

# INHALT

|         |   |    |
|---------|---|----|
| Vorwort | . . . . .   | XI |
| 1.      | Einleitung . . . . .                                | 1  |
| 1.1     | Erster Überblick . . . . .                          | 1  |
| 1.11    | Ein typisches Beispiel . . . . .                    | 1  |
| 1.12    | Einteilung des Buches . . . . .                     | 2  |
| 1.13    | Größenverhältnisse im Weltall . . . . .             | 2  |
| 1.2     | Geschichte der Astronomie . . . . .                 | 4  |
| 1.3     | Astronomie und Physik . . . . .                     | 8  |
| 2.      | Sphärische Astronomie und Himmelsmechanik . . . . . | 11 |
| 2.1     | Koordinatensysteme . . . . .                        | 11 |
| 2.2     | Die Zeit . . . . .                                  | 22 |
| 2.3     | Die Erde als Kreisel . . . . .                      | 31 |
| 2.4     | Kinematik und Aspekte der Planeten . . . . .        | 39 |
| 2.5     | Dynamik der Bewegung von Himmelskörpern . . . . .   | 44 |
| 2.51    | Die Keplerschen Gesetze . . . . .                   | 44 |
| 2.52    | Das Gravitationsgesetz . . . . .                    | 45 |
| 2.53    | Das Zweikörperproblem . . . . .                     | 47 |
| 2.54    | Bahnelemente . . . . .                              | 50 |
| 2.55    | Zeitlicher Ablauf der Zweikörperbewegung . . . . .  | 53 |
| 2.56    | Das Dreikörperproblem . . . . .                     | 55 |
| 2.6     | Raumflugmechanik . . . . .                          | 57 |
| 2.61    | Einfache Beispiele . . . . .                        | 57 |
| 2.62    | Antrieblose Raumflugbahnen . . . . .                | 63 |
| 2.63    | Swingby-Technik . . . . .                           | 70 |
| 2.64    | Bahnen mit schwachem Schub . . . . .                | 73 |
| 2.7     | Gezeiten . . . . .                                  | 75 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 3.   | Das Planetensystem . . . . .                               | 79  |
| 3.1  | Der Planet Erde . . . . .                                  | 79  |
| 3.11 | Erdgestalt . . . . .                                       | 79  |
| 3.12 | Masse und Dichte der Erde . . . . .                        | 82  |
| 3.13 | Aufbau des Erdkörpers . . . . .                            | 83  |
| 3.14 | Aufbau der Atmosphäre . . . . .                            | 87  |
| 3.15 | Atmosphäre und Strahlung . . . . .                         | 92  |
| 3.16 | Die Magnetosphäre . . . . .                                | 97  |
| 3.2  | Die anderen Planeten . . . . .                             | 101 |
| 3.21 | Überblick . . . . .  | 101 |
| 3.22 | Merkur . . . . .   | 103 |
| 3.23 | Venus . . . . .  | 109 |
| 3.24 | Mars . . . . .   | 117 |
| 3.25 | Jupiter . . . . .  | 122 |
| 3.26 | Äußere Planeten . . . . .                                  | 131 |
| 3.3  | Kleinkörper . . . . .                                      | 137 |
| 3.31 | Monde . . . . .  | 137 |
| 3.32 | Kleinplaneten . . . . .                                    | 143 |
| 3.33 | Kometen . . . . .  | 146 |
| 3.4  | Der interplanetare Raum . . . . .                          | 152 |
| 3.41 | Sonnenwind . . . . .                                       | 152 |
| 3.42 | Kosmischer Staub . . . . .                                 | 155 |
| 4.   | Die Sonne . . . . .  | 164 |
| 4.1  | Allgemeine Daten . . . . .                                 | 164 |
| 4.2  | Die Sonne als Gaskugel . . . . .                           | 169 |
| 4.21 | Sonnenatmosphäre und Strahlungstransport . . . . .         | 169 |
| 4.22 | Spektrallinien . . . . .                                   | 174 |
| 4.23 | Innerer Aufbau . . . . .                                   | 177 |
| 4.3  | Die Sonnenatmosphäre und die Aktivität der Sonne . . . . . | 179 |
| 4.31 | Photosphäre . . . . .                                      | 179 |
| 4.32 | Chromosphäre . . . . .                                     | 184 |
| 4.33 | Korona . . . . .   | 191 |
| 4.34 | Radiostrahlung der Sonne . . . . .                         | 196 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.   | Physik der Fixsterne . . . . .                 | 199 |
| 5.1  | Zustandsgrößen . . . . .                       | 199 |
| 5.11 | Helligkeiten . . . . .                         | 200 |
| 5.12 | Absolute Helligkeit . . . . .                  | 202 |
| 5.13 | Spektrale Energieverteilung . . . . .          | 203 |
| 5.14 | Spektraltypen . . . . .                        | 210 |
| 5.15 | Leuchtkraftklasse . . . . .                    | 211 |
| 5.16 | Radius . . . . .                               | 214 |
| 5.17 | Masse . . . . .                                | 217 |
| 5.18 | Dichte und Schwerebeschleunigung . . . . .     | 219 |
| 5.19 | Chemische Zusammensetzung . . . . .            | 219 |
| 5.2  | Zustandsdiagramme . . . . .                    | 220 |
| 5.21 | Hertzprung-Russell-Diagramm (HRD) . . . . .    | 220 |
| 5.22 | Farben-Helligkeits-Diagramm . . . . .          | 223 |
| 5.23 | Masse-Leuchtkraft-Beziehung . . . . .          | 223 |
| 5.3  | Innerer Aufbau der Sterne . . . . .            | 223 |
| 5.31 | Grundgleichungen . . . . .                     | 223 |
| 5.32 | Energieerzeugung . . . . .                     | 230 |
| 5.4  | Sternentwicklung . . . . .                     | 235 |
| 5.41 | Sternentstehung . . . . .                      | 235 |
| 5.42 | Hauptphase der Sternentwicklung . . . . .      | 240 |
| 5.43 | Empirische Beweise . . . . .                   | 250 |
| 5.5  | Bemerkenswerte Sonderfälle . . . . .           | 260 |
| 5.51 | Veränderliche Sterne . . . . .                 | 260 |
| 5.52 | Novae und Supernovae . . . . .                 | 264 |
| 5.53 | Enge Doppelsterne als Röntgenquellen . . . . . | 270 |
| 6.   | Die Milchstraße . . . . .                      | 277 |
| 6.1  | Entfernungsbestimmung im Kosmos . . . . .      | 277 |
| 6.11 | Die trigonometrische Methode . . . . .         | 278 |
| 6.12 | Scheinbare Größe ferner Objekte . . . . .      | 280 |
| 6.13 | Sternstromparallaxen . . . . .                 | 280 |
| 6.14 | Photometrische Entfernungsbestimmung . . . . . | 281 |
| 6.15 | Rotverschiebung . . . . .                      | 283 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 6.2  | Aufbau der Milchstraße . . . . .                              | 284 |
| 6.21 | Räumlicher Aufbau . . . . .                                   | 284 |
| 6.22 | Sternpopulationen . . . . .                                   | 288 |
| 6.3  | Dynamik der Milchstraße . . . . .                             | 290 |
| 6.4  | Interstellare Materie . . . . .                               | 296 |
| 6.41 | Interstellares Gas . . . . .                                  | 297 |
| 6.42 | Staub . . . . .   | 305 |
| 6.43 | Kosmische Strahlung und Gamma-Astronomie . . . . .            | 308 |
| 6.5  | Galaktisches Zentrum . . . . .                                | 315 |
| 7.   | Galaxien . . . . .  | 320 |
| 7.1  | Klassifikation der Galaxien . . . . .                         | 320 |
| 7.2  | Allgemeine physikalische Eigenschaften von Galaxien . . . . . | 322 |
| 7.21 | Rotation und Gesamtmasse . . . . .                            | 322 |
| 7.22 | Leuchtkraft, Zusammensetzung und Spektrum . . . . .           | 326 |
| 7.3  | Verteilung der Galaxien . . . . .                             | 329 |
| 7.31 | Gruppen und Haufen von Galaxien . . . . .                     | 330 |
| 7.32 | Die Lokale Gruppe . . . . .                                   | 333 |
| 7.4  | Radiogalaxien . . . . .                                       | 334 |
| 7.41 | Cygnus A (3 C 405) . . . . .                                  | 337 |
| 7.42 | Centaurus A (NGC 5128) . . . . .                              | 337 |
| 7.43 | Weitere Radiodoppelquellen . . . . .                          | 339 |
| 7.44 | Einzelquellen . . . . .                                       | 339 |
| 7.45 | Theoretische Deutungsversuche . . . . .                       | 341 |
| 7.5  | Aktive Galaxien . . . . .                                     | 342 |
| 7.51 | „Explodierende“ Galaxien . . . . .                            | 342 |
| 7.52 | Seyfert-Galaxien und ähnliche Objekte . . . . .               | 343 |
| 7.53 | Quasare . . . . .   | 344 |
| 8.   | Das Weltall . . . . .   | 347 |
| 8.1  | Kosmologie und kosmologische Prinzipien . . . . .             | 347 |
| 8.2  | Klassische Vorüberlegungen . . . . .                          | 348 |
| 8.21 | Olberssches Paradoxon . . . . .                               | 348 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 8.22 | Dynamik . . . . .                                  | 349 |
| 8.23 | Fluchtbewegung . . . . .                           | 350 |
| 8.24 | Expansion und Weltalter . . . . .                  | 351 |
| 8.3  | Relativistische Weltmodelle . . . . .              | 353 |
| 8.31 | Grundlagen und Anschauungshilfen . . . . .         | 353 |
| 8.32 | Standard-Weltmodelle . . . . .                     | 359 |
| 8.4  | Vergangenheit und zukünftige Entwicklung . . . . . | 362 |
| 8.41 | Weltalter und Urknall . . . . .                    | 362 |
| 8.42 | Zukünftige Entwicklung . . . . .                   | 364 |

## Anhang

|   |     |
|---|-----|
| Literatur . . . . .                     | 369 |
| Bücher . . . . .                        | 369 |
| Zeitschriftenartikel, Reports . . . . . | 371 |
| Abbildungsnachweis . . . . .            | 375 |
| Stichwortverzeichnis . . . . .          | 379 |