

Auf einen Blick

Über die Autorinnen	11
Einführung	27
Teil I: Erste Schritte in der Astrophysik	33
Kapitel 1: Willkommen im Universum.	35
Kapitel 2: Die Physik von A bis Z	47
Kapitel 3: Astronomie kurz und bündig	75
Kapitel 4: Der Brückenschlag zwischen Astronomie und Physik	91
Teil II: Wenn Sie sich etwas wünschen	115
Kapitel 5: Die Kraft der Sterne: Wasserstoff, Helium und ein Hauch von Kernfusion	117
Kapitel 6: Freunde fürs Leben: Sternsysteme und Staubwolken	137
Kapitel 7: Exoplaneten: die Suche nach der Erde 2.0	157
Kapitel 8: Weiße Zwerge, Schwarze Löcher und Neutrinos – oh je!	181
Teil III: Galaxien: Teamwork macht den Traum wahr	199
Kapitel 9: Von verschwommenen Klecksen zu stattlichen Spiralen: die Milchstraße und andere Galaxien	201
Kapitel 10: Die Quantifizierung des Unbekannten oder die Art, wie Galaxien funktionieren	215
Kapitel 11: Größer als riesig: Galaxienhaufen	233
Kapitel 12: Seltsame und verrückte galaktische Phänomene	257
Teil IV: Kosmologie: der Anfang und das Ende von allem	275
Kapitel 13: Der Urknall: wie alles begann	277
Kapitel 14: Das erste Licht im Universum oder wie ein Stern geboren wird.	299
Kapitel 15: Jetzt wird es noch unheimlicher: Dunkle Materie, Dunkle Energie und Relativitätstheorie.	315
Kapitel 16: Das Ende von allem	339
Teil V: Der Top-Ten-Teil	363
Kapitel 17: Zehn Wissenschaftler, die der Astrophysik den Weg ebneten	365
Kapitel 18: Zehn wichtige Weltraummissionen in der Astrophysik	369
Glossar	377
Abbildungsverzeichnis	383
Stichwortverzeichnis	391



Inhaltsverzeichnis

Über die Autorinnen	11
Widmung	11
Danksagung der Autorinnen	12
Einführung	27
Über dieses Buch	28
Törichte Annahmen über die Leser	28
Wie dieses Buch aufgebaut ist	29
Teil I: Erste Schritte in der Astrophysik	29
Teil II: Wenn Sie sich etwas wünschen	29
Teil III: Galaxien: Teamwork macht den Traum wahr	29
Teil IV: Kosmologie: der Anfang und das Ende von allem	30
Teil V: Der Top-Ten-Teil	30
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden	30
Jenseits des Buches	31
Wie es weitergeht	31
TEIL I	
ERSTE SCHRITTE IN DER ASTROPHYSIK	33
Kapitel 1	
Willkommen im Universum	35
Die Wissenschaft der Astrophysik	36
Der Beginn der Astronomie	36
Eine wunderbare Verbindung: Physik, Astronomie und Astrophysik	37
Es werde Licht! Das elektromagnetische Spektrum	37
Wellen schlagen	39
Passende Werkzeuge	41
Das Wesentliche über Teleskope und astronomische Instrumente	41
Der Blick von oben: weltraumgestützte Teleskope	43
Sterne, Galaxien und ihre kosmologischen Freunde	44
Kapitel 2	
Die Physik von A bis Z	47
Die Bausteine des Universums: Teilchen	48
Die großen drei: Protonen, Neutronen und Elektronen	48
Elemente und Moleküle	50
(Sie sind) elementar, Teilchen	52
Mit Photonen beleuchten	52

16 Inhaltsverzeichnis

Was die Materie ausmacht.	54
Das Wasser, das wir trinken, und die Luft, die wir atmen – Elemente und Moleküle.	55
Alles dreht sich um den Zustand: die Aggregatzustände.	55
Aber manchmal ist es einfach Antimaterie	56
Auf die Kraft kommt es an	57
Mit der Schwerkraft Schwere gewinnen	58
Maxwell sei Dank für die elektromagnetische Kraft	59
Die starke und schwache Kernkraft.	60
Energie speichern oder verbrauchen – aber nicht verschwenden.	61
Schneller kinetische und potenzielle Energie tanken.	61
Wärme übertragen durch Leitung, Konvektion und Strahlung.	62
Mehr als das Auge sehen kann: das elektromagnetische Spektrum.	63
Die unendliche Flexibilität des Lichts: sowohl Welle als auch Teilchen	63
Das ist das Gesetz (der Physik)!	64
Die Newtonschen Bewegungsgesetze	65
Mit Geschwindigkeit, Beschleunigung und Impuls mehr erreichen.	66
Eine Unterhaltung über die Erhaltung	67
Einstein und die Äquivalenz von Energie und Masse	68
Die Vereinigung von Wärme und Energie mit Thermodynamik und statistischer Mechanik	68
Die Gesetze der Thermodynamik kennenlernen	69
Wahrhaftig eins sein mit der Umgebung: die Schwarzkörperstrahlung	71
Elektromagnetische Wellen übernehmen die schwere Arbeit der Strahlungsübertragung	72
Wenn es auf die Details ankommt, zoomen Sie auf die Quantenmechanik.	73

Kapitel 3 **Astronomie kurz und bündig 75**

Wo beginnen ... oder: wie alles begann	76
Unser Sonnensystem, unsere Galaxie und das Universum kartieren.	79
Eine Frage des Maßstabs	79
Eine planetarische Besichtigung	81
Das Lichtspiel der Natur mit Meteoren, Asteroiden und Kometen betrachten	84
Galaxien und mehr	85
Beobachtende Astronomie: Was sind das für Punkte am Himmel?	85
Sternbilder: die Kartierung der Sterne	86
Ekliptik: die Reise der Sonne im Verlauf eines Jahres.	87
Wie astronomische Objekte benannt werden	89

Kapitel 4 Der Brückenschlag zwischen Astronomie und Physik 91

Mehr als die Summe seiner Teile: das einzigartige Studium der Astrophysik	92
Eine Verschiebung, zwei Verschiebungen, Rotverschiebung, Blauverschiebung.....	92
Kommen Sie nicht zu spät zur Party, wenn die Zeit drängt	94
Himmelsmechanik und Umlaufbahnen	96
In die Einzelheiten der Astrophysik eintauchen	97
Theoretische Astrophysik	98
Beobachtende Astrophysik.....	98
Astrophysik im Labor.....	98
Hochenergie-Astrophysik	98
Mit der Kosmologie die gesamte Bandbreite des Universums erkunden..	99
Das Wesentliche über Teleskope und optische Instrumente	99
Optische Teleskope	99
Das Nachtleben in optischen Observatorien	101
Andere Arten von Teleskopen	102
Der Blick von oben: weltraumgestützte Teleskope.....	104
Die Sonne, der Stern unseres Sonnensystems	105
Sonneneruptionen, Sonnenwinde und andere Sonnenaktivitäten	105
Heiß oder kalt? Die Besonderheiten des Wetters im Weltraum	107
Die Sonne studieren	108
Finsternisse oder auf wissenschaftliche Weise Schatten werfen	108
Roter Mond: Mondfinsternisse	109
Nicht hinschauen! Sonnenfinsternis	110
Die Wissenschaft hinter den Finsternissen	113

TEIL II WENN SIE SICH ETWAS WÜNSCHEN 115

Kapitel 5 Die Kraft der Sterne: Wasserstoff, Helium und ein Hauch von Kernfusion..... 117

Herzlichen Glückwunsch: ein Stern ist geboren	118
Wie werden Sterne definiert?.....	118
Zwei sind besser als einer: Fusion.....	118
Protosterne, Gebiete der Sternentstehung und Akkretionsscheiben	121
Lernen Sie Ihre Sterne kennen: Eigenschaften, Arten und Merkmale.....	124
Setzen Sie nicht auf das Wünschen: Verstehen Sie die Helligkeit, die Masse und andere Eigenschaften der Sterne	124
Die Aufzeichnung der Helligkeit mit dem Hertzsprung-Russell-Diagramm.....	126
Zwerge und Riesen.....	128
Die einzige Konstante ist die Veränderung veränderlicher Sterne.....	129

18 Inhaltsverzeichnis

Alle guten Dinge müssen zu einem Ende kommen	131
Vom Aufflackern bis zur vollständigen Explosion: Novae und Supernovae	131
Die Nukleosynthese und die Entstehung neuer Elemente	132
Der Lebenszyklus eines Sterns: Erhitzen, Abkühlen und alles dazwischen	133
Die Reinkarnation der Sterne und die nächste Phase der stellaren Existenz	135

Kapitel 6

Freunde fürs Leben: Sternsysteme und Staubwolken 137

Viel hilft viel: Doppel- und Mehrfachsternsysteme	138
Die Bande, die binden: was es bedeutet, durch die Gravitation gebunden zu sein	138
Umlaufbahnen und die Wissenschaft dahinter	140
Entstehung und Entwicklung von Mehrfachsternsystemen	140
Der Schritt ins Licht: Finsternisse in einem Doppelsternsystem	143
Umlaufbahnen von Doppelsternsystemen und die Radialgeschwindigkeit	144
Drei sind nicht zu viel: Mehrfachsternsysteme	146
Werft Euch alle auf einen Haufen, ihr Sternhaufen!	147
Aneinanderkleben: die Haufenbildung	148
Schließen Sie die Tür! Wissenswertes über offene Sternhaufen erfahren	148
Mit Kugelsternhaufen noch klebriger werden	149
Mit interstellarem Gas und Staub Vollgas geben	150
Das interstellare Medium	150
Mit dem Kopf in den (molekularen) Wolken träumen	151
IR-Spektroskopie und Laborastrophysik	151
Struktur in Gas und Staub bringen: Nebel	152
Diffuse Nebel und Dunkelnebel	153
Wer hat wen erschaffen? Planetarische Nebel und Supernova-Überreste	154

Kapitel 7

Exoplaneten: die Suche nach der Erde 2.0 157

Jenseits der Erde	158
Die Exoplaneten erklären	159
Der Schlüssel zum Verständnis der Planetenentstehung	160
Exoplaneten gibt es in zahlreichen Formen und Farben	160
Eigenschaften von Exoplaneten (einschließlich Abweichungen)	161
Was verbirgt sich hinter einem Namen?	162
(Nicht) brennende Riesengasbälle und neptunartige Exoplaneten	162
Sie sind wirklich super! Die Supererden	163
Schauen Sie bei der Suche nach terrestrischen Exoplaneten nicht weiter als Mutter Erde	163

Bei der Entdeckung von Exoplaneten unter (oder um)
 versteckte Felsen blicken 164
 Beobachtungsmethoden und ihre Ausrichtung 164
 Die Bestimmung der Entfernung zwischen zwei Punkten mit der
 Radialgeschwindigkeit 165
 Transit, TTV und Gravitationslinseneffekt 166
 Ignorieren Sie den Müll, aber achten Sie auf Ihre Trümmerscheibe 168
 Machen Sie ein Foto! Die Zukunft der
 Entdeckung von Exoplaneten 168
 Die Grundzüge der Entstehung von Exoplaneten 169
 Planetarische Geburtsrechte: protoplanetare Scheiben 169
 Bewegen Sie sich! Die Dynamik von Exoplanetensystemen 171
 Atmosphären von Exoplaneten 173
 Kann auf Exoplaneten Leben gefunden werden? 174
 Goldlöffchen hatte recht: die »habitable Zone« oder
 Bedingungen für Leben, wie wir es kennen 175
 Zwillinge: Warum haben wir die Erde 2.0 noch nicht gefunden? 176
 Riecht nach Leben: die Suche nach Biosignaturen
 in Atmosphären von Exoplaneten 178
 Die Drake-Gleichung und die Suche nach intelligenten Leben 178

Kapitel 8
Weißer Zwerge, Schwarze Löcher und Neutrinos – oh je! 181

Schneewittchen und die sieben 182
 Weiß wie Schnee: Weiße Zwerge 182
 So cool und (rot)glühend: Rote Zwerge 184
 Riesensterne 185
 Entwickelte Riesen 185
 Es gibt kein Entkommen: Schwarze Löcher 186
 Was reingeht, kommt nicht wieder raus: wie Schwarze
 Löcher funktionieren 186
 Der Ereignishorizont: die Linie, die Licht nicht
 überschreiten kann 188
 Das Unsichtbare sehen oder die Kunst,
 Schwarze Löcher aufzuspüren 189
 Hohe Brandung! Gravitationswellen 190
 Das Kräuseln in der Raumzeit 191
 Wie man ein Wellendetektiv wird 192
 Neutronensterne oder der totale Kernkollaps 192
 Die Wissenschaft vom Kollaps der Sterne 193
 Pulsierende Strahlung von Pulsaren 193
 Quasare und Blazare 194
 Das XYZ der AGN: Quasare 195
 Blazare halten die Schwarzen Löcher im Geschäft 195
 Explosionen in der Ferne: Gammablitz 197

TEIL III

GALAXIEN: TEAMWORK MACHT DEN TRAUM WAHR 199**Kapitel 9****Von verschwommenen Klecksen zu stattlichen Spiralen:
die Milchstraße und andere Galaxien 201**

Wo in der Welt sind wir?	202
Die Untersuchung der Galaxie	203
Eine Reise durch die Milchstraße	203
Das Geheimnis lüften	205
Galaxien und andere unscharfe Objekte werden zu Messier-Objekten	205
Das Hubble-Rätsel	205
Standardkerze und Rotverschiebung	206
Klassifizierung von Galaxien	208
Sterne und Gase von ungewöhnlicher Schönheit: Spiralgalaxien	210
Niemals Brennpunkte verlieren: elliptische Galaxien	211
Linsenförmige Galaxien sind geformt wie ... raten Sie mal!	213
Die Reste der letzten Nacht in einem universellen Maßstab: irreguläre Galaxien	214

Kapitel 10**Die Quantifizierung des Unbekannten oder die Art,
wie Galaxien funktionieren 215**

Mit dem Verständnis der Entwicklung von Galaxien das Universum enträtseln	216
Das galaktische Ausgangsmaterial: keine EM-Strahlung für Sie!	216
Die Dreifaltigkeit: Dominanz, Instabilität und Kollaps der Gravitation	217
Der letzte Schub: die Rolle von Drehmoment und Drehimpuls bei der Gravitation	218
Mechanik eines Sternsystems	219
Die galaktische Struktur	220
Eine Bestandsaufnahme der Teile	222
Der stellare Inhalt von Galaxien	223
Emissionen von aktiven und inaktiven Galaxien	224
Zwei große und aktive: Seyfert- und Radiogalaxien	226
Schwarze Löcher und ihre Rolle in Galaxien	228
Schwarze Löcher, die Donut-Löcher der Galaxie	228
Dynamik und Beobachtung	229
Das Hubble-Tiefenfeld	230

Kapitel 11**Größer als riesig: Galaxienhaufen 233**

Freunde finden: Die Grundlagen von Galaxienhaufen	234
Schätzung der Masse: Der Virialsatz, der Sunyaev-Zel'dovich-Effekt und anderes	236

Verteilung der Galaxien im Weltraum.....	238
Unser eigener Galaxienhaufen: Die Lokale Gruppe.....	239
Lokal, lokal, lokal	239
Einzelne Galaxien.....	240
Die Struktur und Bildung von Galaxienhaufen	241
Der Dauerbrenner: Die Rolle der Gravitation	242
Röntgenstrahlen und das Intracluster-Medium (ICM)	243
Die Physik der Galaxienhaufen	245
Die einzigartige Wechselwirkung der Dunklen Materie mit Baryonen	245
Sie bringen Leben in die Bude: Gravitationsstörungen und Stoßwellen	247
Immer unter Druck: thermische Strahlung in Gasen	248
Die Fusion von Galaxien und Haufen	249
Eine unfreiwillige Geschichte der Übernahme: LMC und SMC	249
Die Vorhersage durch Computermodellierung	251
Kollisionen von Galaxienhaufen	251
Was Galaxienhaufen über das Universum erzählen	252
Größer kann besser sein.	253
Chemische Emissionen als Wahrsager	254
Veränderung ist schwer: langsame Veränderungen in Galaxienhaufen	255

Kapitel 12 **Seltene und verrückte galaktische Phänomene 257**

Nicht gerade Dinosaurier: galaktische Archäologie	258
Woraus kleine Sterne gemacht sind	259
Sternenalter und Astroseismologie.	259
Galaktische Verschmelzungen aufspüren	260
Hochenergie-Astrophysik	261
Triple E: extreme energetische Ereignisse	262
Woher wissen wir das? ALMA, Hubble, JWST, Chandra und andere	263
Erstklassige Beispiele: aktive galaktische Kerne, Gammablitz, Supernovae.....	265
Der Gravitationslinseneffekt	266
Die Beugung des Lichts.....	267
Starker, schwacher und Mikrolinseneffekt.....	270
Auf dem Weg ins Wurmloch.....	271
Ein Wurmloch mit einem anderen Namen ... die Einstein-Rosen-Brücke.....	272
Die Verbindung zwischen Wurmlöchern und der Stringtheorie herstellen	273

TEIL IV

KOSMOLOGIE: DER ANFANG UND DAS ENDE VON ALLEM..... 275

Kapitel 13**Der Urknall: wie alles begann 277**

Was soll das? Ein Leitfaden zur Kosmologie	278
Zur Sache kommen: der Urknall	278
Die Ausdehnung des Universums, nicht Ihre Lebensmittelrechnung: die kosmische Inflation	280
Entstehung der fundamentalen Teilchen	280
Zu früh zum Glänzen und Funkeln	281
Wissenschaftliche Beweise: Warum glauben wir, dass es einen Urknall gab?	281
Das Hubble-Gesetz und die Ausdehnung des Universums	282
Nicht für Popcorn: die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung	283
Die Ära der primordialen Nukleosynthese (BBN)	284
Widerlegung der Steady-State-Theorie	285
Mit der kosmologischen Inflation dem Unvorstellbaren einen Sinn geben	286
Das Flachheitsproblem	286
CMB und eine einheitliche Temperatur	287
Was die Verteilung der Galaxienhaufen besagt	288
Die Dominanz der Strahlung in der Strahlungs-Ära	288
Nichts ist so wichtig wie die Materie in der Materie-Ära	292
Metrische Expansion des Universums: das kosmologische Prinzip	294
Wir sind nichts Besonderes: das kopernikanische Prinzip	294
Hubble und die Ausdehnung des Universums in alle Richtungen	295
Der Urknall: Strahlung und Temperaturfluktuationen	296
Eine konstante Ausdehnung, aber mit ungleichmäßiger Geschwindigkeit	297
Die Zukunft der direkten Messung	297

Kapitel 14**Das erste Licht im Universum oder wie ein
Stern geboren wird 299**

Das dunkle Zeitalter der Kosmologie	300
Der Urknall kühlte die Hitze	300
Die Bildung von neutralen Wasserstoffatomen und der kosmischen Hintergrundstrahlung	300
Das Kräuseln im Universum oder die Bildung von Galaxien	302
Das Ende einer Ära: die kosmische Morgendämmerung	302
Die frühe Sternentstehung	303
Der Ursprung im primordialen Gas	303
Die Kernfusion als Retter in der Not	303
Klassifikation der Sterne: Population III	304
Kein Platz für Diäten: sehr frühe Sterne = massereich + geringer Metallgehalt	305

Eine Folge der Supernovae: die Entstehung schwerer Elemente 306
 Mehr Metalle für die Sterne der nächsten Generation: Kohlenstoff,
 Sauerstoff, Eisen und schwerere Elemente 306
 Die Klassifikation der Sterne: die Populationen I und II. 307
 Die Population II: die ältesten beobachteten Sterne,
 die vor 1 bis 15 Milliarden Jahren entstanden 308
 Die Population I: die jungen Sterne, die vor 1 Million bis
 10 Milliarden Jahren entstanden 309
 Die Epoche der Reionisierung 310
 Energieblasen und die Ionisierung 311
 Es werde Licht. 312
 Die Entstehung der ersten Galaxien 313
 Gegensätze ziehen sich an (oder auch nicht)! 313
 Die Fortsetzung der Entwicklung und die Entstehung neuer Galaxien 314

Kapitel 15
Jetzt wird es noch unheimlicher: Dunkle Materie,
Dunkle Energie und Relativitätstheorie 315

Allgemeine Fakten zur allgemeinen Relativitätstheorie. 316
 Speziell halten. 316
 Einsteins Erklärung der Wechselwirkung der
 Gravitation mit der Raumzeit. 317
 Die Krümmung der Raumzeit und die Gesamtkräfte 319
 Die drei Tests für die allgemeine Relativitätstheorie 320
 Fortschrittliche Theorien erfordern fortschrittliche Modelle 322
 Löcher und Wellen. 322
 Erste Modelle der allgemeinen Relativitätstheorie:
 ein stabiles Universum und seine Herausforderer 323
 Einsteins »größter Fehler« und seine Neuinterpretation. 323
 Galaktischer Klebstoff: Dunkle Materie 325
 Die Dunkelheit aufspüren. 326
 Seien Sie kein Schwächling: schwach wechselwirkende
 massereiche Teilchen – WIMPs 327
 Manche mögen's heiß, manche mögen's kalt 329
 Die Dunkle Energie im Überblick. 330
 Warum braucht man Dunkle Energie? 330
 Eine Geschichte der beschleunigten Expansion 331
 Woher kommt die Dunkle Energie? 332
 Ursprünge der Dunklen Energie 1: (wieder) Einstein
 und die kosmologische Konstante 333
 Ursprünge der Dunklen Energie 2: die Quantentheorie 334
 Ursprünge der Dunklen Energie 3: die Quintessenz. 335
 Die Ursprünge der Dunklen Energie 4: Tachyonen
 bewegen sich schneller als das Licht. 335
 Die Ursprünge der Dunklen Energie 5:
 Einstein und die Gravitation infrage stellen. 336
 Der Standard der Kosmologie:
 das Lambda-CDM-Modell (Λ CDM). 336

Kapitel 16**Das Ende von allem** **339**

Keine Rückerstattung: Was passiert, wenn die Sonne explodiert?	339
Das (Wasserstoff-)Gas geht zur Neige.	340
Tschüss, Leben auf der Erde.	340
Der Dichteparameter des Universums.	342
Es wird kritisch: die kritische Dichte	344
Die Berechnung von Omega.	345
WMAP- und Planck-Missionen	346
Künftige Arbeiten zur kritischen Dichte	347
Das große Einfrieren: ein Ende der Theorie des Universums.	349
Die letzten Sterne erlöschen	349
Hinter dem Horizont: Galaxien jenseits der Sichtweite	351
Eine entartete Ära	352
Wärmetod des Universums	352
Das große Zerreißen: ein anderes Ende des Universums.	353
Die Dynamik: die Dunkle Energie verändert sich mit der Zeit.	354
Das Phantom Dunkle Energie	354
Das große Zusammenkrachen: ein weiteres Ende in der Theorie des Universums.	355
Erst ausdehnen, dann schrumpfen.	356
Spielverderber: die Dunkle Energie könnte dazwischenkommen	356
Vor dem Nichts: Gab es irgendetwas vor dem Urknall?	357
Das anthropische Prinzip: Warum erlauben die Gesetze der Physik überhaupt die Materie und das Leben?	357
Vorher und nachher: die Theorie des zyklischen Universums	359
Am Ende angekommen – aber wie wird es enden?	359
Die Higgs-Welt: der Vakuumzerfall, das Higgs-Boson und das Higgs-Feld.	360
Künftige Beobachtungen der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung und der Dunklen Energie	361
Hinweise vom JWST und den frühesten Galaxien	362

TEIL V**DER TOP-TEN-TEIL** **363****Kapitel 17****Zehn Wissenschaftler, die der Astrophysik****den Weg ebneten** **365**

Albert Einstein: 1879–1955.	365
Edwin Hubble: 1889–1953	365
Cecelia Payne-Gaposchkin: 1900–1979	366
Karl Jansky: 1905–1950	366
Subrahmanyan Chandrasekhar: 1910–1995	366
Vera Rubin: 1928–2016	367
Kip Thorne: geb. 1940	367

Stephen Hawking: 1942–2018 367
 Jocelyn Bell Burnell: geb. 1943. 368
 Alan Guth: geb. 1947. 368

Kapitel 18
Zehn wichtige Weltraummissionen in der Astrophysik..... 369

Hubble-Weltraumteleskop (1990 bis heute) 369
 James-Webb-Weltraumteleskop (2021 bis heute). 370
 Kepler (2009–2018) und TESS (2018 bis heute). 371
 SOFIA (2010–2022). 371
 Chandra-Röntgenteleskop (1999 bis heute) 372
 Spitzer-Weltraumteleskop (2003–2020) 373
 Compton-Gammastrahlen-Observatorium (1991–2000). 373
 Fermi-Gammastrahlen-Weltraumteleskop (2008 bis heute). 374
 Herschel-Weltraumobservatorium (2009–2013). 375
 Nancy-Grace-Roman-Weltraumteleskop (geplanter Start 2027) 375

Glossar 377

Abbildungsverzeichnis 383

Stichwortverzeichnis 391

