

Unverkäufliche Leseprobe

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Text und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.



Josef M. Gaßner, Astronom, Mathematiker, Physiker, Kosmologe und Grundlagenforscher, hat an der LMU München in theoretischer Astrophysik promoviert. Er ist Lehrbeauftragter für Naturwissenschaft, Astronomie und Kosmologie an der Hochschule für angewandte Wissenschaft in Landshut. Sein Anliegen ist es, physikalische Themen einem breiten Publikum zu vermitteln. Gemeinsam mit Harald Lesch schrieb er 2012 den großen Erfolg »Urknall, Weltall und das Leben«, zu dem es eine eigene Website und einen YouTube-Kanal gibt. Das vorliegende Buch basiert auf einer Vorlesungsreihe, die in über 50 YouTube-Videos bereits mehrere Millionen Aufrufe verzeichnet.

Jörn Müller ist Physiker und hat am Deutschen Elektronensynchrotron »DESY« auf dem Gebiet Festkörperphysik promoviert. Er arbeitete in Forschungs- und Entwicklungsabteilungen im Bereich Optik und Elektrofotografie sowie an der Entwicklung von Hochenergielasern. Nach einem Studium der Astronomie war er freiberuflich am Institut für Astronomie und Astrophysik an der Universität München tätig. Gemeinsam mit Harald Lesch schrieb er fünf Bücher zum Thema Kosmologie, darunter den Longseller »Kosmologie für Fußgänger«.

Weitere Informationen finden Sie auf www.fischerverlage.de

Josef M. Gaßner/Jörn Müller

Können wir die Welt verstehen?

Meilensteine der Physik
von Aristoteles zur Stringtheorie

Mit einem Vorwort
von Harald Lesch

S. FISCHER



Originalausgabe

Erschienen bei S. FISCHER

4. Auflage 2020

© 2019 S. Fischer Verlag GmbH,
Hedderichstr. 114, D-60596 Frankfurt am Main

Umschlaggestaltung:
Andreas Heilmann und Gundula Hißmann, Hamburg
nach einer Vorlage von Mustafa Basaran, It-Prisma

Umschlagabbildung:
© LUNCH/CC BY-SA 2.5 CC BY-SA und Shutterstock

Satz: Dörlemann Satz, Lemförde
Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany
ISBN 978-3-10-397481-2

Inhalt

Vorwort Harald Lesch	11
Prolog – Können wir die Welt verstehen?	15
1 Himmelsmechanik – Vom Mythos zum Logos	27
1.1 Scheibe von Nebra. Wie erstellt man einen Kalender?	27
1.2 Aristoteles, Aristarch und Eratosthenes. Welche Form hat unser Planet, und wie groß ist er? ...	31
2 Klassische Mechanik – auf den Schultern von Riesen	43
2.1 Kopernikus, Brahe und Kepler. Alles dreht sich – aber um was eigentlich?	43
2.2 Galilei. Wie fallen Körper zu Boden?	54
2.3 Newton und Cavendish. Wie wirkt Gravitation auf Massen?	70
2.4 Newton und seine geometrischen Beweise. Es geht auch ohne höhere Mathematik	81
2.5 Römer. Wie schnell ist das Licht?	91
2.6 Potential und Lagrange-Punkte. Wie spüren entfernte Körper die Gravitation?	95
2.7 Spektralanalyse – der kosmische Code. Was sehen wir da draußen? Woraus besteht das alles?	113
2.8 Planck und Wien. Wie messen wir Temperatur im Universum?	122
2.9 Leavitt und Chandrasekhar. Wie weit sind Sterne und Galaxien von uns entfernt? ..	125
2.10 Prinzip der minimalen Wirkung. Wie funktioniert die Welt?	134

3	Elektromagnetismus.	
	Eine Entdeckung wird die Welt verändern	149
4	Woraus besteht die Welt? Aus Atomen!	166
4.1	Gibt es wirklich Atome?	
	Wenn wir sie doch nicht sehen?	172
4.2	Woraus bestehen die Atome? Geht es noch kleiner? . . .	179
4.3	Kann man Atome spalten?	
	Eine Frage erschüttert die Menschheit.	181
5	Spezielle Relativitätstheorie.	
	Wie addieren sich Geschwindigkeiten?	185
5.1	Bezugssysteme. Sieht die Welt für alle gleich aus?	185
5.2	Lichtgeschwindigkeit.	
	Gibt es ein Tempolimit im Universum?	188
5.3	Lorentzfaktor.	
	Was passiert bei sehr hohen Geschwindigkeiten?	189
5.4	Experimente und Beobachtungen.	
	Wie kann man die Spezielle Relativitätstheorie testen?	198
5.5	Zeitreisen.	
	Kann man in die Vergangenheit oder die Zukunft reisen?	200
5.6	$E = m \cdot c^2$. Wie viel wiegt Energie?	208
6	Allgemeine Relativitätstheorie.	
	Kann man die Gravitation geometrisch verstehen?	220
6.1	Äquivalenzprinzip.	
	Kann man Raum und Zeit krümmen?	220
6.2	Dimensionen. Was ist das, und wie viele davon gibt es?	232
6.3	Einsteinsche Feldgleichung. Was ist ein Tensor?	233
6.4	Zeitdilatation und Schwarzschildradius.	
	Wie verändern sich Raum und Zeit im Gravitationsfeld?	241
6.5	Schwarzschildmetrik.	
	Was passiert am Ereignishorizont Schwarzer Löcher?	252
6.6	Experimente und Beobachtungen.	
	Wie wurde die Allgemeine Relativitätstheorie bestätigt?	260

6.7	Eigenzeit. Gibt es auch in der ART ein Extremalprinzip?	275
6.8	Geodäte. Wenn es keine Kraft ist, was drückt uns dann zu Boden?	280
7	Quantenmechanik. Alles kann – nichts muss	285
7.1	Plancksches Wirkungsquantum. Gibt es kleinste Portionen von allem?	285
7.2	Fermatsches und Huygenssches Prinzip. Ist Licht eine Welle?	299
7.3	Doppelspalt. Erster Akt.	308
7.4	Photoeffekt und Compton-Streuung. Das Teilchen schlägt zurück.	315
7.5	Wellenfunktion und Schrödingers Katze. Gott würfelt nicht, aber er ist ein Hütchenspieler	325
7.6	Schrödingergleichung und Tunneleffekt. A bisschen was geht immer	339
7.7	Pauliprinzip – Orbitale – Kernmodell. Warum fallen Orangen nicht durch Tische?	351
7.8	Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation. Wie genau kann man etwas messen?	371
7.9	Quantenfluktuationen – Casimir-Effekt – Lamb-Verschiebung. Im Nichts ist einiges los!	377
7.10	Zeitabhängige Schrödingergleichung. Die Welt beginnt sich zu drehen	382
7.11	Bohmsche Mechanik und Multiversen. Kann man Quantenmechanik auch anders verstehen?	400
7.12	Quantenradierer. Kann man die Vergangenheit ändern?	407

8	Quantenelektrodynamik.	
	Wie wechselwirkt Licht mit Materie?	416
8.1	Fermat reloaded.	
	Woher kennen Photonen den schnellsten Weg?	418
8.2	Reflexion am Spiegel.	
	Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel?	425
8.3	Elektromagnetische Strahlung.	
	Fliegen Photonen geradeaus?	433
8.4	Pfadintegralformalismus. Nichts ist unmöglich	441
8.5	Doppelspalt reloaded. Endlich Antworten!	462
8.6	Rotverschiebung reloaded. Drei auf einen Streich	464
8.7	Zweite Quantisierung. Vom Feld zum Quantenfeld	471
8.8	Renormierung und Vakuum. Wie viel ist nichts?	481
8.9	Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante.	
	Woher kommt diese Zahl?	494
8.10	Feynman-Diagramme. Bildchen statt Mathematik.	507
8.11	Anomales magnetisches Moment.	
	Wie genau stimmt das alles eigentlich?	514
9	Quantenchromodynamik (QCD).	
	Was hält die Atomkerne zusammen?	524
9.1	Quarks und Farbladung. Jetzt wird's bunt!	525
9.2	Confinement und asymptotische Freiheit.	
	Gibt es einzelne Quarks?	538
10	Quantenflavourdynamik (QFD). Wie zerfallen Teilchen?	548
11	Standardmodell. Der große Wurf?	562
11.1	Eichsymmetrie und Noethertheorem.	
	Noch ein Abstraktionsgrad höher	563
11.2	Gruppentheorie. Mathematik verleiht Flügel	569
11.3	Higgsmechanismus.	
	Masse oder nicht Masse, das ist hier die Frage!	576
11.4	CPT-Invarianz.	
	Funktioniert unser Weltbild auch im Spiegel betrachtet?	589

12	Jenseits des Standardmodells. Auf zu neuen Ufern!	599
12.1	Große vereinheitlichte Theorie. Lässt sich die Welt mit nur einer Kraft beschreiben? . . .	599
12.2	Supersymmetrie. Hat jeder Topf seinen Deckel?	603
12.3	Dunkle Materie und Dunkle Energie. Was wir wissen, ist ein Tropfen – was wir nicht wissen, ein Ozean	608
12.4	Weltformel. Gibt es eine Gleichung, die alles beschreibt?	628
12.5	Quantengravitation. Lässt sich die Gravitation quantisieren?	633
12.6	Stringtheorie. Besteht die Welt aus schwingenden Fäden?	636
13	Epilog	648

Einschübe

Infinitesimalrechnung	60
Zwillingsparadoxon	203
Newtonscher Grenzfall	245
Plancksches Strahlungsgesetz	289
Komplexe Zahlen	389
Rechnen mit Unendlichkeiten	455
Fourier-Entwicklung	468

Anhang

Dank	653
Register	654
Bildnachweis	671