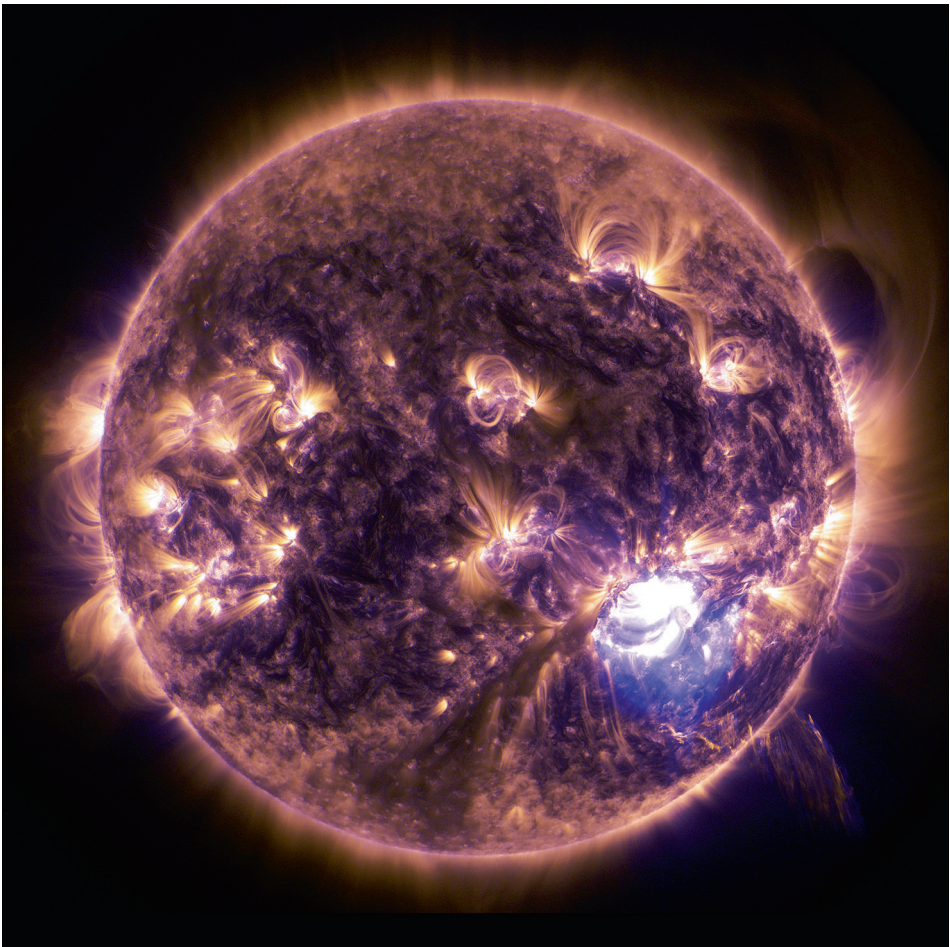


Die Sonne – unser Stern am Himmel

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017

A. M. Quetz, S. Völker, *Zum Nachdenken: Unser Sonnensystem*, https://doi.org/10.1007/978-3-662-55148-6_2



Die Aufnahme des NASA-Satelliten Solar Dynamics Observatory vom 20. Dezember 2014 zeigt unsere Sonne im extremen ultravioletten Licht (EUV). Es stammt vom heißen Plasma der unteren Korona. Helle, aktive Regionen kontrastieren mit dunklen Gebieten, den so genannten koronalen Löchern. Quelle: NASA/SDO

Auf einen Blick – unsere Sonne

Als Zentralgestirn hat die Sonne eine besondere Bedeutung für uns Menschen. Sie ist der weitaus hellste Körper am Himmel (siehe Aufgaben 44 und 46). Mit großem Abstand erst folgt unser Mond. Sie ist auch das größte Objekt im Sonnensystem. Ihr Durchmesser bleibt während des größten Teils des normalen Fusionsbrennens auf der so genannten Hauptreihe im Hertzsprung-Russell-Diagramm (siehe Band 2) unverändert. Sie ist klein im Vergleich zu Hauptreihensternen großer Masse wie Alkione (8-facher Sonnendurchmesser) in den Plejaden und Capella ($11 D_{\odot}$) im Sternbild Fuhrmann. Sie erscheint winzig im Vergleich zu Deneb (100 bis 200 D_{\odot}), einem Stern vom Typ Leuchtkräftiger Blauer Veränderlicher (LBV) im Sternbild Schwan, und dem Veränderlichen Mira (300 bis 400 D_{\odot}) im Sternbild Walfisch. Der Vergleich mit einem Roten Überriesen wie Beteigeuze schließlich (1000 bis 1200 D_{\odot}), dem Schulterstern des Himmelsjägers Orion, macht die Bezeichnung Zwergstern für unsere Sonne verständlich.

Während im Inneren der Sonne wegen des großen Drucks der darauf lastenden Materie die Fusion von Wasserstoff zu Helium möglich ist und eine Temperatur von rund 15,6 Millionen Kelvin herrscht, hat die Photosphäre, die sichtbare Oberfläche der Sonne, eine Temperatur von „nur“ rund 5800 K (etwa 5500 °C) (siehe Aufgaben 45, 51 und 52). Oberhalb der Photosphäre liegt die Chromosphäre, in der Temperaturen bis 35 000 K vorkommen. Materie mit solchen Temperaturen ist ionisiert. Dieser Zustand wird Plasma genannt. Solches Plasma fließt in den Sonnenprotuberanzen entlang von starken Magnetfeldlinien des solaren Magnetfelds, das über einem Sonnenfleckenpaar geschlossene Bögen aufbaut (siehe Aufgaben 53, 50).

Wichtige Daten zur Sonne

– Radius	$R_{\odot} = 6,96342 \cdot 10^5 \text{ km}$
– Masse	$M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
– Temperatur	$T_{\odot} = 5778 \text{ K}$
– Leuchtkraft	$L_{\odot} = 3,846 \cdot 10^{26} \text{ W}$
– Spektraltyp	G2 V
– Absolute Helligkeit	$M_{\odot} = 4,83 \text{ mag}$
– Scheinbare Helligkeit	$m_{\odot} = -26,74 \text{ mag}$

2.1 Das Licht der Sonne**Aufgabe 44 – Wie hell ist die Sonne?**

Das hellste Objekt am Tageshimmel ist unsere Sonne, von der Erde etwa 150 000 000 km entfernt. Ihr scheinbarer Durchmesser von ca. 32' sorgt im Zusammenspiel mit dem ähnlich groß erscheinenden Mond gelegentlich für jene spektakulär anzusehenden Sonnenfinsternisse, die manchmal ringförmig und manchmal total ausfallen. Die Helligkeit der Sonne im für das Auge sichtbaren Licht wird im Einheitensystem der Astronomen zu $m_{\odot} = -26,74 \text{ mag}$ angegeben. Das spektrale Helligkeitsmaximum unserer Sonne liegt ebenso wie bei allen anderen G2V-Sternen im grünen Teil des elektromagnetischen Spektrums bei 500 nm, einer Tempe-

ratur von etwa 5770 K entsprechend. Auf Grund der Entwicklungsgeschichte der Menschheit ist die spektrale Empfindlichkeit des Auges an das Strahlungsmaximum der Sonne optimal angepasst – schließlich sind wir unter ihrem Schein groß geworden.

? A 44.1

Berechnen Sie die maximale Entfernung, aus welcher man die Sonne noch mit bloßem Auge entdecken könnte! Das durchschnittliche Auge soll dabei gerade noch Sternchen der sechsten Größe ($m_G = 6 \text{ mag}$) wahrnehmen können. Geben Sie das Ergebnis sowohl in Parsec ($1 \text{ pc} = 1 \text{ AE} / \tan 1''$) als auch in Lichtjahren ($1 \text{ Lj} = 63\,241 \text{ AE}$) an!

? A 44.2

Berechnen Sie die Helligkeit unserer Sonne in der Entfernung 10 pc! Wie wird diese Helligkeit genannt?

Aufgabe 45 – Sonnenlicht

Die Sonne befindet sich in einem Gleichgewichtszustand. Der zu ihrem Zentrum hin gerichteten Schwerkraft wirken der Gasdruck und der Strahlungsdruck entgegen. Nach innen hin nehmen beide zu, wobei Letzterer bei unserer Sonne jedoch eine untergeordnete Rolle spielt. Er resultiert aus Fusionsprozessen, in denen Materie in Energie umgewandelt wird. Im Abstand der Erde von der Sonne, der Astronomischen Einheit AE ($1 \text{ AE} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$), empfängt man von diesem Fusionsofen die Solarkonstante $S = 1,367 \text{ kW/m}^2$ genannte Leistungsdichte.

? A 45.1

Berechnen Sie die Gesamtleistung, auch Leuchtkraft L_\odot genannt, welche die Sonne demnach erbringt!

? A 45.2

Bestimmen Sie den Anteil des Sonnenlichts, der auf die gesamte Erde fällt (der Erdradius ist $R_E = 6378 \text{ km}$)!

? A 45.3

Gemäß der Äquivalenz von Masse und Energie, von Albert Einstein in einer Arbeit im Jahre 1905 veröffentlicht, gilt auch für Lichtteilchen, den Photonen, mit der Energie $E = h\nu$:

$$E = mc^2. \quad (2.1)$$

Dabei ist m das Massenäquivalent der Photonenenergie und $c = 300\,000 \text{ km/s}$ die Lichtgeschwindigkeit. Berechnen Sie das Massenäquivalent m_E , welches demnach in jeder Sekunde auf die Erde trifft!

? A 45.4

Im Umkehrschluss lässt sich sofort berechnen, wie viel Materie m_S die Sonne in jeder Sekunde in Energie umwandelt.

- a) Bestimmen Sie die Menge m_S in Kilogramm!
- b) Die Effizienz, mit der im Sonneninneren Wasserstoff in Helium umgesetzt wird, ist glücklicherweise nicht allzu hoch. Sie beträgt nämlich nur etwa $\eta = 1\%$. Berechnen Sie die Masse m_1 , die demnach in jeder Sekunde in den Fusionsprozess einbezogen ist!

? A 45.5

Im Hertzsprung-Russell-Diagramm (vgl. Nice-to-know 7 auf S. 75 zu dieser Aufgabe) beginnen sich Sterne von der Hauptreihe wegzuentwickeln, wenn in ihrem Inneren etwa zehn Prozent der Gesamtmasse in Helium fusioniert sind. Bei konstanter Leuchtkraft entspricht dies dann auch etwa einem Zehntel der Lebensdauer des Sterns.

Berechnen Sie die Brenndauer, für die unsere Sonne mit ihrer Masse von $m_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ kg die gegenwärtige Strahlungsleistung reichlich stabil aufrechterhalten kann!

Aufgabe 46 – Solarkonstante

Die Solarkonstante S ist die Strahlungsenergie der Sonne, die beim mittleren Sonnenabstand von einer Astronomischen Einheit und senkrechtem Strahlungseinfall pro Sekunde und pro Quadratmeter auf die Erdatmosphäre einfällt. Ihr Mittelwert beträgt 1367 Joule pro Sekunde und Quadratmeter beziehungsweise 1367 Watt pro Quadratmeter. Mit der mittleren Distanz Erde–Sonne $r_{AE} = 1 \text{ AE} = 149,6$ Millionen km – einer Astronomischen Einheit – kann direkt die Leuchtkraft L_\odot der Sonne berechnet werden, sie beträgt $L_\odot = 3,84 \cdot 10^{26}$ W (vgl. Aufgabe 45).

In älteren Lehrbüchern wird der Wert der Solarkonstanten häufig so veranschaulicht: Die Sonne wirft an jedem wolkenlosen Sommertag ein Brikett auf jeden Quadratmeter der Erde. Heute haben Besitzer von Solaranlagen durch eingespartes Heizöl oder die Einspeisevergütung für Solarstrom eine Vorstellung von der Leistung des solaren Energiestroms.

? A 46.1

Verblüffenderweise gehorcht die Energieabstrahlung der Sonne und der Sterne überhaupt derjenigen eines so genannten Schwarzen Körpers. Das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz beschreibt für solche Körper den Zusammenhang zwischen ihrer Leuchtkraft und ihrer Oberflächentemperatur:

$$L_\odot = \sigma T_\odot^4 F_\odot. \quad (2.2)$$

Dabei ist $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ die Stefan-Boltzmann'sche Strahlungskonstante und F_\odot ist die Oberfläche der Sonne. Der Sonnenradius beträgt $R_\odot = 696\,000$ km.

Berechnen Sie aus der Sonnenleuchtkraft die Oberflächentemperatur der Sonne!

? A 46.2

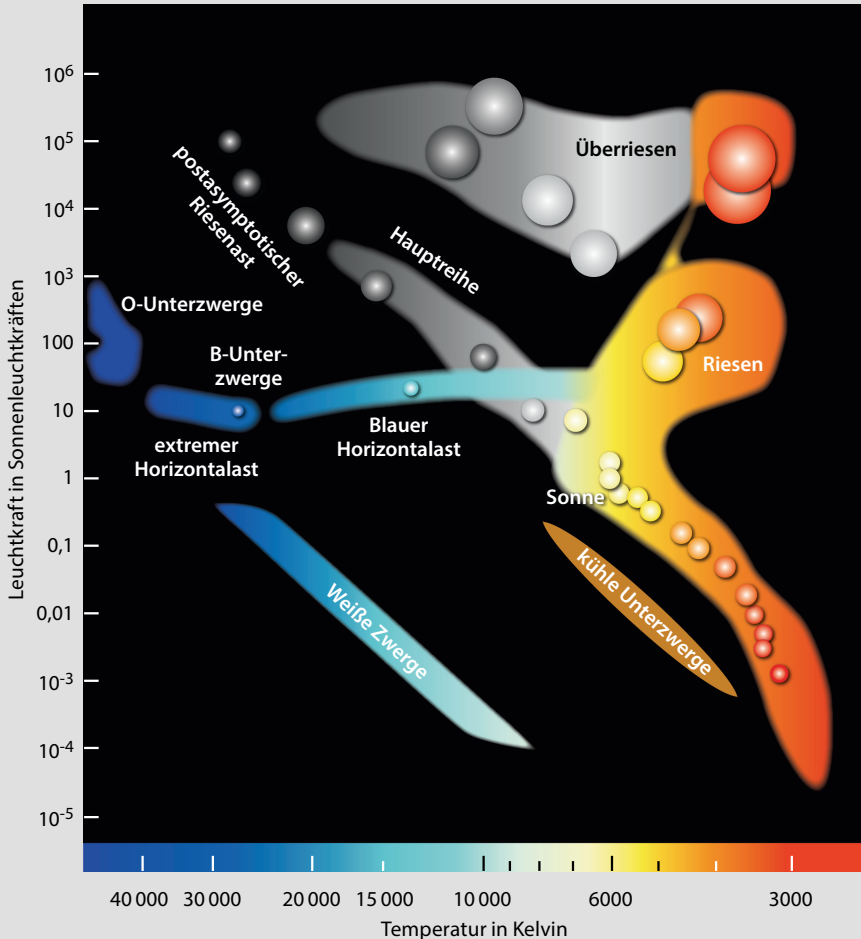
Im Perihel der Erdbahn, dem sonnennächsten Punkt der Umlaufbahn, beträgt die Sonnendistanz nur $r_P = 147,1 \cdot 10^6$ km, im Aphel dagegen sogar $r_A = 152,1 \cdot 10^6$ km.

Berechnen Sie den Einfluss der Abstandsänderung auf die Leistungsdichte! Drücken Sie Ihr Ergebnis in beiden Fällen als prozentuale Erhöhung in Bezug auf die Solarkonstante aus.

Nice-to-know 7

Das Hertzsprung-Russell-Diagramm

Das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) verknüpft Beobachtungsgrößen von Sternen (wie absolute Helligkeit und Spektralklasse) oder ihre physikalischen Zustandsgrößen (wie Leuchtkraft und Oberflächentemperatur) miteinander (vgl. ■ Abb. 2.1).



■ **Abb. 2.1** Die Grafik zeigt ein so genanntes physikalisches Hertzsprung-Russell-Diagramm, bei dem die Leuchtkraft der Sterne in Vielfachen der Sonnenleuchtkraft auf der Ordinatenachse aufgetragen ist. Die Abszissenachse zeigt die Temperatur der Sterne, wobei man beachten muss, dass diese im Diagramm von rechts nach links zunimmt. Die Verteilung der Sterne im Diagramm ist nicht gleichmäßig; bestimmte Gebiete wie z. B. die Hauptreihe sind durch sehr viele Sterne bevölkert. Quelle: Sterne und Weltraum

Jeder Stern wird im HRD als Punkt repräsentiert. Die meisten Sterne kommen auf einem breiten Band, der Hauptreihe, zu liegen. Im Zuge ihrer Entwicklung durchlaufen die Sterne jedoch verschiedene Bereiche des Diagramms, je nach Masse kann ein Stern sich z. B. nach seiner Hauptreihenphase durch das Gebiet der Riesen zu einem Weißen Zwerg entwickeln.

Aus der modernen Astrophysik ist das HRD nicht mehr wegzudenken, denn aus ihm lassen sich vielfältige Aussagen über die darin enthaltenen Sterne ableiten. Zum Beispiel kann aus dem HRD eines Sternhaufens dessen Alter bestimmt werden. Sterne, Sternentwicklung und damit unabdingbar das HRD sind Themen eines zukünftigen dritten Bandes der Aufgabensammlung.

? A 46.3

Ein Braunkohlebrikett hat den Heizwert $H_B = 6,0 \text{ kWh/kg}$. Die Masse m_B eines solchen Briketts beträgt ein Kilogramm.

Berechnen Sie die Leistungsdichte L_B eines Briketts pro Tag und Quadratmeter und vergleichen Sie diese mit der Solarkonstanten!

? A 46.4

Im Leerlauf benötigt ein Auto etwa einen Liter (= 1 L) Sprit pro Stunde. Der Heizwert von Benzin liegt bei $H_S = 45 \text{ MJ/kg}$ und seine Dichte beträgt $\rho_S = 0,8 \text{ kg/L}$.

Vergleichen Sie die in einem Liter Benzin steckende Verbrennungsenergie mit der an einem guten Tag mit zwölf Stunden Sonnenscheindauer bei einem Wirkungsgrad von 30 Prozent aufgesammelten Energiemenge einer einen Quadratmeter großen Solarzellenpaneele!

Aufgabe 47 – Merkurs Solarkonstante

Unsere Erde beschert ihren Bewohnern Jahreszeiten, die im Wesentlichen von der Schiefelage der Rotationsachse gegenüber der Umlaufbahn um die Sonne herrühren. Dabei ist von Bedeutung, unter welchem Winkel das Sonnenlicht auf die Oberfläche trifft. Der sich über das Jahr hinweg ändernde Abstand zu unserem Zentralgestirn übt dagegen nur einen vergleichsweise kleinen Einfluss aus.

Ganz anders verhält es sich bei dem sonnennächsten Planeten Merkur, dessen große Bahnhalbachse $a_{\text{☿}} = 0,3871 \text{ AE}$ und seine Bahnexzentrizität $e_{\text{☿}} = 0,2056$ betragen. Zwar steht Merkurs Rotationsachse mit einer Neigung von nur $0,01$ Grad nahezu senkrecht auf der Ebene seiner Umlaufs, die exzentrische Bahn beschert ihm aber dahingegen eine stark veränderliche Sonneneinstrahlung.

? A 47.1

Berechnen Sie Merkurs Periheldistanz $q_{\text{☿}}$ und Apheldistanz $Q_{\text{☿}}$ (vgl. Nice-to-know 8 zu dieser Aufgabe auf S. 77)!

? A 47.2

Berechnen Sie die Winkelausdehnung δ der Sonne am Merkurhimmel bei Durchlaufen dessen Perihels und vergleichen Sie diese mit dem Vollmond ($0,5^\circ$)!

? A 47.3

Vergleichen Sie die Intensität des Sonnenlichts auf Merkur zwischen Perihel und Aphel! Berechnen Sie dazu das Verhältnis f der Intensitäten zwischen sonnennächstem und -fernstem Punkt!

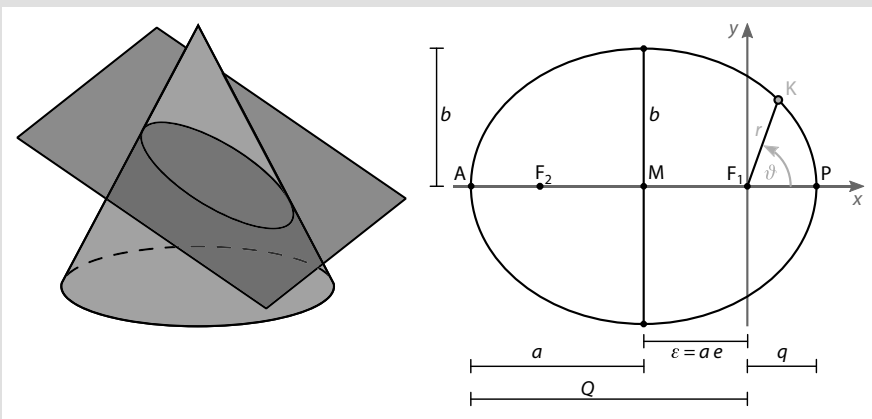
Nice-to-know 8

Himmelskörper auf Kegelschnitten

Wenn sich zwei Himmelskörper unter ihrer gegenseitigen Anziehung umrunden, ohne dabei durch andere Körper gestört zu werden, spricht man von einer Zweikörperbewegung. Diese Situation ist im Kosmos – wenigstens in erster Näherung – häufig gegeben: Denken Sie nur an die Systeme Sonne – Planet, Planet – Mond, Erde – Erdsatellit oder auch an Doppelsterne. In einem Zweikörpersystem umläuft der Begleiter seinen Zentralkörper auf einem Kegelschnitt (vgl. ■ Abb. 2.2), wobei die Zentralmasse in einem Brennpunkt steht (1. Keplersches Gesetz).

Es gelten für Ellipsen mit der großen Halbachse a und der numerischen Exzentrizität e ($0 \leq e < 1$) folgende fundamentalen Beziehungen:

- Kleine Halbachse $b = a \sqrt{1 - e^2}$
- Lineare Exzentrizität $\varepsilon = e a$
- Periapsisdistanz $q = a (1 - e)$
- Apoapsisdistanz $Q = a (1 + e)$
- Abstand r zwischen Begleiter K und Zentralmasse $r(\vartheta) = \frac{p}{1 + e \cos \vartheta}$ mit dem Halbparameter $p = a (1 - e^2)$ und der exzentrischen Anomalie ϑ
- Flächeninhalt der Ellipse $A = \pi a b$.



■ **Abb. 2.2** Links: In einem Zweikörpersystem sind die Bahnen der Himmelskörper Kegelschnitte: Ellipsen, Parabeln oder Hyperbeln, wobei nur Ellipsen geschlossene Kurven darstellen. Rechts: elliptische Umlaufbahn mit der Zentralmasse im rechten Ellipsenbrennpunkt F_1 sowie die Kenngrößen (Gestaltelemente) des Orbits.

❓ **A 47.4**

Berechnen Sie die Solarkonstante von Merkur für die drei Sonnendistanzen $q_{\text{☿}}$, $a_{\text{☿}}$ und $Q_{\text{☿}}$!

Hinweis: Als Solarkonstante wird die oberhalb der Erdatmosphäre eintreffende Leistungsdichte des Sonnenlichts bezeichnet: $S = 1,37 \text{ kW/m}^2$ (vgl. auch Aufgabe 46).

Aufgabe 48 – Strahlungsgleichgewicht im Erdorbit

Das Gefühl warmer Sonnenstrahlen auf der Haut gehört sicherlich zu den schönsten Seiten eines sonnigen Frühlingstages. Aber nicht nur uns Menschen wärmt die Sonne, auch die Erde selbst sowie alle anderen Planeten des Sonnensystems empfangen und remittieren elektromagnetische Strahlung – sie befinden sich im Strahlungsgleichgewicht mit der Sonne. Welche mittlere Temperatur ein Planet dabei annimmt, hängt von der Entfernung des Planeten zur Sonne und deren Leuchtkraft, also der pro Sekunde abgegebenen Energie, ab. Mit Hilfe der Gleichgewichtstemperatur lässt sich die habitable Zone einer Sonne eingrenzen, also diejenige Zone, in der menschliches Leben auf einem erdähnlichen Planeten gedeihen kann.

? A 48.1

Bestimmen Sie die mittlere Temperatur eines kugelförmigen Körpers, welcher in der Entfernung der Erde die Sonne umkreist! Nehmen Sie an, dass dieser sich dabei im Strahlungsgleichgewicht befindet und als idealer Schwarzer Körper betrachtet werden kann.

Hinweis: Die pro Fläche abgestrahlte Leistung eines Schwarzen Körpers F ist nach dem Stefan-Boltzmann'schen Strahlungsgesetz gegeben durch $F = \sigma T^4$; dabei ist die Strahlungskonstante $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ und T die absolute Temperatur. Unter der Voraussetzung des Strahlungsgleichgewichts $P_A = P_E$ (mit P_A der absorbierten und P_E der emittierten Leistung) lässt sich die gesuchte Temperatur ermitteln. Nehmen Sie die Solarkonstante $S = 1,37 \text{ kW/m}^2$ der Sonne als bekannt an.

Aufgabe 49 – Wo steht die Sonne?

In unseren Träumen reisen wir manchmal zu entfernten Orten, die wir vielleicht schon einmal besucht haben. Lassen Sie uns diesmal einen Ort wählen, den keines Menschen Auge aus der Nähe sah. Lassen Sie uns gemeinsam zu Barnards Pfeilstern reisen. Barnards Pfeilstern ist ein leuchtschwacher Roter Zwerg im Sternbild Schlangenträger bei den Koordinaten $\alpha = 17^{\text{h}}55^{\text{m}}$, $\delta = +4^{\circ}33'$, mit einer visuellen Helligkeit $m_V = 9,54 \text{ mag}$. Er steht in der Entfernung, die der Parallaxe $\pi = 0,552''$ entspricht. Seinen Namen verdankt er Edward Emerson Barnard (1857–1923), der ihn entdeckte, und seiner hohen Eigenbewegung $\mu = 10,31''/\text{a}$.

Wo, so wird man sich dort angekommen alsbald fragen, wo steht eigentlich unsere Sonne, und damit auch die Erde, die sie in nur 150 Millionen km Abstand umkreist und deren Bewohnern sie mit der Helligkeit $m_{V,\odot} = -26,8 \text{ mag}$ scheint?

? A 49.1

Diskutieren Sie, in welchem Sternbild die Sonne von Barnards Pfeilstern aus betrachtet steht!

? A 49.2

Berechnen Sie die scheinbare Helligkeit, welche die Sonne von Barnards Pfeilstern aus betrachtet besitzt!

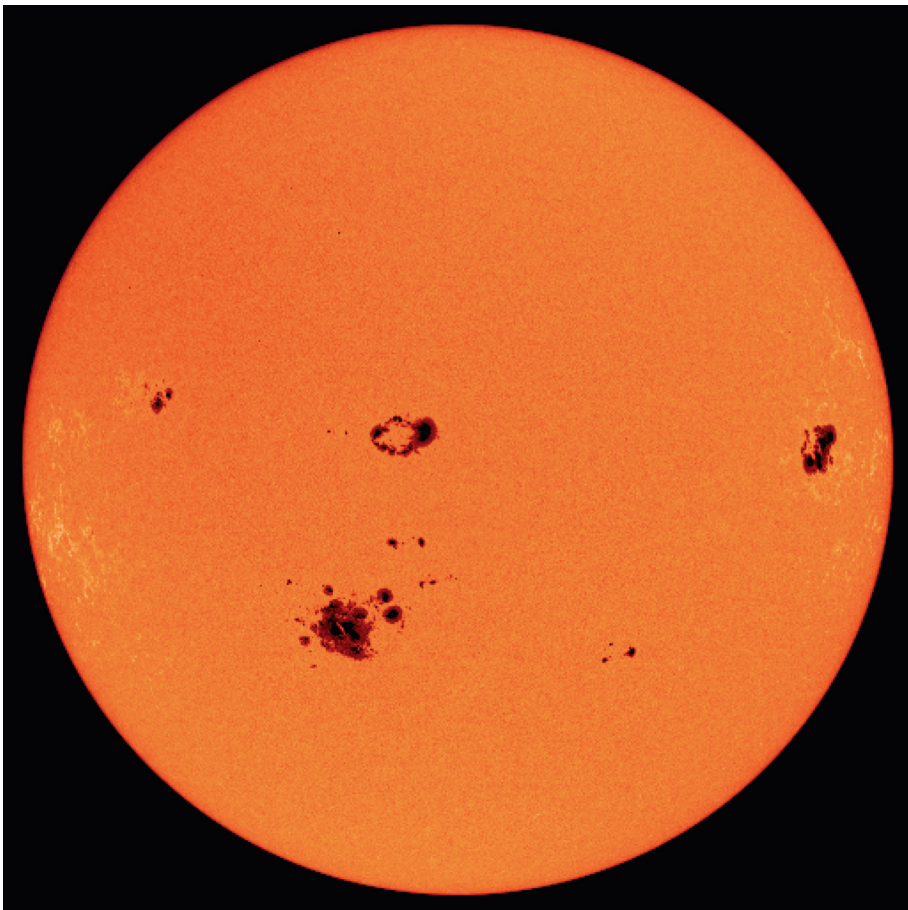
? A 49.3

Skizzieren Sie die hellsten Sterne des sich auf diese Weise ergebenden Sternbilds und deuten Sie mit Hilfe des Durchmessers d der einzuzeichnenden Sternscheibchen deren Helligkeiten m an! Verwenden Sie als Näherung die Beziehung

$$d = \left(-2 \frac{m}{\text{mag}} + 7 \right) \text{ mm} . \quad (2.3)$$

? A 49.4

Berechnen Sie die scheinbare Helligkeit von Barnards Pfeilstern, wenn wir diesen im Abstand von 1 AE umkreisen würden!



■ **Abb. 2.3** Die Sonne mit drei großen Flecken am 28.10.2003, 1:36 Uhr UT. Aufnahme mit dem Michelson Doppler Imager (MDI) an Bord des Sonnenobservatoriums SOHO der ESA/NASA. [www](http://www.sdo.gov)

Aufgabe 50 – Sonnenfleck

Nur selten lässt sich mit dem bloßen Auge ein Sonnenfleck wahrnehmen. Doch Mitte/Ende Oktober des Jahres 2003 verzierte sich unser Zentralgestirn gleich mit drei solcher großen Flecken. Man konnte sie entweder durch eine Sonnenfinsternisbrille tagsüber oder aber sogar ohne jedes Hilfsmittel bei Auf- und Untergang der Sonnenscheibe direkt erkennen. In solch großen Sonnenflecken sinkt die Temperatur von $T_{\text{eff}} = 5780 \text{ K}$ für die normale Sonnenoberfläche auf $T_U = 3700 \text{ K}$ ab (U für Umbra). Dadurch verringert sich die Gesamtemission der Sonne.


? A 50.1

Der Gesamtstrahlungsstrom F eines Schwarzen Körpers – die Sonnenoberfläche verhält sich fast wie ein idealer Schwarzer Körper – lässt sich mit Hilfe des Stefan-Boltzmann'schen Strahlungsgesetzes $F = \sigma T^4$ ermitteln. Dabei ist die Strahlungskonstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ und T die Temperatur des strahlenden Gebietes.

Berechnen Sie F für die normale Sonnenoberfläche und für die Umbra der Sonnenflecke!

? A 50.2

Die Gesamtleuchtkraft L_\odot der Sonne ist $L = 4\pi R_\odot^2 F$. Verteilt man L_\odot gleichmäßig über die Kugeloberfläche mit Radius $R = 1 \text{ AE}$, erhält man die Solarkonstante $S = 1367 \text{ W/m}^2$ am Ort der Erde.

- Berechnen Sie die Größe der Solarkonstanten S' unter der Annahme, dass die gesamte Sonnenoberfläche nur die Temperatur T_U hätte!
- Schätzen Sie großzügig den Anteil q der dunklen Areale in der Sonnenaufnahme aus  Abb. 2.3 relativ zur Sonnenscheibe ab und berechnen Sie S'' für die mit drei Sonnenflecken verzierte Sonne!

2.2 Die Sonne – ein komplexer Fusionsofen

Aufgabe 51 – Das Leuchtkraft-Masse-Verhältnis der Sonne (Von Ulrich Bastian)

Die pro Zeiteinheit von einem physikalischen System erzeugte und/oder abgegebene Energiemenge bezeichnen Physiker als die Leistung des betreffenden Systems. Der Quotient aus Leistung und Masse des Systems, der für die Wirtschaftlichkeit technischer Energiequellen von großer Bedeutung ist, wird als spezifische Leistung bezeichnet. Dieselben physikalischen Größen werden aus historischen Gründen in der Astronomie Leuchtkraft bzw. Leuchtkraft-Masse-Verhältnis genannt.

Kern dieser Aufgabe ist das Leuchtkraft-Masse-Verhältnis der Sonne und vergleichende Abschätzungen mit der spezifischen Leistung einiger irdischer Energiequellen: einer Kernexplosion, einer Sprengstoffexplosion, eines Kernkraftwerks, eines fahrenden Autos, einer brennenden Kerze, eines lebenden Menschen und schließlich eines vor sich hin rostenden Autos.



<http://www.springer.com/978-3-662-55147-9>

Zum Nachdenken: Unser Sonnensystem
Astronomische Aufgaben aus 35 Jahren Sterne und
Weltraum

Quetz, A.M.; Völker, S.

2017, XVI, 369 S. 215 Abb., 39 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-55147-9