WILEY-VCH

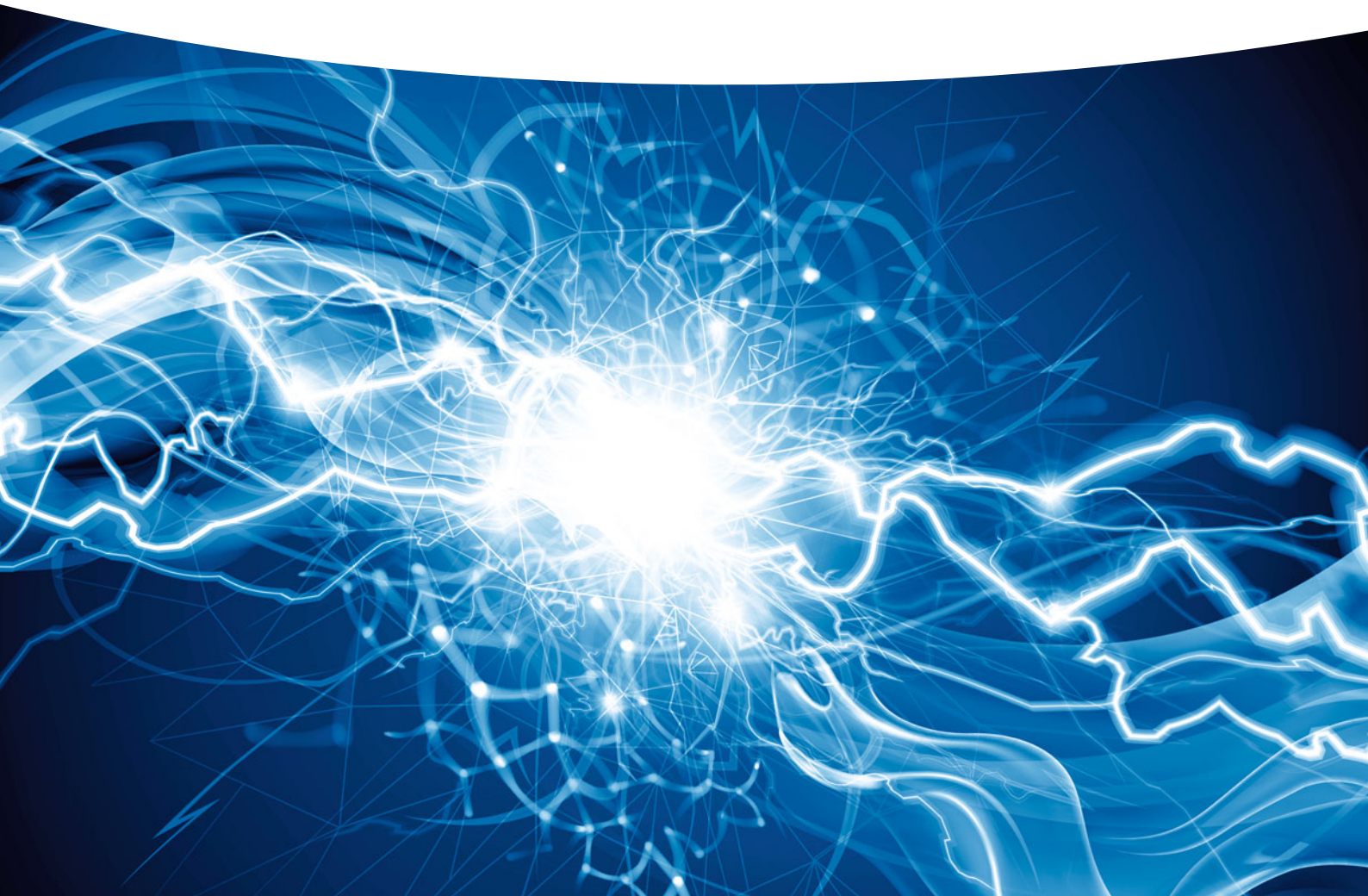
David Halliday, Robert Resnick und Jearl Walker

Arbeitsbuch

Halliday Physik

Übersetzung herausgegeben von Stephan W. Koch

Lösungen zu den Aufgaben der 3. Auflage



Arbeitsbuch Halliday Physik

3. Auflage

Arbeitsbuch Halliday Physik

David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker und J. Richard Christman

Herausgeber der deutschen Übersetzung

Stephan W. Koch
Universität Marburg

Lösungen zu den Aufgaben der dritten Auflage

WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA

Der Übersetzungsherausgeber

Stephan W. Koch
Philipps-Universität Marburg
Fachbereich Physik
Renthof 6
35032 Marburg

Die Übersetzer

Michael Bär, Wiesloch
Matthias Delbrück, Dossenheim

Titel der Orginalausgabe

Student Solutions Manual for Fundamentals of Physics, 10th Edition, 978-1-118-23066-4, by David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, and J. Richard Christman.
Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc.
All Right Reserved. This translation published under license with the original publisher John Wiley & Sons, Inc.

1. Auflage © 2003 Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA
2. Auflage © 2009 Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA

Titelbild
Adelevin/Stock-Illustration-ID: 480952174

3. Auflage 2018

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Library of Congress Card No.:
applied for

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© 2018 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Umschlaggestaltung Formgeber, Mannheim, Deutschland
Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig, Deutschland

Print ISBN 978-3-527-41357-7
ePDF ISBN 978-3-527-81255-4
ePub ISBN 978-3-527-81257-8
Mobi ISBN 978-3-527-81256-1

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Inhaltsverzeichnis

1	Messung und Maßeinheiten	**1**
2	Geradlinige Bewegung	**9**
3	Vektoren	**31**
4	Bewegung in zwei und drei Dimensionen	**47**
5	Kraft und Bewegung – I	**69**
6	Kraft und Bewegung – II	**85**
7	Kinetische Energie und Arbeit	**107**
8	Potenzielle Energie und Energieerhaltung	**123**
9	Systeme von Teilchen	**149**
10	Die Rotation ausgedehnter Körper	**175**
11	Rollbewegung, Drehmoment und Drehimpuls	**195**
12	Gleichgewicht und Elastizität	**219**
13	Gravitation	**239**
14	Fluide	**257**
15	Schwingungen	**273**
16	Wellen – I	**291**
17	Wellen – II	**309**
18	Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik	**323**
19	Die kinetische Gastheorie	**341**
20	Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	**357**
21	Elektrische Ladung	**379**
22	Elektrische Felder	**393**
23	Der Gaußsche Satz	**411**
24	Das elektrische Potenzial	**427**
25	Kapazität	**443**
26	Elektrischer Strom und Widerstand	**457**
27	Stromkreise	**471**
28	Magnetfelder	**489**
29	Magnetfelder aufgrund von Strömen	**503**
30	Induktion und Induktivität	**519**
31	Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom	**539**
32	Magnetismus und Materie	**559**
33	Elektromagnetische Wellen	**575**
34	Abbildungen	**593**
35	Interferenz	**607**
36	Beugung	**623**
37	Relativitätstheorie	**637**
38	Photonen und Materiewellen	**655**
39	Mehr über Materiewellen	**677**
40	Atome	**697**
41	Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern	**713**
42	Kernphysik	**729**
43	Kernenergie	**749**
44	Quarks, Leptonen und der Urknall	**763**

1 Messung und Maßeinheiten

1.1 Die Einheitenvorsätze Mikro (μ), Nano, Piko, … finden Sie in Tab. 1.2.

(a) Da $1\,\text{km} = 1 \cdot 10^3\,\text{m}$ und $1\,\text{m} = 1 \cdot 10^6\,\mu\text{m}$ sind, gilt

$$1\,\text{km} = 10^3\,\text{m} = (10^3\,\text{m})\,(10^6\,\mu\text{m/m}) = 10^9\,\mu\text{m}\,.$$

Der gegebene Messwert ist 1,0 km (zwei signifikante Stellen), woraus folgt, dass unser Ergebnis als $1{,}0 \cdot 10^9\,\mu\text{m}$ geschrieben werden sollte.

(b) Wir berechnen die Anzahl der Mikrometer in 1 Zentimeter. Da $1\,\text{cm} = 10^{-2}\,\text{m}$ sind, gilt

$$1\,\text{cm} = 10^{-2}\,\text{m} = (10^{-2}\,\text{m})\,(10^6\,\mu\text{m/m}) = 10^4\,\mu\text{m}\,.$$

Wir schließen, dass der Bruchteil eines Zentimeters, der 1,0 μm entspricht, $1{,}0 \cdot 10^{-4}$ ist.

(c) Da $1\,\text{yd} = (3\,\text{ft})\,(0{,}3048\,\text{m/ft}) = 0{,}9144\,\text{m}$ ist, gilt

$$1{,}0\,\text{yd} = (0{,}91\,\text{m})\,(10^6\,\mu\text{m/m}) = 9{,}1 \cdot 10^5\,\mu\text{m}\,.$$

1.2 Der Kunde erwartet ein Volumen $V_1 = 20 \cdot 7056\,\text{in}^3$, erhält aber nur ein Volumen $V_2 = 20 \cdot 5826\,\text{in}^3$. Der Unterschied beträgt also

$$\Delta V = V_1 - V_2 = 24\,600\,\text{in}^3 \quad \Rightarrow \quad \Delta V = (24\,600\,\text{in}^3)\left(\frac{2{,}54\,\text{cm}}{1\,\text{in}}\right)^3\left(\frac{1\,\text{L}}{1000\,\text{cm}^3}\right) = 403\,\text{L}\,.$$

1.3 **STARTPUNKT** Diese Aufgabe befasst sich mit der Umrechnung alter Längeneinheiten wie Furlong, Rod und Chain.

ANSATZ Wegen 1 Furlong = 201,168 m, 1 Rod = 5,0292 m und 1 Chain = 20,117 m sind die benötigten Umrechnungsfaktoren

$$1{,}0\,\text{Furlong} = 201{,}168\,\text{m} = (201{,}168\,\cancel{\text{m}})\frac{1\,\text{Rod}}{5{,}0292\,\cancel{\text{m}}} = 40\,\text{Rod}$$

sowie

$$1{,}0\,\text{Furlong} = 201{,}168\,\text{m} = (201{,}168\,\cancel{\text{m}})\frac{1\,\text{Chain}}{20{,}117\,\cancel{\text{m}}} = 10\,\text{Chain}\,.$$

Die unerwünschte Einheit Meter kürzt sich wie geplant heraus.

RECHNUNG Mit diesen Umrechnungsfaktoren erhalten wir

(a) für den Abstand d in Rod

$$d = 4{,}0\,\text{Furlong} = \frac{(4{,}0\,\text{Furlong})\,(201{,}168\,\text{m/Furlong})}{5{,}0292\,\text{m/Rod}} = 160\,\text{Rod}$$

(b) und in Chain

$$d = \frac{(4{,}0\,\text{Furlong})\,(201{,}168\,\text{m/Furlong})}{20{,}17\,\text{m/Chain}} = 40\,\text{Chain}\,.$$

AUFGEPASST Da 4 Furlong etwa 800 m entsprechen und 1 Rod ungefähr 5 m lang ist, ist unser Ergebnis von ca. 160 Rod plausibel. Dasselbe gilt für das Resultat von 40 Chain (1 Chain ≈ 20 m).

Arbeitsbuch Halliday Physik, 3. Auflage. David Halliday et al.
© 2018 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Published 2018 by WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

1.4 (a) Mit der Beziehung 12 Punkt = 1 Pica folgt

$$0{,}80\,\text{cm} = (0{,}80\,\text{cm})\left(\frac{1\,\text{Inch}}{2{,}54\,\text{cm}}\right)\left(\frac{6\,\text{Pica}}{1\,\text{Inch}}\right)\left(\frac{12\,\text{Punkt}}{1\,\text{Pica}}\right) \approx 23\,\text{Punkt}\,.$$

(b) Mit den Umrechnungsfaktoren 1 Inch = 2,54 cm und 6 Pica = 1 Inch erhalten wir

$$0{,}80\,\text{cm} = (0{,}80\,\text{cm})\left(\frac{1\,\text{Inch}}{2{,}54\,\text{cm}}\right)\left(\frac{6\,\text{Pica}}{1\,\text{Inch}}\right) \approx 1{,}9\,\text{Pica}\,.$$

1.5 **STARTPUNKT** Gegeben ist der Radius der Erde; wir sollen daraus ihren Umfang, ihre Oberfläche und ihr Volumen berechnen.

ANSATZ Wir gehen von einer Kugelform der Erde aus; ihr Radius beträgt

$$R_\text{E} = (6{,}37\cdot 10^6\,\text{m})\,(10^{-3}\,\text{km/m}) = 6{,}37\cdot 10^3\,\text{km}\,.$$

Entsprechend betragen ihr Umfang, ihre Oberfläche und ihr Volumen

$$U = 2\pi R_\text{E}\,,\quad A = 4\pi R_\text{E}^2\,,\quad V = \frac{4\pi}{3}R_\text{E}^3\,.$$

Diese geometrischen Formeln finden Sie in Anhang D.

RECHNUNG

(a) Mit den angegebenen Formeln erhalten wir für den Umfang

$$U = 2\pi R_\text{E} = 2\pi(6{,}37\cdot 10^3\,\text{km}) = 4{,}00\cdot 10^4\,\text{km}\,.$$

(b) Entsprechend ist die Oberfläche

$$A = 4\pi R_\text{E}^2 = 4\pi(6{,}37\cdot 10^3\,\text{km})^2 = 5{,}10\cdot 10^8\,\text{km}^2\,.$$

(c) Das Volumen beträgt

$$V = \frac{4\pi}{3}R_\text{E}^3 = \frac{4\pi}{3}(6{,}37\cdot 10^3\,\text{km})^3 = 1{,}08\cdot 10^{12}\,\text{km}^3\,.$$

AUFGEPASST Aus den angegebenen Formeln sehen wir, dass $U \propto R_\text{E}$, $A \propto R_\text{E}^2$ und $V \propto R_\text{E}^3$ ist. Für das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche bzw. Oberfläche zu Umfang gilt $V/A = R_\text{E}/3$ und $A/U = 2R_\text{E}$.

1.6 (a) Wir verwenden die Tatsache, dass die Fläche A eines Rechtecks sich aus (Länge) · (Breite) berechnet und bestimmen zunächst die Gesamtfläche

$$\begin{aligned} A_\text{gesamt} &= (3{,}00\,\text{Acre}) + (25{,}0\,\text{Perch})\,(4{,}00\,\text{Perch}) \\ &= (3{,}00\,\text{Acre})\left(\frac{(40\,\text{Perch})\,(4\,\text{Perch})}{1\,\text{Acre}}\right) + 100\,\text{Perch}^2 = 580\,\text{Perch}^2\,. \end{aligned}$$

Dies multiplizieren wir mit dem Umrechnungsfaktor von Perch^2 zu Rood (1 Rood/40 Perch^2) und erhalten als Antwort $A_\text{gesamt} = 14{,}5$ Rood.

(b) Nun wandeln wir unser Zwischenergebnis aus (a) um:

$$A_\text{gesamt} = (580\,\text{Perch}^2)\left(\frac{16{,}5\,\text{ft}}{1\,\text{Perch}}\right)^2 = 1{,}58\cdot 10^5\,\text{ft}^2\,.$$

Dieses Resultat wandeln wir mithilfe der Beziehungen aus Anhang D von Fuß in Meter um:

$$A_\text{gesamt} = (1{,}58\cdot 10^5\,\text{ft}^2)\left(\frac{1\,\text{m}}{3{,}281\,\text{ft}}\right)^2 = 1{,}47\cdot 10^4\,\text{m}^2\,.$$

1.7 Das Volumen des Eises ist das Produkt der Fläche A des Halbkreises und der Dicke des Halbkreises. Die Fläche A ist die halbe Fläche eines Kreises mit Radius R, also $A = \pi R^2/2$. Wenn wir mit D die Dicke des Eises bezeichnen, beträgt sein Volumen V also

$$V = \frac{\pi}{2} R^2 D \, .$$

Nun drücken wir alle Größen in der Einheit cm aus:

$$R = (2000\,\mathrm{km}) \left(\frac{10^3\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{km}} \right) \left(\frac{10^2\,\mathrm{cm}}{1\,\mathrm{m}} \right) = 2000 \cdot 10^5\,\mathrm{cm} \, .$$

und

$$D = (3000\,\mathrm{m}) \left(\frac{10^2\,\mathrm{cm}}{1\,\mathrm{m}} \right) = 3000 \cdot 10^2\,\mathrm{cm} \, .$$

Wir erhalten also

$$V = \frac{\pi}{2} (2000 \cdot 10^5\,\mathrm{cm})^2 (3000 \cdot 10^2\,\mathrm{cm}) = 1{,}9 \cdot 10^{22}\,\mathrm{cm}^3 \, .$$

1.8 Das Gesamtvolumen V des realen Hauses ist das eines Dreiecksprismas (der Höhe $h = 3{,}0\,\mathrm{m}$ und der Grundfläche $A = 20\,\mathrm{m} \cdot 12\,\mathrm{m} = 240\,\mathrm{m}^2$) plus dem eines Quaders (der Höhe $h' = 6{,}0\,\mathrm{m}$ und derselben Grundfläche), also

$$V = \frac{1}{2} hA + h'A = \left(\frac{h}{2} + h' \right) A = 1800\,\mathrm{m}^3 \, .$$

(a) In dem Puppenhaus ist jede Dimension um den Faktor 1/12 verkleinert, folglich gilt

$$V_{\text{Puppenhaus}} = (1800\,\mathrm{m}^3) \left(\frac{1}{12} \right)^3 \approx 1{,}0\,\mathrm{m}^3 \, .$$

(b) In diesem Fall ist jede Dimension um den Faktor 1/144 verkleinert (gegenüber dem realen Haus), daher ist nun

$$V_{\text{Miniatur}} = (1800\,\mathrm{m}^3) \left(\frac{1}{144} \right)^3 \approx 6{,}0 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}^3 \, .$$

1.9 Wir verwenden die in Anhang D gefundenen Umrechnungsfaktoren.

$$1\,\mathrm{Acre} \cdot \mathrm{ft} = (43{,}560\,\mathrm{ft}^2) \cdot \mathrm{ft} = 43{,}560\,\mathrm{ft}^3 \, .$$

Da $2\,\mathrm{in} = (1/6)\,\mathrm{ft}$ sind, beträgt das Volumen des Wassers, das während des Gewitters fiel,

$$V = (26\,\mathrm{km}^2) \left(\frac{1}{6}\,\mathrm{ft} \right) = (26\,\mathrm{km}^2)\,(3281\,\mathrm{ft/km})^2 \left(\frac{1}{6}\,\mathrm{ft} \right) = 4{,}66 \cdot 10^7\,\mathrm{ft}^3 \, .$$

Also haben wir

$$V = \frac{4{,}66 \cdot 10^7\,\mathrm{ft}^3}{4{,}3560 \cdot 10^4\,\mathrm{ft}^3/\mathrm{Acre} \cdot \mathrm{ft}} = 1{,}1 \cdot 10^3\,\mathrm{Acre} \cdot \mathrm{ft} \, .$$

1.10 Die Einheitenvorsätze Mikro (μ), Nano, Piko, … finden Sie in Tab. 1.2. Das Einheitenzeichen „a“ steht für ein Jahr (lateinisch annus), „d“ für Tag (lateinisch dies, englisch day).

(a)

$$1\,\mu\mathrm{Jhd.} = (10^{-6}\,\mathrm{Jhd.}) \left(\frac{100\,\mathrm{a}}{1\,\mathrm{Jhd.}} \right) \left(\frac{365\,\mathrm{d}}{1\,\mathrm{a}} \right) \left(\frac{24\,\mathrm{h}}{1\,\mathrm{d}} \right) \left(\frac{60\,\mathrm{min}}{1\,\mathrm{h}} \right) = 52{,}6\,\mathrm{min} \, .$$

(b) Die prozentuale Abweichung ist folglich

$$\frac{52{,}6\,\mathrm{min} - 50\,\mathrm{min}}{52{,}6\,\mathrm{min}} = 4{,}9\,\% \, .$$

1.11 Wir verwenden die in Anhang D gefundenen Umrechnungsfaktoren und die Definitionen der SI-Einheitenvorsätze aus Tab. 1.2. Dabei steht „ns“ für die Einheit Nanosekunden, „ps“ für die Einheit Pikosekunden usw.

(a) $1\,\mathrm{m} = 3{,}281\,\mathrm{ft}$ und $1\,\mathrm{s} = 10^9\,\mathrm{ns}$. Also haben wir

$$3{,}0 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s} = \left(\frac{3{,}0 \cdot 10^8\,\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)\left(\frac{3{,}281\,\mathrm{ft}}{\mathrm{m}}\right)\left(\frac{\mathrm{s}}{10^9\,\mathrm{ns}}\right) = 0{,}98\,\mathrm{ft/ns}\,.$$

(b) Verwenden wir $1\,\mathrm{m} = 10^3\,\mathrm{mm}$ und $1\,\mathrm{s} = 10^{12}\,\mathrm{ps}$, so erhalten wir

$$3{,}0 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s} = \left(\frac{3{,}0 \cdot 10^8\,\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)\left(\frac{10^3\,\mathrm{mm}}{\mathrm{m}}\right)\left(\frac{\mathrm{s}}{10^{12}\,\mathrm{ps}}\right) = 0{,}30\,\mathrm{mm/ps}\,.$$

1.12 Ein Jahr enthält $3{,}156 \cdot 10^7$ Sekunden, was einerseits in Anhang D angegeben ist, sich andererseits aber auch einfach aus

$$\left(\frac{365{,}25\,\mathrm{d}}{1\,\mathrm{a}}\right)\left(\frac{24\,\mathrm{h}}{1\,\mathrm{d}}\right)\left(\frac{60\,\mathrm{min}}{1\,\mathrm{h}}\right)\left(\frac{60\,\mathrm{s}}{1\,\mathrm{min}}\right)$$

berechnen lässt.

(a) Eine Sekunde enthält 10^8 Shakes, also tatsächlich mehr, als ein Jahr Sekunden hat.

(b) Wenn wir das Alter des Universums als 1 U-Tag (oder 86 400 U-Sekunden) bezeichnen, dann gilt für die Zeitspanne seit der Entstehung des Menschen

$$\frac{10^6}{10^{10}} = 10^{-4}\,\text{U-Tage} \quad \Rightarrow \quad (10^{-4}\,\text{U-Tag})\left(\frac{86\,400\,\text{U-Sek.}}{1\,\text{U-Tag}}\right) = 8{,}6\,\text{U-Sek.}$$

1.13 **STARTPUNKT** In dieser Aufgabe sollen wir fünf Uhren im Hinblick auf ihre Eignung als Zeitmesser beurteilen.

ANSATZ Keine der Uhren läuft innerhalb von 24 h exakt 24 h weiter, aber das ist nicht das wichtigste Kriterium, um ihre Eignung für die Messung von Zeitintervallen zu beurteilen. Wichtiger ist, dass die Uhr in jedem 24-h-Intervall um (nahezu) denselben Betrag weiterläuft. Die abgelesene Zeit kann dann leicht angepasst werden, um das korrekte Intervall zu erhalten.

RECHNUNG Die folgende Tabelle gibt die Korrekturen (in Sekunden) an, die für jede Uhr in jedem 24-h-Intervall auf die angezeigte Zeit angewandt werden müssen. Die Einträge wurden ermittelt, indem die am Ende des Intervalls angezeigte Zeit von der zum Beginn subtrahiert wurde.

Uhr	So–Mo	Mo–Di	Di–Mi	Mi–Do	Do–Fr	Fr–Sa
A	−16	−16	−15	−17	−15	−15
B	−3	+5	−10	+5	+6	−7
C	−58	−58	−58	−58	−58	−58
D	+67	+67	+67	+67	+67	+67
E	+70	+55	+2	+20	+10	+10

Die Uhren C und D sind beide gute Zeitmesser in dem Sinn, dass jede bei ihrer täglichen Abweichung (bezüglich der Referenz-Zeitanzeige) konsistent ist; also können C und D leicht mit einfachen und vorhersagbaren Korrekturen „perfekt“ gemacht werden. Die Korrektur für Uhr C ist kleiner als die für Uhr D, daher bewerten wir Uhr C als beste und Uhr D als zweitbeste.

Die Korrektur, die auf Uhr A angewandt werden muss, liegt im Bereich von 15 bis 17 s. Für Uhr B liegt sie im Bereich von −5 bis +10 s, für Uhr E im Bereich von −70 bis −2 s. Nach C und D besitzt A den kleinsten Korrekturbereich, B den zweitkleinsten und E den größten. Von der besten zur schlechtesten Uhr lautet die Reihenfolge C, D, A, B, E.

AUFGEPASST Bei den Uhren A, B und E variieren die Abweichungen in verschiedenen 24-h-Intervallen völlig unsystematisch, was eine Korrektur schwierig macht.

1.14 Die auf einer beliebigen der Uhren angezeigte Zeit ist eine lineare Funktion der auf den anderen Uhren angezeigten Zeiten, wobei die Steigungen dieser Geraden $\neq 1$ und ihre y-Achsenabschnitte $\neq 0$ sind. Aus den in der Abbildung gezeigten Daten entnehmen wir

$$t_C = \frac{2}{7}t_B + \frac{594}{7}\,, \quad t_B = \frac{33}{40}t_A - \frac{662}{5}\,.$$

Mit diesen Beziehungen können wir die Fragen beantworten.

(a) Für $t'_A - t_A = 600\,\text{s}$ gilt

$$t'_B - t_B = \frac{33}{40}(t'_A - t_A) = 495\,\text{s}\,.$$

(b) Wir erhalten

$$t'_C - t_C = \frac{2}{7}(t'_B - t_B) = \frac{2}{7}(495\,\text{s}) = 141\,\text{s}\,.$$

(c) Wenn Uhr A $t_A = 400\,\text{s}$ anzeigt, zeigt Uhr B $t_B = (33/40)\,(400) - (662/5) \approx 198\,\text{s}$.

(d) Mit $t_C = 15 = (2/7)t_B + (594/7)$ erhalten wir $t_B \approx -245\,\text{s}$.

1.15 **STARTPUNKT** Für diese Aufgabe müssen wir die Lichtgeschwindigkeit in astronomischen Einheiten pro Minute ausdrücken.

ANSATZ Zuerst rechnen wir Meter in astronomische Einheiten und Sekunden in Minuten um. Dabei benutzen wir

$$1000\,\text{m} = 1\,\text{km}\,,$$
$$1\,\text{AE} = 1{,}50 \cdot 10^8\,\text{km}\,,$$
$$60\,\text{s} = 1\,\text{min}\,.$$

RECHNUNG Mit den angegebenen Beziehungen erhalten wir

$$c = 3{,}0 \cdot 10^8\,\text{m/s} = \left(\frac{3{,}0 \cdot 10^8\,\text{m}}{\text{s}}\right)\left(\frac{1\,\text{km}}{1000\,\text{m}}\right)\left(\frac{\text{AE}}{1{,}50 \cdot 10^8\,\text{km}}\right)\left(\frac{60\,\text{s}}{\text{min}}\right) = 0{,}12\,\text{AE/min}\,.$$

AUFGEPASST Wenn wir die Lichtgeschwindigkeit wie hier in AE/min ausdrücken, sehen wir sofort, dass das Licht etwa 8,3 (= 1/0,12) Minuten braucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, d. h. eine Entfernung von 1 AE zurückzulegen.

1.16 Da eine Änderung des Längengrads um 360° einer Zeitverschiebung um 24 Stunden entspricht, muss man seine Uhr erst dann um 1,0 h verstellen, wenn man seine geografische Länge um $360°/24\,\text{h} = 15°$ verändert hat.

1.17 Der letzte Tag der 20 Jahrhunderte ist um folgenden Wert länger als der erste Tag:

$$(20\,\text{Jhd.})\,(0{,}001\,\text{s/Jhd.}) = 0{,}02\,\text{s}\,.$$

Der durchschnittliche Tag während der 20 Jahrhunderte ist $(0 + 0{,}02)/2 = 0{,}01\,\text{s}$ länger als der erste Tag. Da die Zunahme gleichmäßig geschieht, ist der kumulative Effekt T:

$$T = (\text{mittlere Längenzunahme eines Tages})\,(\text{Zahl der Tage})$$
$$\left(\frac{0{,}01\,\text{s}}{1\,\text{d}}\right)\left(\frac{365{,}25\,\text{d}}{1\,\text{a}}\right)(2000\,\text{a}) = 7305\,\text{s} \approx 2\,\text{h}\,.$$

1.18 Für die Rotationsgeschwindigkeit f (für Frequenz) des Pulsars gilt

$$f = \frac{1\,\text{Rotation}}{1{,}557\,806\,448\,872\,75 \cdot 10^{-3}\,\text{s}}\,.$$

(a) Die Zahl der Rotationen erhalten wir, indem wir f mit dem Zeitintervall $t = 7{,}00\,\text{d}$ (entsprechend 604 800 s, wenn wir Überlegungen zur Zahl der *signifikanten Stellen* für den Moment außer Acht lassen) multiplizieren:

$$N = \left(\frac{1\,\text{Rotation}}{1{,}557\,806\,448\,872\,75 \cdot 10^{-3}\,\text{s}}\right)(604\,800\,\text{s}) = 388\,238\,218{,}4\,.$$

Diesen Wert runden wir jetzt auf $3{,}88 \cdot 10^8$ Rotationen, da auch das Zeitintervall in der Aufgabe nur mit drei signifikanten Stellen angegeben war.

(b) Die Aufgabenstellung gibt eine *exakte* Zahl von Rotationen des Pulsars an (eine Million). Die Unbekannte ist nun t und die Gleichung der Form $N = ft$ aus Teil (a) lautet daher

$$1 \cdot 10^6 = \left(\frac{1 \text{ Rotation}}{1{,}557\,806\,448\,872\,75 \cdot 10^{-3} \text{ s}} \right) \cdot t \,,$$

woraus wir das Resultat $t = 1557{,}806\,448\,872\,75$ s bekommen (obwohl Sie vermutlich weniger Stellen erhalten werden, wenn Sie die Werte in Ihren Taschenrechner eingeben).

(c) Die Angabe in der Aufgabenstellung bedeutet, dass die Zeitungenauigkeit *pro Umdrehung* des Pulsars $\pm 3 \cdot 10^{-17}$ s beträgt. Für eine Million Umdrehungen ist die resultierende Ungenauigkeit folglich

$$(\pm 3 \cdot 10^{-17})(1 \cdot 10^6) = \pm 3 \cdot 10^{-11} \text{ s} \,.$$

1.19 Wenn M_E die Masse der Erde, m die durchschnittliche Masse eines Atoms in der Erde und N die Anzahl der Atome bezeichnet, dann ist $M_\text{E} = Nm$ bzw. $N = M_\text{E}/m$. Unter Verwendung von Anhang D wandeln wir die Masse m in Kilogramm um ($1 \text{ u} = 1{,}661 \cdot 10^{-27}$ kg). Also ergibt sich

$$N = \frac{M_\text{E}}{m} = \frac{5{,}98 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(40 \text{ u})(1{,}661 \cdot 10^{-27} \text{ kg/u})} = 9{,}0 \cdot 10^{49} \,.$$

1.20 Die Dichte von Gold beträgt

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{19{,}32 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} = 19{,}32 \text{ g/cm}^3 \,.$$

(a) Das Volumen des Blatts berechnen wir aus seiner Fläche A multipliziert mit seiner Dicke z. Mit der Dichte $\rho = 19{,}32 \text{ g/cm}^3$ und der Masse $m = 27{,}63$ g erhalten wir für das Volumen

$$V = \frac{m}{\rho} = 1{,}430 \text{ cm}^3 \,.$$

Dieses Ergebnis rechnen wir in SI-Einheiten um:

$$V = (1{,}430 \text{ cm}^3) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^3 = 1{,}430 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \,.$$

Mit $V = Az$ und $z = 1 \cdot 10^{-6}$ m (die Einheitenvorsätze finden sich in Tab. 1.2) erhalten wir so

$$A = \frac{1{,}430 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 1{,}430 \text{ m}^2 \,.$$

(b) Das Volumen eines Zylinders der Länge ℓ ist $V = A\ell$, wobei seine Querschnittsfläche die eines Kreises ist: $A = \pi r^2$. Daher ergibt sich mit $r = 2{,}500 \cdot 10^{-6}$ m und $V = 1{,}430 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

$$\ell = \frac{V}{\pi r^2} = 7{,}284 \cdot 10^4 \text{ m} = 72{,}84 \text{ km} \,.$$

1.21 **STARTPUNKT** Diese Aufgabe besteht aus zwei Teilen: Zuerst müssen wir die Masse des Wassers aus seinem Volumen und seiner Dichte bestimmen. Der zweite Teil befasst sich mit dem Massenstrom des Wassers, der im SI in der Einheit kg/s ausgedrückt wird.

ANSATZ Aus der Definition der Dichte, $\rho = m/V$, erkennen wir, dass wir die Masse des Wassers aus $m = \rho V$ berechnen können, dem Produkt aus Volumen und Dichte. Mit $1 \text{ g} = 1 \cdot 10^{-3}$ kg und $1 \text{ cm}^3 = (1 \cdot 10^{-2} \text{ m})^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ erhalten wir für die Dichte des Wassers in SI-Einheiten (kg/m^3)

$$\rho = 1 \text{ g/cm}^3 = \left(\frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3} \right) \left(\frac{10^{-3} \text{ kg}}{\text{g}} \right) \left(\frac{\text{cm}^3}{10^{-6} \text{ m}^3} \right) = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \,.$$

Um den Massenstrom zu erhalten, dividieren wir einfach die Gesamtmasse des Wassers durch die Zeit, die zur Entleerung des Behälters nötig ist.

RECHNUNG

(a) Mit $m = \rho V$ erhalten wir für die Masse eines Kubikmeters Wasser

$$m = \rho V = (1 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3})\,(1\,\mathrm{m^3}) = 1000\,\mathrm{kg}\,.$$

(b) Die Gesamtmasse des Wassers im Behälter ist

$$M = \rho V = (5700\,\mathrm{m^3})\,(1 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3}) = 5{,}70 \cdot 10^6\,\mathrm{kg}\,.$$

Die Zeit ist $t = (10\,\mathrm{h})\,(3600\,\mathrm{s/h}) = 3{,}6 \cdot 10^4\,\mathrm{s}$, also ist der *Massenstrom R*

$$R = \frac{M}{t} = \frac{5{,}70 \cdot 10^6\,\mathrm{kg}}{3{,}6 \cdot 10^4\,\mathrm{s}} = 158\,\mathrm{kg/s}\,.$$

AUFGEPASST Die Entleerungsgeschwindigkeit kann auch als Funktion des Volumens ausgedrückt werden

$$R' = \frac{V}{t} = \frac{5700\,\mathrm{m^3}}{3{,}6 \cdot 10^4\,\mathrm{s}} = 0{,}158\,\mathrm{m^3/s}\,.$$

1.22 Das Volumen des Niederschlags ist

$$\begin{aligned} V &= (26\,\mathrm{km^2})\,(2{,}0\,\mathrm{in}) = (26\,\mathrm{km^2})\left(\frac{1000\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{km}}\right)^2 (2{,}0\,\mathrm{in})\left(\frac{0{,}0254\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{in}}\right) \\ &= (26 \cdot 10^6\,\mathrm{m^2})\,(0{,}0508\,\mathrm{m}) \\ &= 1{,}3 \cdot 10^6\,\mathrm{m^3}\,. \end{aligned}$$

Die Dichte des Wassers ist

$$\rho = \frac{m}{V} = 1 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3}\,.$$

Folglich beträgt gemäß $m = \rho V$ die Masse des Wassers

$$m = (1 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3})\,(1{,}3 \cdot 10^6\,\mathrm{m^3}) = 1{,}3 \cdot 10^9\,\mathrm{kg}\,.$$

1.23 Wir verwenden die Definition der Dichte

$$\rho = \frac{m}{V}$$

und wandeln in SI-Einheiten um: $1000\,\mathrm{g} = 1\,\mathrm{kg}$ und $100\,\mathrm{cm} = 1\,\mathrm{m}$.

(a) Die Dichte ρ einer Eisenprobe ist daher

$$\rho = (7{,}87\,\mathrm{g/cm^3})\left(\frac{1\,\mathrm{kg}}{1000\,\mathrm{g}}\right)\left(\frac{100\,\mathrm{cm}}{1\,\mathrm{m}}\right)^3\,,$$

was $\rho = 7870\,\mathrm{kg/m^3}$ liefert. Wenn wir die Zwischenräume zwischen den dicht gepackten Kugeln vernachlässigen, dann ist die Dichte eines einzelnen Eisenatoms die gleiche wie die einer Eisenprobe. Das heißt, wenn M die Masse eines Atoms ist, ist dessen Volumen

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{9{,}27 \cdot 10^{-26}\,\mathrm{kg}}{7{,}87 \cdot 10^3\,\mathrm{kg/m^3}} = 1{,}18 \cdot 10^{-29}\,\mathrm{m^3}\,.$$

(b) Wir setzen $V = 4\pi R^3/3$, wobei R der Radius (Anhang D enthält verschiedene geometrische Formeln) eines Atoms ist. Lösen wir nach R auf, erhalten wir

$$R = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{1/3} = \left(\frac{3(1{,}18 \cdot 10^{-29}\,\mathrm{m^3})}{4\pi}\right)^{1/3} = 1{,}41 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{m}\,.$$

Der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Atome ist das Doppelte ihres Radius also $2{,}82 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{m}$.