

Inhalt

Vorwort▷ 21

Vorwort für ein großartiges Unterfangen▷ 23

Wie die Physik zu mir kam▷ 24

1 Wellenreiter▷ 31

Das Licht und sein Doppelleben

1.1 Welle oder Teilchen▷ 38

Warum sich das Licht nicht in Schubladen stecken lässt

Wie Newton das Licht auseinandernahm▷ 38

Der Streit beginnt▷ 39

Die Eigenschaften von Wellen und Teilchen▷ 39

Die Korpuskeltheorie▷ 41

Das Huygens'sche Prinzip▷ 42

Wer hatte recht?▷ 43

Das Doppelspaltexperiment▷ 43

Der Welle-Teilchen-Dualismus▷ 47

Doppelspaltexperiment 2.0▷ 51

1.2 Was die Welt im Innersten zusammenhält ----▷ 56

Ein Einblick in das Reich der Quantenmechanik

<i>Die große Revolution des ganz Kleinen</i>	▷ 56
<i>Die Erkenntnisse der Quantenrevolution</i>	▷ 57
<i>Die Heisenberg'sche Unschärferelation</i>	▷ 60
<i>Warum sehen wir überhaupt etwas?</i>	▷ 62
<i>Sockenversuch Nummer 1</i>	▷ 62
<i>Sockenversuch Nummer 2</i>	▷ 66
<i>Sockenversuch Nummer 3</i>	▷ 70
<i>Zurück beim Welle-Teilchen-Dualismus</i>	▷ 71
<i>Bilderverbot</i>	▷ 73
<i>Unwahrscheinlich unwahrscheinlich</i>	▷ 75

1.3 Ein Photon kommt selten allein ▷ 77 |

Das Licht in seiner Rolle als Elementarteilchen

<i>Die Suche nach den Zutaten des Universums</i>	▷ 77
<i>Die Eigenschaften der Elementarteilchen</i>	▷ 78
<i>Das Photon und sein Bekanntenkreis</i>	▷ 82
<i>Fermionen sind verfeindet</i>	▷ 82
<i>Bosonen lieben sich</i>	▷ 85
<i>Halb oder ganz? Die Sache mit dem Spin</i>	▷ 85
<i>Kommunismus pur</i>	▷ 89
<i>Das Kräfteressen der Bosonen</i>	▷ 90
<i>Das Photon</i>	▷ 94

1.4 Das Licht zeigt sein GesichtD 104

Über eine Kraft namens Elektromagnetismus

Der elektromagnetische DreiklangD 104

Binahe blindD 108

Unterwegs auf kurzen WellenD 109

Unterwegs auf langen WellenD 117

Ins Rote verschobenD 118

Licht ist InformationD 123

Licht wird geborenD 123

Wie das Licht schwingtD 127

1.5 Photon liebt ElektronD 133

Wie das Licht Materie sichtbar macht

Der etwas andere Jo-Jo-EffektD 133

Vom Verschlucken und WiederausspuckenD 138

Die Geburtshelfer des LichtsD 139

Wenn das Photon mit dem ElektronD 143

Die Pigmentierung der MaterieD 145

2 Zurück in die Vergangenheit▷ 153

Warum nichts schneller ist als das Licht

2.1 Scheitern an der Schnelligkeit▷ 156

Wie das Licht der Wissenschaft lange Zeit davoneilte

Dem Licht auf der Spur▷ 156

Das berühmteste misslungene Experiment aller Zeiten▷ 157

2.2 Jonglieren mit Raum und Zeit▷ 163

Warum die Lichtgeschwindigkeit schuld daran ist,

wenn der Verstand seinen Dienst quittiert

Einstein und das Licht▷ 163

Die Gedanken sind frei – Raum und Zeit sind es nicht▷ 164

Kissenkonstellation, die erste▷ 167

Kissenkonstellation, die zweite▷ 170

Kissenkonstellation, die dritte▷ 171

Die Sturheit des Lichts▷ 177

Kistenkonstellation, die erste▷ 187

Kistenkonstellation, die zweite, und die Dehnung der Zeit▷ 190

Kistenkonstellation, die dritte, und das Stauchen der Länge▷ 194

Kistenkonstellation, die vierte, und das Zunehmen der Masse▷ 195

Aus Jahren Tage machen▷ 202

Die anderstickende Welt▷ 209

2.3 Das Ewiggestrige▷ 213

Warum wir niemals sehen werden, was wirklich gerade passiert

Die Geschichte des Universums von hinten aufrollen▷ 213

Unsere Reise in die Vergangenheit beginnt▷ 218

3 Kalt, klein, allein▷ 221

Die Sonne als unteres Mittelmaß

3.1 Rätselhaftes Dauerfeuer▷ 224

Das große Grübeln über die Energiequelle der Sonne

Warum scheint eigentlich die Sonne?▷ 224

3.2 Energie für Einsteiger▷ 228

Eine kleine Vorstellungsrunde ihrer Erscheinungsformen

Ohne Energie geht gar nichts▷ 228

Thermische Energie und Temperatur▷ 229

Äquivalenzmasse und gravitative potenzielle Energie▷ 236

3.3 Wie heiß, wie groß, wie schwer?▷ 237

Eine Bestandsaufnahme unserer Sonne

Die Anarchie der geladenen Teilchen▷ 237

Fakten, Fakten, Fakten▷ 239

3.4 Schwindelnde Höhen▷ 242

Eine Exkursion in die Sonnenatmosphäre

Weitab vom Schuss▷ 242

Eine starke Brise▷ 249

Die Schlechtwetterfront der Sonne▷ 252

3.5 Das Sprungbrett des Lichts	▷ 259
<i>An der Sonnenoberfläche geht es rund</i>	
<i>Kein fester Boden unter den Füßen</i>	▷ 259
<i>Alles andere als makellos</i>	▷ 260
<i>Irrungen und Wirrungen</i>	▷ 264
<i>Der Wunsch der Sonne nach Veränderung</i>	▷ 265
<i>Eisige Zeiten</i>	▷ 266
3.6 Das Licht als Kämpfernatur	▷ 268
<i>Warum die Photonen in der Sonne nichts zu lachen haben</i>	
<i>Eine Fahrkarte Richtung Ausgang, bitte!</i>	▷ 268
<i>Auf Zickzackkurs</i>	▷ 280
<i>Drückend heiß</i>	▷ 281
3.7 Von einem Element zum nächsten	▷ 282
<i>Warum sich Kernreaktionen lohnen</i>	
<i>Grundkurs Kernphysik, Lektion 1: Die Kernladung</i>	▷ 283
<i>Grundkurs Kernphysik, Lektion 2: Fusion und Fission</i>	▷ 284
<i>Eigentlich zu kalt und klein, um ein echter Stern zu sein</i>	▷ 286
<i>Ominöses Durchtunneln</i>	▷ 287
<i>Die Sonne verbrennt ineffizient</i>	▷ 298
3.8 Kochrezept für eine Portion Energie	▷ 301
<i>Aus Wasserstoff wird Helium</i>	
<i>Proton trifft Proton</i>	▷ 301
<i>1 plus 1 ist weniger als 2</i>	▷ 312
3.9 Alles eine Frage der Balance	▷ 317
<i>Die Sonne und ihr Gleichgewichtssinn</i>	
<i>Ganz schön raffiniert</i>	▷ 318
<i>Die Sonne wächst und schrumpft zugleich</i>	▷ 320

4 Wolkenbruch▷ **325**

Von kühlen Krümeln zum strahlenden Stern

4.1 Alles dreht sich um die Sonne▷ **328**

Eine Inventur des Sonnensystems

Ein strenges Regiment▷ 328

Vor allem leerer Raum▷ 335

In direkter Nachbarschaft – die terrestrischen Planeten▷ 339

Der mickrige Merkur▷ 339

Die rechtsdrehende Venus▷ 341

Der Glücksfall Erde▷ 343

Der massive Mond▷ 345

Der rostige Mars▷ 348

Der krümelige Asteroidengürtel▷ 349

In weiter Ferne – die jovianischen Planeten▷ 349

Der wuchtige Jupiter▷ 351

Der extravagante Saturn▷ 352

Der umgefallene Uranus▷ 355

Der knallblaue Neptun▷ 358

Der Sonderling Pluto im eisigen Kuipergürtel▷ 360

Die chaotische Oort'sche Wolke▷ 364

4.2 Kampf der Kräfte▷ **368**

Wie die Sonne sich in ihre Existenz stürzte

Die Nebulartheorie▷ 368

Gravitation versus thermischer Druck▷ 369

Vom Vorhauptreihenstern zum Hauptreihenstern▷ 369

Vom Protostern zum Vorhauptreihenstern▷ 374

Die Fülle der Hülle▷ 378

Leise rieselt der Staub...▷ 383

Wie die Sonne ihre Rotation loswurde▷ 386

Lichtkeulen im Doppelpack▷ 387

4.3 Die Reste vom FesteD 391

Wie aus Krümeln Planeten entstanden

Die Überreste der SternentstehungD 391

Die Sturm-und-Drang-Phase des Sonnensystems

und wie die Erde zum Wasser kamD 392

Mond, wo kommst du denn her?D 394

Auch Planeten fingen einmal klein anD 400

SternenpaareD 407

4.4 Kleine Krümel, große WirkungD 409

Die ersten Gehversuche unseres werdenden Sterns

Viel Wirbel um die SonneD 409

Freier FallD 414

Lichte DichteD 419

4.5 Kühlende Moleküle und andereD 423

praktische Dinge

Wege zur klirrenden Kälte, damit ein heißer Stern entstehen kann

Vom Molekül zum SternD 423

Staub als praktisches HelferleinD 424

Die Wolke schwitztD 428

Zappeln und RotierenD 429

Elektronen-PingpongD 435

GrüppchenbildungD 440

Zwei Phänomene mit seltsamen NamenD 441

Magnetfelder – Fluch und Segen für den KollapsD 445

Wie der Ball ins Rollen kamD 447

5 Die dunklen Zeiten▷ 449 sind vorbei

Der erste Stern macht das Licht an

5.1 Startschuss für den Kollaps▷ 452

Warum unsere Molekülwolke in sich zusammenbrach

Turbulente Teilchen▷ 452

Eine rasende Blase▷ 456

Ein platzender Stern▷ 457

5.2 Die Sache mit dem Sternenstaub▷ 462

Wiederverwertung im All

Ein Stern geht, der nächste kommt▷ 462

92 Prozent Sternenstaub▷ 466

5.3 Der erste Stern vergeht▷ 469

Der Materiekreislauf beginnt

I, II oder III?▷ 469

Die Egozentriker unter den Sternen▷ 470

Andenken im All▷ 475

5.4 Damit die Chemie stimmt▷ 484

Wie die schweren Elemente entstehen

<i>Nutzen und Aufwand</i>	▷ 485
<i>Heiße Protonenküche</i>	▷ 486
<i>Schnelle Neutronenküche</i>	▷ 488
<i>Gemütliche Neutronenküche</i>	▷ 494
<i>Sternenzwiebel</i>	▷ 494
<i>Untätiges Eisen</i>	▷ 499
<i>Das Silicium brennt!</i>	▷ 500
<i>Gefangenes Helium</i>	▷ 505
<i>Der Sauerstoff brennt!</i>	▷ 508
<i>Das Neon brennt!</i>	▷ 509
<i>Der Kohlenstoff brennt!</i>	▷ 514
<i>Das Helium brennt!</i>	▷ 515
<i>Der Wasserstoff brennt!</i>	▷ 520
<i>Ausgebrannt...</i>	▷ 521

5.5 Mutation zur Zwiebel▷ 528

Schichtarbeit in einem sterbenden Stern

<i>Eine Schicht jagt die nächste</i>	▷ 528
<i>Da waren es nur noch vier...</i>	▷ 533
<i>Da waren es nur noch drei...</i>	▷ 535
<i>Da waren es nur noch zwei...</i>	▷ 536
<i>Rote Riesen auf Diät</i>	▷ 540
<i>Wasserstoff ist aus</i>	▷ 541
<i>Vom Unterriesen zum Roten Riesen</i>	▷ 543
<i>Die Ruhe vor dem Sturm</i>	▷ 543
<i>Übrigens...</i>	▷ 547

5.6 Nichts als Schatten▷ 560

Wenn selbst das Licht nicht mehr entkommen kann

Historische Überlegungen zu Schwarzen Löchern▷ 550
Schwarz, schwer, singulär▷ 555
Sturz ins Bodenlose▷ 557
Informationsverweigerer▷ 565
Vorsicht, bissig: Relativitätstheorie trifft Quantenmechanik▷ 565
Hinterm Horizont...▷ 570
Licht in der Linse▷ 576
Knautschsonne▷ 581
Zeitlos▷ 583

5.7 Es werde Licht!▷ 596

Der erste Stern wird geboren

Kurswechsel im Kosmos▷ 596
Metallmangel▷ 606
Erschwerte Startbedingungen▷ 607
Das Licht geht an▷ 613
Die Population-III-Sterne lassen noch auf sich warten▷ 618

6 Vorhang auf▷ **623**

Das Licht lernt laufen

6.1 Lückenhaft▷ **626**

Das Zeitalter des Kontrasts

Die Ära der Galaxien▷ **626**

6.2 Nicht viel mehr als einfach nur schwer▷ **628**

Von Dunkler Materie und düsteren Zeiten

Schwer unsichtbar▷ **628**

Machos▷ **634**

Weicheier▷ **636**

Tiefe Töpfe▷ **639**

Die Ära der Atome▷ **643**

6.3 Unglaublich, unerhört und unverschämt▷ **650**

Das Universum hatte einen Anfang

Hubbles Glückstreffer▷ **650**

Gestern kleiner als heute▷ **654**

6.4 Hinter kosmischen Gardinen▷ **658**

Das Zeitalter der Helligkeit

Erst hell, dann dunkel▷ **658**

Taubenkot und andere merkwürdige Vorfälle▷ **659**

Hintergrundrauschen▷ **661**

Die Unabhängigkeitserklärung der Materie▷ **666**

Fast zu perfekt, um wahr zu sein▷ **685**

7 Der Tag ohne Gestern▷ 691

Eine logische Katastrophe und ihre Folgen

7.1 Dunkel, dünn, kalt und alt▷ 694

Vom heutigen Universum sur Urknalltheorie

Das Echo des Urknalls▷ 694

7.2 Energie liegt in der Luft▷ 698

Kernreaktionen unter freiem Himmel

Die Ära der Atomkerne▷ 698

Die Nukleosynthese-Ära▷ 699

Hallo, Helium!▷ 702

Das Schicksal der Neutronen▷ 703

7.3 Eins gegen eine Milliarde▷ 708

Vom Schicksal des letzten Antiteilchens

Die Hadronen-Ära▷ 708

7.4 Das letzte Zerwürfnis▷ 722

Vom Ausflocken der Kräfte

Die elektroschwache Ära▷ 722

7.5 Inflationär!D 727

Alles wird GUT

Die Große Vereinheitlichte TheorieD 727

Fragen über FragenD 732

Inflationäre KlümpchenbildungD 733

Inflationärer EinheitsbreiD 736

Inflationär platt gedrücktD 743

Beweise, bitte!D 755

7.6 Katastrophale KausalitätD 757

Der Anfang ohne Anstoß

Die Planck-ÄraD 757

Der erste SymmetriebruchD 765

Und was war davor?D 779

7.7 Licht im DunkelD 786

Von zufälligen Absichten

Im SternenhimmelD 786

Danke, Licht!D 792

AnhangD 807

NachwortD 809

IndexD 812

BibliografieD 856