

Inhaltsübersicht

Vorwort	xxi
Kapitel 1	Unser Platz im Universum	2
Kapitel 2	Entdecken Sie das Universum selbst	36
Kapitel 3	Astronomie als Wissenschaft	76
Kapitel S1	Zeitmessung und Navigation anhand der Sterne	124
Kapitel 4	Wie das Universum funktioniert: Bewegung, Energie und Schwerkraft verstehen	162
Kapitel 5	Licht und Materie: Die Botschaften aus dem Kosmos entschlüsseln	204
Kapitel 6	Teleskope: Tore der Entdeckung	246
Kapitel 7	Unser Sonnensystem	282
Kapitel 8	Die Entstehung des Sonnensystems	320
Kapitel 9	Planetare Geologie: Die Erde und die anderen terrestrischen Planeten	350
Kapitel 10	Planetare Atmosphären: Die Erde und die anderen terrestrischen Himmelskörper ...	406
Kapitel 11	Jovianische Planeten	464
Kapitel 12	Asteroiden, Kometen und Zwergplaneten: Ihre Eigenschaften, Umlaufbahnen und Einschläge	508
Kapitel 13	Andere Planetensysteme: Die neuen Erkenntnisse über ferne Planeten	548
Kapitel S2	Raumzeit und Zeit	590
Kapitel S3	Raumzeit und Gravitation	626
Kapitel S4	Bausteine des Universums	662
Kapitel 14	Unser Stern – die Sonne	694
Kapitel 15	Ein genauer Blick auf die Sterne	728
Kapitel 16	Sternentstehung	764
Kapitel 17	Sternenstaub	794
Kapitel 18	Der Friedhof der Sterne	826
Kapitel 19	Unsere Galaxis, die Milchstraße	860
Kapitel 20	Galaxien und die Grundlagen der modernen Kosmologie ..	894
Kapitel 21	Galaxienentwicklung	928
Kapitel 22	Dunkle Materie, Dunkle Energie und das Schicksal des Universums	958
Kapitel 23	Der Anbeginn der Zeit	994
Kapitel 24	Leben im Universum	1032
Anhang	1075

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	162
Lernziele		163
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	204
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 Teleskopen?	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, Wurm Löcher 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