst 9 g (das Neunfache der Erdbeschleunigung g).

Welcher Wert ergibt sich für a bei dreifach höherer Drehzahl der Zentrifuge?

(A) 27 g
(B) 81 g
(C) $2\,\pi \cdot 27\,g$
(D) $2\,\pi \cdot 81\,g$
(E) $4\,\pi^2 \cdot 81\,g$

101 M, S. 48 f.
Die Sedimentationskonstante ist der Quotient aus Sedimentationsgeschwindigkeit und Zentrifugalbeschleunigung. Sie wird in der Einheit Svedberg (1 s = 10^{-13}s) angegeben.
Serumalbumine bewegen sich bei einer Zentrifugalbeschleunigung von $2 \cdot 10^5$ g ($g \approx 10$ m/s^2) in einem Zentrifugenröhrchen mit konstanter Sedimentationsgeschwindigkeit. Ihre Sedimentationskonstante beträgt 5 s.

In etwa welcher Zeit legen sie radial die Strecke 1 cm zurück?

(A) 10 s
(B) 10^2 s
(C) 10^3 s
(D) 10^4 s
(E) 10^5 s

102 M, S. 46, 49
In einem Zentrifugenröhrchen befinden sich im Abstand R = 10 cm von der Drehachse der Zentrifuge Makromoleküle der Masse m, die eine Radialbeschleunigung von $10^5 \cdot g$ ($g = 10$ m/s^2) erfahren sollen.

Etwa mit welcher Drehfrequenz (Umdrehungen pro Sekunde, Drehzahl) muss die Zentrifuge rotieren ($4\,\pi^2 = 40$)?

(A) $10\sqrt{5}$ s^{-1}
(B) $5 \cdot 10^2$ s^{-1}
(C) $2 \cdot 10^3$ s^{-1}
(D) $5 \cdot 10^3$ s^{-1}
(E) $2{,}5 \cdot 10^5$ s^{-1}

103 M, S. 46, 49
Die Zentrifuge eines klinischen Labors kann mit unterschiedlichen Drehzahlen (Umdrehungen pro Minute) betrieben werden. Um in der Zentrifuge eine ausreichende Sedimentation bestimmter Teilchen gleicher Masse zu erzielen, ist eine gewisse Zeit der Zentrifugation erforderlich (Zentrifugationsdauer). Die Zentrifugationsdauer ist umgekehrt proportional zur Zentrifugalkraft.

Um welchen Faktor verlängert sich die Zentrifugationsdauer, wenn (bei gleichem Radius) die Drehzahl der Zentrifuge nur halb so groß ist?

(A) $\sqrt{2} \approx 1{,}4$
(B) 2
(C) $2^2 = 4$
(D) $2^3 = 8$
(E) $2^4 = 16$

104 M, S. 48 f.
In einem Zentrifugenröhrchen bewegen sich gleichzeitig zwei Sorten von Makromolekülen, die sich anfangs im selben Abstand von der Drehachse der rotierenden Zentrifuge befanden, mit den konstanten Geschwindigkeiten v_1 = 1 mm/h und v_2 = 2 mm/h radial von der Drehachse weg.

Nach welcher Zeit sind sie in radialer Richtung 1 cm voneinander entfernt?

(A) 1 h
(B) 2 h
(C) 3 h
(D) 5 h
(E) 10 h

105 M, P, S. 41
Welche Aussage trifft **nicht** zu?

Bewegt sich der Schwerpunkt eines Körpers mit konstanter Winkelgeschwindigkeit auf einer Kreisbahn, dann

(A) erfährt der Schwerpunkt ständig eine zum Mittelpunkt der Kreisbahn gerichtete, dem Betrag nach konstante Beschleunigung
(B) erfährt der Schwerpunkt ständig eine dem Betrag nach konstante Beschleunigung in Richtung der in diesem Punkt an die Kreisbahn angelegten Tangente
(C) ändert die Beschleunigung des Schwerpunktes ständig ihre Richtung, aber nicht ihren Betrag
(D) ändert der vom Kreismittelpunkt zum Schwerpunkt des Körpers erstreckte Ortsvektor ständig seine Richtung, aber nicht seinen Betrag
(E) hat die Bahngeschwindigkeit des Schwerpunktes ständig die Richtung der in diesem Punkt an die Kreisbahn angelegten Tangente

99

Winkelbeschleunigung =

$$\frac{\text{Änderung der Winkelgeschwindigkeit}}{\text{Sekunde}} = \frac{1257\ s^{-1}}{210\ s} \approx 6\ s^{-2}$$

100 (B)

Die Zentrifugalbeschleunigung errechnet sich als $\omega^2 r$, wobei ω die Winkelgeschwindigkeit ist. Bei dreifach höherer Drehzahl (Drehzahl bedeutet Zahl der Umdrehungen pro Sekunde, sodass die Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\ \pi$ Drehzahl) ist auch die Winkelgeschwindigkeit ω dreimal höher.

Weil die Zentrifugalbeschleunigung mit dem Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ansteigt, steigt sie auch mit dem Quadrat der Drehzahl an. Die Zentrifugalkraft steigt deshalb um den Faktor 9 auf insgesamt 81 g an.

101 (D)

Je höher die Zentrifugalkraft ist, desto höher ist die Sedimentationsgeschwindigkeit. Diese Beziehung gilt für alle Makromoleküle, die sich abzentrifugieren lassen, jedoch lassen sich einige Moleküle schneller abzentrifugieren als andere. Darauf beruht die Trennung der Moleküle innerhalb einer Zentrifuge.

Jede Molekülsorte hat eine charakteristische **Svedbergkonstante**. Für Albumin beträgt diese 5 Svedberg = $5 \cdot 10^{-13}$s.
Multipliziert mit der Zentrifugalbeschleunigung von $2 \cdot 10^5$ g = $2 \cdot 10^6$ m/s² ergibt sich eine Sedimentationsgeschwindigkeit v von

$$v = 2 \cdot 10^6\ m/s^2 \cdot 5 \cdot 10^{-13} s = 10^{-6}\ m/s = 10^{-4}\ cm/s$$

Für einen Zentimeter werden deshalb 10^4 Sekunden benötigt, das sind fast drei Stunden.

102 (B)

Die Radialbeschleunigung errechnet sich als:

$$\text{Radialbeschleunigung} = \omega^2\, r$$

Für die Winkelgeschindigkeit ω gilt:

$$\omega = 2\,\pi\ \text{Drehzahl}$$

so dass

$$\text{Radialbeschleunigung} = \omega^2\, r = (2\,\pi\ \text{Drehzahl})^2\, r$$

$$\text{Radialbeschleunigung} = 4\,\pi^2\ \text{Drehzahl}^2\, r$$

Wir setzen für $r = 0{,}1$ m und für $4\,\pi^2 = 40$ und für die Radialbeschleunigung 10^5 g = 10^6 ein:

$$10^6 = 4\ \text{Drehzahl}^2$$

und ziehen die Wurzel:

$$10^3 = 2\ \text{Drehzahl}$$
$$\text{Drehzahl} = 500\ s^{-1}$$

103 (C)

Die Radialbeschleunigung steigt mit dem Quadrat der Drehzahl. Die Zentrifugationsdauer ist umgekehrt proportional zur Radialbeschleunigung.
Deshalb fällt die Zentrifugationsdauer proportional mit der Drehzahl.
Bei halber Drehzahl ist die Radialbeschleunigung um den Faktor 4 reduziert und die Zentrifugationsdauer um den Faktor 4 verlängert.

104 (E)

In jeder Stunde erhöht sich der Abstand der beiden Molekülsorten voneinander um 1 mm. Nach 10 Stunden sind sie 10 mm voneinander entfernt.

105 (B)

Die Momentangeschwindigkeit $\boldsymbol{v}$ zeigt in Richtung der am jeweiligen Punkt an die Kreisbahn angelegten Tangente. Die durch die Zentripetalkraft ausgelöste Beschleunigung a zeigt zum Kreismittelpunkt. Diese Beschleunigung ist Ursache der ständigen Richtungsänderung bei der kreisförmigen Bewegung.