

Inhaltsverzeichnis

Über den Autoren	7
Einführung	19
Über dieses Buch	20
Konventionen in diesem Buch	21
Was Sie nicht lesen müssen	21
Törichte Annahmen über den Leser	21
Wie dieses Buch aufgebaut ist	22
Teil I: Der Weg zur modernen Physik	22
Teil II: Spezielle Relativitätstheorie	23
Teil III: Allgemeine Relativitätstheorie	23
Teil IV: Der Top-Ten-Teil	24
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden	24
Wie es weitergeht	24
TEIL I	
DER WEG ZUR MODERNEN PHYSIK	25
Kapitel 1	
Das Klassische Relativitätsprinzip	27
Was ist Bewegung ?	28
Vom Koordinatensystem	30
... zum Bezugssystem	32
Kapitel 2	
Der Weg zur Klassischen Mechanik	35
Der Vater der Naturwissenschaften	35
Beobachter trifft Analytiker: Brahe und Kepler	37
Isaac Newton begründet die moderne Physik	40
Ganz besondere Bezugssysteme	44
Newtons Raum und Zeit	45
Kapitel 3	
Newtons Vermächtnis	49
Kinematik: Nichts als die reine Bewegung	50
Geschwindigkeit verbindet Ort und Zeit	51
Die nächste Stufe auf der Differenzialleiter: Beschleunigung	55
Die Geschwindigkeit als Vektor	56
Nach vorne mit Wucht: Der Impuls	56
Impulserhaltung	56
Der Chef in der Mechanikabteilung: Die Energie	58
Energie geht nicht verloren	60

12 Inhaltsverzeichnis

Dynamik: Von den Kräften und ihren Wirkungen	65
Zwei ungleiche Brüder: Masse und Gewicht.....	66
Bewegungsgleichungen.....	67

Kapitel 4

Klassisches Koordinaten-Hopping:

Die Galilei-Transformation	69
Gegeneinander bewegte Bezugssysteme	70
Der Veränderung trotzen: Das Invarianzprinzip	74

Kapitel 5

Maxwell und das Licht.....	79
Elektrizität und Magnetismus im Wandel der Zeit.....	79
Elektrizität wird eine Wissenschaft.....	81
Von Elektrizität und Magnetismus zum Elektromagnetismus.....	82
Bewegte Ladungen im Magnetfeld.....	87
Die Maxwell'schen Gleichungen.....	89
Der Elektromagnetismus schlägt Wellen.....	91
Die Vermessung des Lichts.....	94
Nicht zu fassen: Der Äther	99
Seltsame Sache, klare Muster: Interferenz	101
Äther ade	104
Licht im Ätherwind.....	105
Das Experiment von Michelson und Morley.....	106

Kapitel 6

Es ächzt und knirscht im Weltgetriebe.....	111
Aberration und die Mitführungsthese	111
Hendrik A. Lorentz' erstaunliche Interpretation des Michelson-Experiments.....	114
Ist die Elektrodynamik Galilei-invariant?.....	117
Welche Lichtgeschwindigkeit misst ein Astronaut?	117
Was soll die Ladung im Magnetfeld tun?.....	118

TEIL II

SPEZIELLE RELATIVITÄTSTHEORIE..... 121

Kapitel 7

Ein Genie und seine Zeit, die Erste.....	123
Von München über Italien in die Schweiz.....	123
Der Autodidakt.....	125
Patentangestellter dritter Klasse.....	126
Das Wunderjahr	127

Kapitel 8**Die Postulate der Speziellen Relativitätstheorie 129**

Einsteins Reise mit dem Licht	129
Das Ende des Äthers	131
Die Einstein'schen Postulate	132
Das erste Postulat	132
Das zweite Postulat	132

Kapitel 9**Die Lorentz-Transformation oder: Alles hat seinen Preis..... 135**

Einsteins Weg zur Lorentz-Transformation	137
Die Lorentz-Transformation im Überblick	140

Kapitel 10**Das Ende der absoluten Zeit 143**

Von der ruhenden zur bewegten Lichtuhr	143
Lichtuhr im Waggon, die Erste: Ruhe	144
Lichtuhr im Waggon, die Zweite: Bewegung	145
Warum sich die Zeitdilatation versteckt	148
Beispiel 1: Ein vorbeifahrendes Auto	149
Beispiel 2: Ein Düsenjet mit Schallgeschwindigkeit	149
Beispiel 3: Die Voyager-Sonde	149
Beispiel 4: Eine Reise zur Wega (Teil I)	150
Die Lichtgeschwindigkeit als Grenze	152
Wie man Uhren synchronisiert	153
Die Eisenbahn und die Zähmung der Zeit	155
Die Tücken der Gleichzeitigkeit	156
Klassische Gleichzeitigkeit	157
Relative Gleichzeitigkeit	159

Kapitel 11**Über kurz oder lang: Die Längenkontraktion 161**

Wie man Längen misst	162
Längen verkürzen sich	163
Längenkontraktion und Lorentz-Transformation	166
Längenkontraktion à la Einstein und Lorentz	167

Kapitel 12**Die (scheinbar) paradoxe Welt der Relativitätstheorie 169**

Eine Reise zur Wega (Teil II)	169
Die erstaunlich lange Reise der Myonen	170
Kommt ein Speerwerfer nach Hause	171
Die kinematische Version	172
Die dynamische Version	174

14 Inhaltsverzeichnis

Das Zwillingsparadoxon	178
Die Abreise	179
Der Umstieg	180
Die Rückkehr	181
Begegnen sich zwei Raumschiffe – das Additionstheorem	183
Schlechte Nachrichten: Schneller als das Licht?	186
Magnetismus ist relativ	188

Kapitel 13

Es wird vierdimensional: Die Raumzeit 191

Die Raumzeit ist ein Daumenkino	192
Die Sache mit der Zeitachse	194
Zwei in Einem: Minkowski-Diagramme	195
Spezielle Relativitätstheorie in Minkowski-Diagrammen	198
Die Relativität der Gleichzeitigkeit	198
Die Zeitdilatation	199
Die Längenkontraktion	200
Das Zwillingsparadoxon	201
Das Scheunenparadoxon	204
Wie man Abstände in der Raumzeit misst	205
Kausalität, ein Fels in der Brandung	209
Uhren als Weltlinienmesser	212

Kapitel 14

Masse und Energie 215

Mehr Speed, mehr Masse	216
Neuer Impuls und neue Kraft	218
Noch einmal: c als absolute Grenzgeschwindigkeit	219
Die Mutter aller Formeln	221
Die Bedeutung der Einstein'schen Formel	230
Aus dem Nichts, zurück ins Nichts – Paarerzeugung und Paarvernichtung	230
Treffen sich zwei Protonen: Teilchenbeschleuniger	231
Wenn eins plus eins nicht zwei ergibt – der Massendefekt	232
Die Entfesselung der Bindungsenergie	234
Sonnenenergie aus mc^2	236
Eine verblüffende Erkenntnis Ihr Gewicht betreffend	238

TEIL III

ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE 241

Kapitel 15

Ein Genie und seine Zeit, die Zweite 243

Der akademische Durchbruch	243
Auf nach Berlin	244
Der Weg zur Allgemeinen Relativitätstheorie	245
Die Geburt der Legende	246

Kapitel 16

Die Spezielle Relativitätstheorie auf dem Silbertablett.....249

Kapitel 17

Newtons Gravitation.....253

Die erste Theorie von Allem	253
Newtons Formel	254
Herrscherin über das Universum	256
Die Gravitation verrät einen neuen Planeten	257
Warum Newtons Gravitation für Einstein nicht genug war	257
Die Verschiebung des Merkurperihels	258
Die Newton'sche Gravitation und das Relativitätsprinzip	259

Kapitel 18

Beschleunigung und Trägheitskräfte.....261

Die Kraft beim Bremsen und Beschleunigen.....	261
Die Fliehkraft.....	262

Kapitel 19

Das Äquivalenzprinzip.....265

Das Einstein'sche Äquivalenzprinzip.....	265
Träge Masse und schwere Masse.....	265
Rätsel in der Kiste, die Erste: Freier Fall versus Schwerelosigkeit.....	270
Einfach nur Masse	274
Was ist Schwerelosigkeit?.....	275
Inertialsysteme in der Krise.....	276
Kugelstoß in der Kiste	277
Kugelstoß im freien Fall	277
Newton im Schwimmbad	278
Eine kleine Sprachkonvention.....	282
Eine Zwischenbilanz.....	282

Kapitel 20

Die rotierende Scheibe: Ein geometrischer Stresstest285

Das Setup	285
Die Uhren	286
Die Maßstäbe.....	286
Die Raumgeometrie	287

Kapitel 21

Uhren (und Maßstäbe) im Schwerfeld.....291

Die frei fallende Uhr.....	291
Uhren im Hochhaus.....	292
Uhren in einer Rakete.....	295

16 Inhaltsverzeichnis

Frei im leeren Raum	295
Beschleunigt im leeren Raum	296
Ruhend im Schwerfeld	297
Frei fallend im Schwerfeld	297
Die gravitative Rotverschiebung	298
Maßstäbe im Schwerfeld	299

Kapitel 22

Licht auf krummen Wegen 301

Ein Lichtstrahl in der Kiste	301
Woher das Licht weiß, wo es hin soll	302
Mit der Sonnenfinsternis zum Durchbruch	305
Gravitationslinsen	308

Kapitel 23

Über dem Tellerrand der Schulgeometrie 311

Euklidische und gekrümmte Räume	311
Mit rechten Dingen	312
Krumme Dreiecke	312
Eine Reise zum Nordpol	313
Schön eingebettet	315
Positive und negative Krümmung	316
Möglichst gerade Kurven	317
Ziemlich ebene Gebiete	319
Zusammenfassung: Nichteuklidische Geometrie	320

Kapitel 24

Fremde Gezeiten *oder* Inertialsysteme in der Krise 323

Vertrautes auf den Kopf gestellt	323
Zurechtgestutzte Inertialsysteme	325
Ebbe und Flut	329

Kapitel 25

Das Geodätenprinzip 331

Geodäten weisen den freien Fall	331
Kometenbahnen im interstellaren Raum	332
Kometenbahnen im Sonnensystem	334
Das Geodätenprinzip	338
Räumliche Schattenbahnen	339
Eine Geodäte für jeden Fall	341
Der Ursprung der Fallbeschleunigung	342

Kapitel 26**Das Wesen der Schwerkraft..... 345**

- Was ist »Schwere«?..... 345
- Gravitation ist keine Kraft (aber was dann?)..... 347

Kapitel 27**Die Einstein'schen Feldgleichungen..... 349**

- Die Feldgleichung(en) der klassischen Gravitation..... 350
- Die Feldgleichung der Allgemeinen Relativitätstheorie..... 351
- Maß-Regeln *oder* die Metrik..... 353

Kapitel 28**Eine besondere Lösung: Die Schwarzschild-Metrik..... 357**

- Kugelkoordinaten..... 358
- Die Schwarzschild-Metrik..... 360
 - Der zeitliche Term..... 361
 - Der radiale Term..... 364

Kapitel 29**Gravitation ad absurdum: Schwarze Löcher..... 369**

- Wie Sterne enden..... 369
 - Rote Riesen..... 370
 - Weißer Zwerge..... 370
 - Neutronensterne..... 372
 - Schwarze Löcher..... 373
- Eine Reise in ein Schwarzes Loch..... 374
 - Was Sie dabei erleben..... 375
 - Was Ihr Freund beobachtet..... 376
- Schwarze Löcher im Universum..... 376
 - Ein Monster im Zentrum der Milchstraße..... 377
 - Aktive galaktische Kerne..... 378

Kapitel 30**Schwingende Raumzeit: Gravitationswellen..... 383**

- Die Elastizität der Raumzeit..... 383
- PSR B1913+16..... 384
- Der direkte Nachweis..... 385

Kapitel 31**Das expandierende Universum..... 389**

- Das Kosmologische Prinzip..... 389
- Die Friedmann-Lösung..... 391
- Die Jahrtausendentdeckung..... 393

Das kosmologische Standardmodell	398
Der Nachhall des Urknalls	399
Die mittlere Materiedichte Ω_m	400
Dunkle Materie	401
Dunkle Energie	403
Das Λ CDM-Modell	405

Kapitel 32

Ein Genie und seine Zeit, die Dritte und letzte.....407

Enttäuschte Hoffnung	407
Gottes Würfel	408
Deutschland adieu	409
Einstein und die Bombe	410
Friedensbotschafter unter Beobachtung.....	411

TEIL IV

DER TOP-TEN-TEIL.....413

Kapitel 33

Eine hemmungslos subjektive Auswahl der zehn interessantesten Zitate Albert Einsteins 415

Kapitel 34

Die (außer Einstein) 10 + 1 wichtigsten Personen auf dem Weg zur Relativitätstheorie.....417

Galilei Galileo	417
Isaac Newton	417
Michael Faraday.....	418
Bernhard Riemann.....	418
James Clerk Maxwell.....	418
Albert A. Michelson	419
Hendrik Antoon Lorentz	419
Henri Poincaré.....	419
Hermann Minkowski.....	420
Marcel Grossmann.....	420
Sir Arthur Eddington.....	420

Stichwortverzeichnis 421