

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
Goldlöckchen 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

Weiße 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: Gammablitze	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 Intracuster-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

Seltsame 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, Gammablitze,
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