

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Vorwort | xxi |
| Kapitel 1 Unser Platz im Universum | 2 |
| Lernziele | 3 |
| 1.1 Unser heutiges Bild vom Universum | 4 |
| Wo ist unser Platz im Universum? | 4 |
| Wie sind wir entstanden? | 8 |
| Woher wissen wir, wie das Universum früher aussah? | 10 |
| Können wir das gesamte Universum sehen? | 11 |
| 1.2 Maßstäbe im Universum | 13 |
| Wie groß ist die Erde, verglichen mit unserem Sonnensystem? | 13 |
| Wie weit sind die Sterne entfernt? | 16 |
| Wie groß ist die Milchstraße? | 18 |
| Wie groß ist das Universum? | 18 |
| Wie lässt sich unsere Lebensspanne mit dem Alter des Universums vergleichen? | 19 |
| 1.3 Raumschiff Erde | 19 |
| Wie bewegt sich die Erde in unserem Sonnensystem? | 19 |
| Wie bewegt sich unser Sonnensystem durch die Milchstraße? | 21 |
| Wie bewegen sich Galaxien durch das Universum? | 24 |
| Stehen wir jemals still? | 27 |
| 1.4 Das Menschheitsabenteuer Astronomie | 27 |
| Wie hat die astronomische Forschung die menschliche Geschichte beeinflusst? | 27 |
| Überblick | 29 |
| Zusammenfassung | 29 |
| Aufgaben und Übungen | 31 |
| Weitere Medien | 34 |
| Kapitel 2 Entdecken Sie das Universum selbst | 36 |
| Lernziele | 37 |
| 2.1 Muster am Nachthimmel | 38 |
| Der Anblick des Universums von der Erde aus | 38 |
| Warum gehen Sterne auf und unter? | 43 |
| Warum hängen die sichtbaren Sternbilder von der geografischen Breite und der Jahreszeit ab? | 45 |
| 2.2 Die Ursache der Jahreszeiten | 48 |
| Was verursacht die Jahreszeiten? | 48 |
| Wie legen wir den Ablauf der Jahreszeiten fest? | 50 |
| Wie verändert sich die Orientierung der Erdachse im Lauf der Zeit? | 53 |
| 2.3 Der Mond: Unser ständiger Begleiter | 55 |
| Warum gibt es Mondphasen? | 56 |
| Was verursacht Finsternisse? | 59 |

| | | |
|-----|--|----|
| 2.4 | Das Planetenrätsel der Antike | 64 |
| | Weshalb war die Planetenbewegung am Himmel einst so rätselhaft? | 65 |
| | Warum lehnten die alten Griechen die richtige Erklärung für die Planetenbewegung ab? | 66 |
| | Überblick | 69 |
| | Zusammenfassung | 69 |
| | Aufgaben und Übungen | 71 |
| | Weitere Medien | 74 |

Kapitel 3 Astronomie als Wissenschaft 76

| | | |
|-----|--|-----|
| | Lernziele | 77 |
| 3.1 | Die historischen Wurzeln der Naturwissenschaften | 78 |
| | Inwiefern denken alle Menschen wissenschaftlich? | 78 |
| | Welchen Nutzen hatten astronomische Beobachtungen für die frühen Gesellschaften? | 79 |
| | Was haben antike Kulturen in der Astronomie erreicht? | 80 |
| 3.2 | Naturwissenschaft im antiken Griechenland | 88 |
| | Warum führt die moderne Wissenschaft ihre Anfänge auf Griechenland zurück? | 89 |
| | Wie haben die Griechen die Planetenbewegung erklärt? | 90 |
| | Wie wurde die griechische Wissenschaft über die Jahrhunderte hinweg bewahrt? | 93 |
| 3.3 | Die Kopernikanische Wende | 94 |
| | Wie haben Kopernikus, Brahe und Kepler das geozentrische Weltbild angefochten? | 94 |
| | Wie lauten die drei Kepler'schen Gesetze der Planetenbewegung? | 98 |
| | Wie hat Galilei die Kopernikanische Wende untermauert? | 99 |
| 3.4 | Das Wesen der Wissenschaft | 103 |
| | Wie können wir Wissenschaft von Nichtwissenschaft unterscheiden? | 104 |
| | Was ist eine wissenschaftliche Theorie? | 111 |
| 3.5 | Astrologie | 112 |
| | Wie unterscheiden sich Astrologie und Astronomie? | 112 |
| | Hat die Astrologie eine naturwissenschaftliche Grundlage? | 114 |
| | Überblick | 116 |
| | Zusammenfassung | 116 |
| | Aufgaben und Übungen | 118 |
| | Weitere Medien | 121 |

Kapitel S1 Zeitmessung und Navigation anhand der Sterne 124

| | | |
|------|---|-----|
| | Lernziele | 125 |
| S1.1 | Astronomische Zeiträume | 126 |
| | Wie definieren wir Tag, Monat, Jahr und planetare Umlaufzeiten? | 126 |
| | Wie bestimmen wir die Tageszeit? | 132 |
| | Wann und warum gibt es Schaltjahre? | 135 |
| S1.2 | Himmelskoordinaten und Bewegungen am Himmel | 135 |
| | Wie stellen wir den Ort von Objekten an der Himmelskugel fest? | 137 |
| | Wie bewegen sich die Sterne am Himmel über uns? | 142 |
| | Wie bewegt sich die Sonne am Himmel über uns? | 145 |

| | | |
|------|---|-----|
| S1.3 | Grundlagen der Navigation nach den Sternen | 149 |
| | Wie können Sie Ihren Breitengrad bestimmen? | 149 |
| | Wie können Sie Ihren Längengrad bestimmen? | 150 |
| | Überblick | 153 |
| | Zusammenfassung | 153 |
| | Aufgaben und Übungen | 155 |
| | Weitere Medien | 158 |

**Kapitel 4 Wie das Universum funktioniert:
Bewegung, Energie und Schwerkraft verstehen**

| | | |
|-----|---|-----|
| | Lernziele | 162 |
| 4.1 | Bewegungen: Beispiele aus dem Alltag | 164 |
| | Wie beschreiben wir Bewegungen? | 164 |
| | Wie unterscheiden sich Masse und Gewicht? | 167 |
| 4.2 | Die Newton'schen Bewegungsgesetze | 169 |
| | Wie hat Newton unser Verständnis des Universums verändert? | 170 |
| | Wie lauten die drei Newton'schen Bewegungsgesetze? | 171 |
| 4.3 | Erhaltungssätze in der Astronomie | 174 |
| | Warum bewegen sich Objekte mit gleichförmiger Geschwindigkeit, wenn keine Kräfte auf sie wirken? | 174 |
| | Was lässt Planeten rotieren und um die Sonne kreisen? | 175 |
| | Woher haben Objekte ihre Energie? | 176 |
| 4.4 | Das allgemeine Gravitationsgesetz | 182 |
| | Was bestimmt die Stärke der Schwerkraft? | 182 |
| | Wie erweitert das Newton'sche Gravitationsgesetz die Kepler'schen Gesetze? | 183 |
| 4.5 | Umlaufbahnen, Gezeiten und Gravitationsbeschleunigung | 187 |
| | Wie können wir Umlaufbahnen anhand von Schwerkraft- und Energiegesetzen verstehen? | 187 |
| | Wie verursacht die Schwerkraft Gezeiten? | 189 |
| | Warum fallen alle Objekte mit derselben Geschwindigkeit? | 194 |
| | Überblick | 196 |
| | Zusammenfassung | 196 |
| | Aufgaben und Übungen | 198 |
| | Weitere Medien | 202 |

**Kapitel 5 Licht und Materie:
Die Botschaften aus dem Kosmos entschlüsseln**

| | | |
|-----|---|-----|
| | Lernziele | 205 |
| 5.1 | Licht im Alltag | 206 |
| | Wie nehmen wir Licht wahr? | 206 |
| | Wie treten Licht und Materie in Wechselwirkung? | 207 |
| 5.2 | Eigenschaften des Lichts | 209 |
| | Was ist Licht? | 209 |
| | Was ist das elektromagnetische Spektrum? | 213 |
| 5.3 | Eigenschaften der Materie | 216 |
| | Welche Struktur hat Materie? | 216 |
| | Welche Aggregatzustände der Materie gibt es? | 219 |
| | Wie wird Energie in Atomen gespeichert? | 222 |

| | | |
|---|---|-----|
| 5.4 | Vom Licht lernen | 224 |
| | Was sind die drei Grundarten von Spektren? | 225 |
| | Wie erkennen wir anhand von Licht, woraus die Dinge bestehen? | 226 |
| | Wie kann uns Licht etwas über die Temperaturen der Planeten und Sterne sagen? | 229 |
| | Wie interpretieren wir ein reales Spektrum? | 231 |
| 5.5 | Die Doppler-Verschiebung | 234 |
| | Wie kann uns Licht etwas über die Geschwindigkeit eines fernen Objekts sagen? | 234 |
| | Wie kann uns Licht etwas über die Rotationsgeschwindigkeit eines fernen Objekts sagen? | 236 |
| | Überblick | 238 |
| | Zusammenfassung | 238 |
| | Aufgaben und Übungen | 240 |
| | Weitere Medien | 245 |
| Kapitel 6 Teleskope: Tore der Entdeckung | | 246 |
| | Lernziele | 247 |
| 6.1 | Augen und Kameras: Lichtsensoren des Alltags | 248 |
| | Wie sieht das Auge? | 248 |
| | Wie zeichnen wir Bilder auf? | 250 |
| 6.2 | Riesige Augen: Teleskope | 251 |
| | Was sind die beiden wichtigsten Merkmale eines Teleskops? | 251 |
| | Was sind die beiden wichtigsten Teleskoparten? | 253 |
| | Wie nutzen Astronomen ihre Teleskope? | 257 |
| 6.3 | Teleskope und die Atmosphäre | 260 |
| | Wie beeinflusst die Erdatmosphäre bodengestützte Beobachtungen? | 261 |
| | Warum bringen wir Teleskope in den Weltraum? | 264 |
| 6.4 | Teleskope und Technik | 265 |
| | Wie beobachten wir unsichtbares Licht? | 266 |
| | Wie arbeiten mehrere Teleskope zusammen? | 270 |
| | Überblick | 273 |
| | Zusammenfassung | 273 |
| | Aufgaben und Übungen | 274 |
| | Weitere Medien | 278 |
| Kapitel 7 Unser Sonnensystem | | 282 |
| | Lernziele | 283 |
| 7.1 | Die Untersuchung des Sonnensystems | 284 |
| | Wie sieht das Sonnensystem aus? | 284 |
| | Was lehrt uns der Vergleich der Planeten miteinander? | 285 |
| | Welche sind die wichtigsten Eigenschaften der Sonne und der Planeten? | 288 |
| 7.2 | Gesetzmäßigkeiten im Sonnensystem | 303 |
| | Welche Merkmale des Sonnensystems bieten Hinweise auf seine Entstehung? | 303 |
| 7.3 | Die Erkundung des Sonnensystems mit Raumsonden | 307 |
| | Wie arbeiten Robotersonden? | 307 |

| | |
|---|-----|
| Überblick | 313 |
| Zusammenfassung | 313 |
| Aufgaben und Übungen | 314 |
| Weitere Medien | 317 |
| Kapitel 8 Die Entstehung des Sonnensystems | 320 |
| Lernziele | 321 |
| 8.1 Auf der Suche nach dem Anfang | 322 |
| Welche Eigenschaften unseres Sonnensystems muss eine Theorie seiner Entstehung erklären können? | 322 |
| Welche Theorie erklärt die Eigenschaften unseres Sonnensystems am besten? | 323 |
| 8.2 Die Geburt des Sonnensystems | 324 |
| Woher stammt das Sonnensystem? | 324 |
| Weshalb gibt es regelmäßige Bewegungsmuster in unserem Sonnensystem? | 325 |
| 8.3 Die Entstehung der Planeten | 328 |
| Warum gibt es zwei Hauptgruppen der Planeten? | 328 |
| Wie sind die terrestrischen Planeten entstanden? | 329 |
| Wie sind die jovianischen Planeten entstanden? | 331 |
| Was hat die Ära der Planetenentstehung beendet? | 332 |
| 8.4 Nach der Planetenentstehung | 333 |
| Woher stammen Asteroiden und Kometen? | 334 |
| Wie können wir die Ausnahmen von den Regeln erklären? | 335 |
| Wie können wir die Existenz unseres Mondes erklären? | 336 |
| Konnte nur unser Sonnensystem entstehen? | 338 |
| 8.5 Das Alter des Sonnensystems | 338 |
| Wie zeigt Radioaktivität das Alter eines Objekts an? | 338 |
| Wann sind die Planeten entstanden? | 342 |
| Überblick | 343 |
| Zusammenfassung | 343 |
| Aufgaben und Übungen | 345 |
| Weitere Medien | 348 |
| Kapitel 9 Planetare Geologie: Die Erde und die anderen terrestrischen Planeten | 350 |
| Lernziele | 351 |
| 9.1 Der Zusammenhang zwischen dem Planeteninneren und der Oberfläche | 352 |
| Wie sehen terrestrische Planeten im Inneren aus? | 354 |
| Was verursacht geologische Aktivität? | 357 |
| Warum erzeugt das Innere mancher Planeten ein Magnetfeld? | 360 |
| 9.2 Die Struktur von Planetenoberflächen | 363 |
| Welche Prozesse bestimmen die Oberflächeneigenschaften eines Planeten? | 363 |
| Warum haben die terrestrischen Planeten eine unterschiedliche geologische Geschichte? | 368 |
| Wie zeigen Einschlagskrater das geologische Alter einer Oberfläche an? | 370 |
| 9.3 Die Geologie von Mond und Merkur | 372 |
| Welche geologischen Prozesse haben den Mond geformt? | 372 |

| | | |
|-----|---|-----|
| | Welche geologischen Prozesse haben Merkur geformt? | 375 |
| 9.4 | Die Geologie des Mars | 377 |
| | Warum sind Marsianer so populär? | 377 |
| | Welche sind die wichtigsten geologischen Merkmale des Mars? | 378 |
| | Aufgrund welcher geologischen Belege wissen wir, dass es früher Wasser auf dem Mars gab? | 380 |
| 9.5 | Die Geologie der Venus | 384 |
| | Welche sind die wichtigsten geologischen Merkmale der Venus? | 384 |
| | Hat die Venus Plattentektonik? | 386 |
| 9.6 | Die einzigartige Geologie der Erde | 386 |
| | Woher wissen wir, dass sich die Erdoberfläche bewegt? | 387 |
| | Wie wird die Erdoberfläche durch die Plattentektonik verändert? | 389 |
| | War die Geologie der Erde bei ihrer Entstehung bereits festgelegt? | 394 |
| | Überblick | 396 |
| | Zusammenfassung | 396 |
| | Aufgaben und Übungen | 399 |
| | Weitere Medien | 403 |

**Kapitel 10 Planetare Atmosphären:
Die Erde und die anderen terrestrischen Himmelskörper** 406

| | | |
|------|---|-----|
| | Lernziele | 407 |
| 10.1 | Grundlagen der Atmosphärenphysik | 408 |
| | Was ist eine Atmosphäre? | 410 |
| | Wie heizt der Treibhauseffekt einen Planeten auf? | 413 |
| | Warum verändern sich die Eigenschaften der Atmosphäre mit der Höhe? | 417 |
| 10.2 | Wetter und Klima. | 423 |
| | Was verursacht Wind und Wetter? | 423 |
| | Welche Faktoren können langfristige Klimaänderungen verursachen? | 427 |
| | Wie gewinnt oder verliert ein Planet atmosphärische Gase? | 429 |
| 10.3 | Die Atmosphären von Mond und Merkur | 433 |
| | Haben Mond und Merkur überhaupt eine Atmosphäre? | 433 |
| 10.4 | Die Marsatmosphäre und ihre Geschichte | 434 |
| | Wie sieht der Mars heute aus? | 435 |
| | Warum hat sich der Mars verändert? | 438 |
| 10.5 | Die Venusatmosphäre und ihre Geschichte | 440 |
| | Wie sieht die Venus heute aus? | 440 |
| | Warum wurde die Venus so heiß? | 441 |
| 10.6 | Die einzigartige Atmosphäre der Erde | 444 |
| | Was macht die Erdatmosphäre so außergewöhnlich? | 444 |
| | Warum ist die Erdatmosphäre relativ stabil? | 446 |
| | Wie verändern menschliche Aktivitäten unseren Planeten? | 450 |
| | Überblick | 455 |
| | Zusammenfassung. | 455 |
| | Aufgaben und Übungen | 457 |
| | Weitere Medien | 462 |

Kapitel 11 Jovianische Planeten

464

| | |
|---|-----|
| Lernziele | 465 |
| 11.1 Eine andere Art von Planet | 466 |
| Sind alle jovianischen Planeten gleich? | 467 |
| Wie sieht das Innere jovianischer Planeten aus? | 471 |
| Welches Wetter herrscht auf den jovianischen Planeten? | 474 |
| Haben jovianische Planeten Magnetosphären wie die Erde? | 480 |
| 11.2 Eine Fülle an Welten: Satelliten aus Eis und Fels | 482 |
| Welche Arten von Monden umkreisen die jovianischen Planeten? | 482 |
| Warum sind die Galilei'schen Monde des Jupiters geologisch so aktiv? | 484 |
| Was ist an Titan und anderen großen Monden des äußeren Sonnensystems so bemerkenswert? | 490 |
| Warum sind kleine Eismonde geologisch aktiver als kleine Planeten aus Gestein? | 495 |
| 11.3 Die Ringe der jovianischen Planeten | 496 |
| Wie sehen die Saturnringe aus? | 496 |
| Wie sehen die Ringsysteme anderer jovianischer Planeten im Vergleich zu den Saturnringen aus? | 498 |
| Warum haben die jovianischen Planeten Ringe? | 499 |
| Überblick | 501 |
| Zusammenfassung | 501 |
| Aufgaben und Übungen | 503 |
| Weitere Medien | 507 |

Kapitel 12 Asteroiden, Kometen und Zwergplaneten: Ihre Eigenschaften, Umlaufbahnen und Einschläge

508

| | |
|--|-----|
| Lernziele | 509 |
| 12.1 Asteroiden und Meteorite | 510 |
| Was sind Asteroiden? | 510 |
| Warum gibt es einen Asteroidengürtel? | 514 |
| Woher kommen Meteorite? | 516 |
| 12.2 Kometen | 519 |
| Was sind Kometen? | 520 |
| Woher kommen Kometen? | 526 |
| 12.3 Pluto: Kein Außenseiter mehr | 527 |
| Wie groß kann ein Komet werden? | 528 |
| Was kennzeichnet die großen Objekte des Kuiper-Gürtels? | 529 |
| Sind Pluto und Eris Planeten? | 532 |
| 12.4 Kosmische Kollisionen: Kleine Körper kontra Planeten | 533 |
| Haben wir jemals einen großen Einschlag beobachtet? | 533 |
| Hat ein Einschlag die Dinosaurier ausgerottet? | 534 |
| Ist das Einschlagsrisiko eine echte Gefahr oder wird es nur von den Medien aufgebauscht? | 537 |
| Wie beeinflussen die jovianischen Planeten Einschlagsraten und das Leben auf der Erde? | 539 |
| Überblick | 541 |

| | |
|---|-----|
| Zusammenfassung | 541 |
| Aufgaben und Übungen | 543 |
| Weitere Medien | 546 |
| Kapitel 13 Andere Planetensysteme: Die neuen Erkenntnisse über ferne Planeten | 548 |
| Lernziele | 549 |
| 13.1 Extrasolare Planeten entdecken | 550 |
| Warum ist das Entdecken von Planeten bei anderen Sternen so schwierig? | 551 |
| Wie entdecken wir Planeten bei anderen Sternen? | 551 |
| 13.2 Eigenschaften extrasolarer Planeten | 565 |
| Was wissen wir über extrasolare Planeten? | 565 |
| Der Vergleich extrasolarer Planeten mit den Planeten unseres Sonnensystems | 571 |
| 13.3 Die Entstehung anderer Sonnensysteme | 573 |
| Wie lassen sich die überraschenden Umlaufbahnen vieler extrasolarer Planeten erklären? | 574 |
| Müssen wir die Theorie der Entstehung unseres Sonnensystems überdenken? | 575 |
| 13.4 Auf der Suche nach neuen Welten | 576 |
| Wie suchen wir nach erdähnlichen Planeten? | 576 |
| Überblick | 579 |
| Zusammenfassung | 580 |
| Aufgaben und Übungen | 581 |
| Weitere Medien | 586 |

| | |
|---|-----|
| S2 Raum und Zeit | 590 |
| Lernziele | 591 |
| S2.1 Einsteins Revolution | 592 |
| Was sind die Grundelemente der speziellen Relativitätstheorie? | 593 |
| Was ist an der Relativitätstheorie „relativ“? | 594 |
| S2.2 Relative Bewegung | 596 |
| Wie hat Einstein über Bewegung gedacht? | 596 |
| Warum ist die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit so überraschend? | 597 |
| Warum können wir die Lichtgeschwindigkeit niemals erreichen? | 600 |
| S2.3 Die Realität von Raum und Zeit | 602 |
| Wie beeinflusst die Relativitätstheorie unsere Vorstellung von Raum und Zeit? | 602 |
| Treten die von der Relativitätstheorie vorhergesagten Effekte wirklich auf? | 609 |
| S2.4 Eine neue Betrachtungsweise | 614 |
| Wie können wir die Relativitätstheorie verstehen? | 614 |
| Ermöglicht die Relativitätstheorie Reisen zu den Sternen? | 615 |
| Überblick | 618 |
| Zusammenfassung | 618 |
| Aufgaben und Übungen | 620 |
| Weitere Medien | 625 |

| | |
|--|-----|
| Kapitel S3 Raumzeit und Gravitation | 626 |
| Lernziele | 627 |
| S3.1 Einsteins zweite Revolution | 628 |
| Was sind die wichtigsten Aussagen der allgemeinen Relativitätstheorie? | 629 |

| | |
|---|-----|
| Ist jede Bewegung relativ? | 629 |
| S3.2 Die Raumzeit verstehen | 632 |
| Was ist Raumzeit? | 632 |
| Was versteht man unter gekrümmter Raumzeit? | 636 |
| S3.3 Ein neues Bild der Gravitation | 640 |
| Was ist Gravitation? | 640 |
| Was ist ein Schwarzes Loch? | 642 |
| Wie beeinflusst die Gravitation die Zeit? | 644 |
| S3.4 Prüfen der allgemeinen Relativitätstheorie | 645 |
| Wie können wir die Vorhersagen der allgemeinen Relativitätstheorie prüfen? | 645 |
| Was sind Gravitationswellen? | 649 |
| S3.5 Hyperspace, Wurmlöcher und Warp-Antrieb | 650 |
| Wo hört Wissenschaft auf und wo beginnt Science-Fiction? | 650 |
| S3.6 Ein letztes Wort | 652 |
| Wie hat die Relativitätstheorie unsere Vorstellung von Raum und Zeit verändert? | 652 |
| Überblick | 653 |
| Zusammenfassung | 653 |
| Aufgaben und Übungen | 655 |
| Weitere Medien | 660 |

Kapitel S4 Bausteine des Universums 662

| | |
|---|-----|
| Lernziele | 663 |
| S4.1 Die Quantenrevolution | 664 |
| Wie hat die Quantenrevolution unsere Welt verändert? | 664 |
| S4.2 Elementare Teilchen und Kräfte | 665 |
| Welche wichtigen Eigenschaften haben subatomare Teilchen? | 666 |
| Welche elementaren Bausteine der Materie gibt es? | 667 |
| Welche fundamentalen Kräfte gibt es in der Natur? | 669 |
| S4.3 Unschärfe und Verbote im Bereich der Quanten | 671 |
| Was besagt die Unschärferelation? | 673 |
| Was besagt das Ausschlussprinzip? | 676 |
| S4.4 Wichtige Quanteneffekte in der Astronomie | 678 |
| Welchen Einfluss haben Teilcheneffekte auf besondere Sternarten? | 678 |
| Weshalb ist das Tunneln von Teilchen für das Leben auf der Erde so wichtig? | 681 |
| Wie leer ist der leere Raum? | 682 |
| Leben Schwarze Löcher ewig? | 683 |
| Überblick | 685 |
| Zusammenfassung | 685 |
| Aufgaben und Übungen | 687 |
| Weitere Medien | 691 |

Kapitel 14 Unser Stern – die Sonne 694

| | |
|--|-----|
| Lernziele | 695 |
| 14.1 Ein genauerer Blick auf die Sonne | 696 |
| Warum war die Energiequelle der Sonne solch ein großes Rätsel? | 696 |
| Warum scheint die Sonne? | 697 |

| | | |
|------|--|-----|
| | Wie ist die Sonne aufgebaut? | 699 |
| 14.2 | Der kosmische Schmelztiegel | 701 |
| | Wie läuft die Kernfusion in der Sonne ab? | 702 |
| | Wie kommt die Fusionsenergie aus der Sonne heraus? | 706 |
| | Woher kennen wir die Abläufe in der Sonne? | 709 |
| 14.3 | Die Verbindung zwischen Sonne und Erde | 712 |
| | Was ist die Ursache der Sonnenaktivität? | 712 |
| | Wie beeinflusst die Sonnenaktivität das menschliche Leben? | 716 |
| | Wie verändert sich die Sonnenaktivität mit der Zeit? | 717 |
| | Überblick | 721 |
| | Zusammenfassung | 721 |
| | Aufgaben und Übungen | 723 |
| | Weitere Medien | 727 |

Kapitel 15 Ein genauer Blick auf die Sterne 728

| | | |
|------|--|-----|
| | Lernziele | 729 |
| 15.1 | Eigenschaften der Sterne | 730 |
| | Wie messen wir die Leuchtkraft von Sternen? | 730 |
| | Wie messen wir die Temperatur von Sternen? | 737 |
| | Wie messen wir die Masse von Sternen? | 741 |
| 15.2 | Systematik von Sternen | 745 |
| | Was ist ein Hertzsprung-Russell-Diagramm? | 745 |
| | Welche Bedeutung hat die Hauptreihe? | 748 |
| | Was sind Riesen, Überriesen und Weiße Zwerge? | 751 |
| | Warum verändern sich die Eigenschaften mancher Sterne? | 752 |
| 15.3 | Sternhaufen | 753 |
| | Welche zwei Arten von Sternhaufen gibt es? | 753 |
| | Wie messen wir das Alter von Sternhaufen? | 754 |
| | Überblick | 756 |
| | Zusammenfassung | 756 |
| | Aufgaben und Übungen | 758 |
| | Weitere Medien | 762 |

Kapitel 16 Sternentstehung 764

| | | |
|------|--|-----|
| | Lernziele | 765 |
| 16.1 | Die Geburtsorte der Sterne | 766 |
| | Wo entstehen die Sterne? | 766 |
| | Warum entstehen Sterne? | 770 |
| 16.2 | Stadien der Sternentstehung | 777 |
| | Wodurch wird die Kontraktion einer Wolke, in der ein Stern entsteht, gebremst? | 777 |
| | Welche Rolle spielt die Rotation bei der Sternentstehung? | 778 |
| | Wie setzt in einem neu entstandenen Stern die Kernfusion ein? | 780 |
| 16.3 | Massen neu entstandener Sterne | 783 |
| | Welche Minimalmasse kann ein neu entstandener Stern haben? | 783 |
| | Welche Maximalmasse kann ein neu entstandener Stern haben? | 785 |
| | Welche Massen haben neu entstandene Sterne üblicherweise? | 786 |

| | |
|--|-----|
| Überblick | 787 |
| Zusammenfassung | 787 |
| Aufgaben und Übungen | 789 |
| Weitere Medien | 793 |
| Kapitel 17 Sternenstaub | 794 |
| Lernziele | 795 |
| 17.1 Entwicklung im Gleichgewicht | 796 |
| Wie beeinflusst die Masse eines Sterns seine Kernfusion? | 796 |
| 17.2 Die Entwicklung eines massearmen Sterns | 798 |
| Welche Entwicklungsstadien durchläuft ein massearmer Stern? | 798 |
| Wie stirbt ein massearmer Stern? | 803 |
| 17.3 Die Entwicklung eines massereichen Sterns | 806 |
| Welche Entwicklungsstadien durchläuft ein massereicher Stern? | 807 |
| Wie erzeugen massereiche Sterne die für das Leben notwendigen Elemente? | 809 |
| Wie stirbt ein massereicher Stern? | 812 |
| 17.4 Die Rolle von Masse und Massenaustausch | 816 |
| Wie bestimmt die Masse eines Sterns seine Entwicklungsgeschichte? | 816 |
| Wie unterscheidet sich das Leben von Sternen mit engen Begleitern von dem alleinstehender Sterne? | 817 |
| Überblick | 820 |
| Zusammenfassung | 820 |
| Aufgaben und Übungen | 822 |
| Weitere Medien | 824 |
| Kapitel 18 Der Friedhof der Sterne | 826 |
| Lernziele | 827 |
| 18.1 Weiße Zwerge | 828 |
| Was ist ein Weißer Zwerg? | 828 |
| Was geschieht mit einem Weißen Zwerg in einem engen Doppelsternsystem? | 830 |
| 18.2 Neutronensterne | 833 |
| Was ist ein Neutronenstern? | 833 |
| Wie wurden Neutronensterne entdeckt? | 835 |
| Was geschieht mit einem Neutronenstern in einem engen Doppelsternsystem? | 837 |
| 18.3 Schwarze Löcher: Der endgültige Sieg der Schwerkraft | 838 |
| Was ist ein Schwarzes Loch? | 839 |
| Wie wäre es, wenn wir ein Schwarzes Loch besuchen könnten? | 841 |
| Gibt es Schwarze Löcher wirklich? | 844 |
| 18.4 Der Ursprung der Gammabursts | 847 |
| Woher kommen Gammabursts? | 847 |
| Was verursacht Gammabursts? | 848 |
| Überblick | 850 |
| Zusammenfassung | 850 |
| Aufgaben und Übungen | 852 |
| Weitere Medien | 857 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| Kapitel 19 | Unsere Galaxis, die Milchstraße | 860 |
| Lernziele | | 861 |
| 19.1 | Der Blick auf die Milchstraße | 862 |
| | Wie sieht unsere Galaxis aus? | 862 |
| | Wie bewegen sich die Sterne in unserer Galaxis? | 864 |
| 19.2 | Galaktisches Recycling | 868 |
| | Wie wird Gas in unserer Galaxis recycelt? | 869 |
| | Wo bilden sich üblicherweise Sterne in unserer Galaxis? | 877 |
| 19.3 | Die Geschichte unserer Milchstraße | 881 |
| | Welche Hinweise auf die Geschichte der Galaxis bieten die Sterne des Halos? | 881 |
| | Wie ist unsere Galaxis entstanden? | 882 |
| 19.4 | Das geheimnisvolle galaktische Zentrum | 884 |
| | Was befindet sich im Zentrum unserer Galaxis? | 885 |
| Überblick | | 887 |
| Zusammenfassung | | 887 |
| Aufgaben und Übungen | | 888 |
| Weitere Medien | | 892 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Kapitel 20 | Galaxien und die Grundlagen der modernen Kosmologie | 894 |
| Lernziele | | 895 |
| 20.1 | Sterneninseln | 896 |
| | Wie hängt die Galaxienentwicklung mit der Geschichte des Universums zusammen? | 896 |
| | Welche drei Arten von Galaxien gibt es? | 898 |
| | Welche Gruppen bilden Galaxien? | 902 |
| 20.2 | Messung der Galaxienentfernung | 902 |
| | Wie messen wir die Entfernung von Galaxien? | 903 |
| 20.3 | Das Hubble'sche Gesetz | 908 |
| | Wie konnte Hubble beweisen, dass Galaxien weit außerhalb der Milchstraße liegen? | 908 |
| | Was ist das Hubble'sche Gesetz? | 911 |
| | Was sagen Entfernungsmessungen über das Alter des Universums aus? | 914 |
| | Wie beeinflusst die Expansion des Universums unsere Entfernungsmessungen? | 917 |
| Überblick | | 920 |
| Zusammenfassung | | 920 |
| Aufgaben und Übungen | | 922 |
| Weitere Medien | | 926 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Kapitel 21 | Galaxienentwicklung | 928 |
| Lernziele | | 929 |
| 21.1 | Der Blick zurück durch die Zeit | 930 |
| | Wie können wir die Entwicklungsgeschichten von Galaxien beobachten? | 930 |
| | Wie sind Galaxien entstanden? | 932 |
| 21.2 | Die Entwicklung von Galaxien | 933 |
| | Warum unterscheiden sich Galaxien voneinander? | 933 |
| | Was sind Starbursts? | 938 |

| | | |
|------|---|-----|
| 21.3 | Quasare und andere aktive galaktische Kerne | 940 |
| | Was sind Quasare? | 941 |
| | Welche Energiequelle haben Quasare und andere aktive galaktische Kerne? | 945 |
| | Gibt es supermassereiche Schwarze Löcher wirklich? | 947 |
| | Wie können wir mittels Quasaren das Gas zwischen den Galaxien beobachten? | 950 |
| | Überblick | 952 |
| | Zusammenfassung | 952 |
| | Aufgaben und Übungen | 953 |
| | Weitere Medien | 957 |

Kapitel 22 Dunkle Materie, Dunkle Energie und das Schicksal des Universums 958

| | | |
|------|--|-----|
| | Lernziele | 959 |
| 22.1 | Unsichtbare Einflüsse im Kosmos | 960 |
| | Was verstehen wir unter Dunkler Materie und Dunkler Energie? | 961 |
| 22.2 | Hinweise auf die Dunkle Materie | 962 |
| | Welche Hinweise gibt es auf Dunkle Materie in Galaxien? | 962 |
| | Welche Hinweise auf Dunkle Materie gibt es in Galaxienhaufen? | 966 |
| | Gibt es Dunkle Materie wirklich? | 971 |
| | Woraus könnte die Dunkle Materie bestehen? | 973 |
| 22.3 | Die Entstehung von Strukturen | 975 |
| | Welche Rolle spielt die Dunkle Materie bei der Galaxienentstehung? | 975 |
| | Wie sehen die größten Strukturen im Universum aus? | 977 |
| 22.4 | Das Schicksal des Universums | 980 |
| | Wird die Expansion des Universums ewig weitergehen? | 980 |
| | Beschleunigt sich die Expansion des Universums? | 981 |
| | Überblick | 985 |
| | Zusammenfassung | 988 |
| | Aufgaben und Übungen | 989 |
| | Weitere Medien | 992 |

Kapitel 23 Der Anbeginn der Zeit 994

| | | |
|------|--|------|
| | Lernziele | 995 |
| 23.1 | Der Urknall | 996 |
| | Welche Bedingungen herrschten im frühen Universum? | 996 |
| | Wie verlief der Urknalltheorie zufolge die Geschichte des Universums? | 999 |
| 23.2 | Belege für den Urknall | 1006 |
| | Wie beobachten wir die vom Urknall zurückgebliebene Strahlung? | 1006 |
| | Wie belegen die Elementhäufigkeiten die Urknalltheorie? | 1010 |
| 23.3 | Der Urknall und die Inflation | 1013 |
| | Welche Eigenschaften des Universums konnte die Urknalltheorie ursprünglich nicht erklären? | 1013 |
| | Wie erklärt die Inflation diese Eigenschaften des Universums? | 1013 |
| | Wie können wir die Inflation überprüfen? | 1017 |
| 23.4 | Den Urknall selbst beobachten | 1019 |
| | Warum ist die Schwärze des Nachthimmels ein Beleg für den Urknall? | 1019 |

| | |
|---|-------------|
| Überblick | 1022 |
| Zusammenfassung. | 1022 |
| Aufgaben und Übungen | 1024 |
| Weitere Medien | 1029 |
| Kapitel 24 Leben im Universum | 1032 |
| Lernziele | 1033 |
| 24.1 Leben auf der Erde | 1034 |
| Wann entstand das Leben auf der Erde? | 1035 |
| Wie entstand das Leben auf der Erde? | 1038 |
| Was sind die Grundvoraussetzungen des Lebens? | 1044 |
| 24.2 Leben im Sonnensystem | 1045 |
| Gibt es Leben auf dem Mars? | 1045 |
| Gibt es Leben auf Europa oder anderen Jupitermonden? | 1048 |
| 24.3 Leben bei anderen Sternen | 1049 |
| Wie wahrscheinlich sind bewohnbare Planeten? | 1049 |
| Sind erdähnliche Planeten eher selten oder häufig? | 1051 |
| 24.4 Die Suche nach außerirdischer Intelligenz. | 1054 |
| Wie viele Zivilisationen gibt es da draußen? | 1054 |
| Wie funktioniert SETI? | 1058 |
| 24.5 Interstellare Flüge und ihre Auswirkungen auf die Zivilisation | 1059 |
| Wie schwierig sind interstellare Flüge? | 1059 |
| Wo stecken die Außerirdischen? | 1062 |
| Überblick | 1065 |
| Zusammenfassung. | 1065 |
| Aufgaben und Übungen | 1067 |
| Weitere Medien | 1071 |
| Anhang | 1075 |
| A Häufig benötigte Konstanten | 1076 |
| B Nützliche Formeln | 1077 |
| C Ein wenig Mathematik. | 1078 |
| D Das Periodensystem | 1085 |
| E Planetendaten. | 1086 |
| F Sterndaten | 1092 |
| G Galaxiendaten | 1094 |
| H Ausgewählte astronomische Websites | 1098 |
| I Sternbildnamen | 1101 |
| J Sternkarten. | 1103 |
| K Piktogramme | 1108 |
| L Glossar | 1110 |
| M Index. | 1135 |
| N Abbildungsnachweis | 1159 |