

Auf einen Blick

Über den Autoren	7
Einführung	19
Teil I: Der Weg zur modernen Physik	25
Kapitel 1: Das Klassische Relativitätsprinzip.....	27
Kapitel 2: Der Weg zur Klassischen Mechanik.....	35
Kapitel 3: Newtons Vermächtnis.....	49
Kapitel 4: Klassisches Koordinaten-Hopping: Die Galilei-Transformation.....	69
Kapitel 5: Maxwell und das Licht.....	79
Kapitel 6: Es ächzt und knirscht im Weltgetriebe.....	111
Teil II: Spezielle Relativitätstheorie	121
Kapitel 7: Ein Genie und seine Zeit, die Erste.....	123
Kapitel 8: Die Postulate der Speziellen Relativitätstheorie.....	129
Kapitel 9: Die Lorentz-Transformation oder: Alles hat seinen Preis.....	135
Kapitel 10: Das Ende der absoluten Zeit.....	143
Kapitel 11: Über kurz oder lang: Die Längenkontraktion.....	161
Kapitel 12: Die (scheinbar) paradoxe Welt der Relativitätstheorie.....	169
Kapitel 13: Es wird vierdimensional: Die Raumzeit.....	191
Kapitel 14: Masse und Energie.....	215
Teil III: Allgemeine Relativitätstheorie	241
Kapitel 15: Ein Genie und seine Zeit, die Zweite.....	243
Kapitel 16: Die Spezielle Relativitätstheorie auf dem Silbertablett.....	249
Kapitel 17: Newtons Gravitation.....	253
Kapitel 18: Beschleunigung und Trägheitskräfte.....	261
Kapitel 19: Das Äquivalenzprinzip.....	265
Kapitel 20: Die rotierende Scheibe: Ein geometrischer Stresstest.....	285
Kapitel 21: Uhren (und Maßstäbe) im Schwerfeld.....	291
Kapitel 22: Licht auf krummen Wegen.....	301
Kapitel 23: Über dem Tellerrand der Schulgeometrie.....	311
Kapitel 24: Fremde Gezeiten <i>oder</i> Inertialsysteme in der Krise.....	323
Kapitel 25: Das Geodätenprinzip.....	331
Kapitel 26: Das Wesen der Schwerkraft.....	345
Kapitel 27: Die Einstein'schen Feldgleichungen.....	349
Kapitel 28: Eine besondere Lösung: Die Schwarzschild-Metrik.....	357
Kapitel 29: Gravitation ad absurdum: Schwarze Löcher.....	369
Kapitel 30: Schwingende Raumzeit: Gravitationswellen.....	383
Kapitel 31: Das expandierende Universum.....	389
Kapitel 32: Ein Genie und seine Zeit, die Dritte und letzte.....	407

10 Auf einen Blick

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
Stichwortverzeichnis	421

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 Scheuneparadoxon	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 Einsteinschen 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 Stresstest.....285

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 Jahrtausenddeckung 393

18 Inhaltsverzeichnis

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