

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



Verlagsgruppe Random House FSC®-N001967

Das für dieses Buch verwendete FSC®-zertifizierte Papier

Maxioffset von UPM liefert Igépa

1. Auflage

© 2013 by C. Bertelsmann Verlag, München,

in der Verlagsgruppe Random House GmbH

Lektorat: Christina Riemann

Umschlaggestaltung: buxdesign, München/Daniela Leitner, Helmbrechts

Layout, Satz, Fotos und Grafiken: Daniela Leitner, Helmbrechts

Druck und Bindung: Druckerei Uhl GmbH & Co KG, Radolfzell

Printed in Germany

ISBN 978-3-570-10184-1

www.cbertelsmann.de

1.2 Was die Welt im Innersten zusammenhältD 56

Ein Einblick in das Reich der Quantenmechanik

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

1.3 Ein Photon kommt selten alleinD 77

Das Licht in seiner Rolle als Elementarteilchen

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

1.4 Das Licht zeigt sein GesichtD 104

Über eine Kraft namens Elektromagnetismus

Der elektromagnetische Dreiklang	D 104
Beinahe blind	D 108
Unterwegs auf kurzen Wellen	D 109
Unterwegs auf langen Wellen	D 117
Ins Rote verschoben	D 118
Licht ist Information	D 123
Licht wird geboren	D 123
Wie das Licht schwingt	D 127

1.5 Photon liebt ElektronD 133

Wie das Licht Materie sichtbar macht

Der etwas andere Jo-Jo-Effekt	D 133
Vom Verschlucken und Wiederausspucken	D 138
Die Geburtshelfer des Lichts	D 139
Wenn das Photon mit dem Elektron	D 143
Die Pigmentierung der Materie	D 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 LichtsD 259

An der Sonnenoberfläche geht es rund

Kein fester Boden unter den FüßenD 259

Alles andere als makellosD 260

Irrungen und WirrungenD 264

Der Wunsch der Sonne nach VeränderungD 265

Eisige ZeitenD 266

3.6 Das Licht als KämpfernaturD 268

Warum die Photonen in der Sonne nichts zu lachen haben

Eine Fahrkarte Richtung Ausgang, bitte!D 268

Auf ZickzackkursD 280

Drückend heißD 281

3.7 Von einem Element zum nächstenD 282

Warum sich Kernreaktionen lohnen

Grundkurs Kernphysik, Lektion 1: Die KernladungD 283

Grundkurs Kernphysik, Lektion 2: Fusion und FissionD 284

Eigentlich zu kalt und klein, um ein echter Stern zu seinD 286

Ominöses DurchtunnelnD 287

Die Sonne verbrennt ineffizientD 298

3.8 Kochrezept für eine Portion EnergieD 301

Aus Wasserstoff wird Helium

Proton trifft ProtonD 301

1 plus 1 ist weniger als 2D 312

3.9 Alles eine Frage der BalanceD 317

Die Sonne und ihr Gleichgewichtssinn

Ganz schön raffiniertD 318

Die Sonne wächst und schrumpft zugleichD 320

4 WolkenbruchD 325

Von kühlen Krümeln zum strahlenden Stern

4.1 Alles dreht sich um die SonneD 328

Eine Inventur des Sonnensystems

Ein strenges RegimentD 328

Vor allem leerer RaumD 335

In direkter Nachbarschaft – die terrestrischen PlanetenD 339

Der mickrige MerkurD 339

Die rechtsdrehende VenusD 341

Der Glücksfall ErdeD 343

Der massive MondD 345

Der rostige MarsD 348

Der krümelige AsteroidengürtelD 349

In weiter Ferne – die jovianischen PlanetenD 349

Der wuchtige JupiterD 351

Der extravagante SaturnD 352

Der umgefallene UranusD 355

Der knallblaue NeptunD 358

Der Sonderling Pluto im eisigen Kuiper-gürtelD 360

Die chaotische Oort'sche WolkeD 364

4.2 Kampf der KräfteD 368

Wie die Sonne sich in ihre Existenz stürzte

Die NebulartheorieD 368

Gravitation versus thermischer DruckD 369

Vom Vorhauptreihenstern zum HauptreihensternD 369

Vom Protostern zum VorhauptreihensternD 374

Die Fülle der HülleD 378

Leise rieselt der Staub...D 383

Wie die Sonne ihre Rotation loswurdeD 386

Lichtkeulen im DoppelpackD 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 ZeitenD 449
sind vorbei

Der erste Stern macht das Licht an

5.1 Startschuss für den KollapsD 452

Warum unsere Molekülwolke in sich zusammenbrach

Turbulente TeilchenD 452

Eine rasende BlaseD 456

Ein platzender SternD 457

5.2 Die Sache mit dem SternenstaubD 462

Wiederverwertung im All

Ein Stern geht, der nächste kommtD 462

92 Prozent SternenstaubD 466

5.3 Der erste Stern vergehtD 469

Der Materiekreislauf beginnt

I, II oder III?D 469

Die Egozentriker unter den SternenD 470

Andenken im AllD 475

5.4 Damit die Chemie stimmtD 484

Wie die schweren Elemente entstehen

Nutzen und AufwandD 485
Heiße ProtonenkücheD 486
Schnelle NeutronenkücheD 488
Gemütliche NeutronenkücheD 494
SternenzwiebelD 494
Untätiges EisenD 499
Das Silicium brennt!D 500
Gefangenes HeliumD 505
Der Sauerstoff brennt!D 508
Das Neon brennt!D 509
Der Kohlenstoff brennt!D 514
Das Helium brennt!D 515
Der Wasserstoff brennt!D 520
Ausgebrannt...D 521

5.5 Mutation zur ZwiebelD 528

Schichtarbeit in einem sterbenden Stern

Eine Schicht jagt die nächsteD 528
Da waren es nur noch vier...D 533
Da waren es nur noch drei...D 535
Da waren es nur noch zwei...D 536
Rote Riesen auf DiätD 540
Wasserstoff ist ausD 541
Vom Unterriesen zum Roten RiesenD 543
Die Ruhe vor dem SturmD 543
Übrigens...D 547

5.6 Nichts als SchattenD 550

Wenn selbst das Licht nicht mehr entkommen kann

Historische Überlegungen zu Schwarzen LöchernD 550
Schwarz, schwer, singularD 555
Sturz ins BodenloseD 557
InformationsverweigererD 565
Vorsicht, bissig: Relativitätstheorie trifft QuantenmechanikD 565
Hinterm Horizont...D 570
Licht in der LinseD 576
KnautschsonneD 581
ZeitlosD 583

5.7 Es werde Licht!D 596

Der erste Stern wird geboren

Kurswechsel im KosmosD 596
MetallmangelD 606
Erschwerte StartbedingungenD 607
Das Licht geht anD 613
Die Population-III-Sterne lassen noch auf sich wartenD 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 zur 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 SterneneiswaldD 786

Danke, Licht!D 792

AnhangD 807

NachwortD 809

IndexD 812

BibliografieD 856