

# **Physik für Hochschulanfänger**

Von Prof. Dr. phil. nat. Horst Wegener  
Universität Erlangen-Nürnberg

3., durchgesehene Auflage  
Mit zahlreichen Abbildungen und Tabellen



**B. G. Teubner Stuttgart 1991**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>I</b>
<b>I Zur Einführung: Materie und Symmetrien</b>	<b>1</b>
<b>1 Materie – Antimaterie</b>	<b>1</b>
1.1 Materie . . . . .	2
1.2 Erzeugung und Vernichtung von Teilchenpaaren . . . . .	4
1.3 Antimaterie . . . . .	5
<b>2 Symmetriebetrachtungen</b>	<b>7</b>
2.1 Das Spiegel-Klapp-Theorem . . . . .	7
2.2 Raumspiegelung, Zeitumkehr, Ladungskonjugation . . . . .	9
2.3 Die Verletzung der P-Invarianz . . . . .	11
2.4 Das TCP-Theorem . . . . .	13
2.5 Sind die Naturgesetze CP-invariant? . . . . .	14
<b>II Mechanik, auch relativistische</b>	<b>16</b>
<b>3 Bewegung von Massenpunkten</b>	<b>16</b>
3.1 Orts- und Zeitangaben . . . . .	16
3.2 Drei Bewegungsbeispiele . . . . .	19
3.3 Geschwindigkeit und Beschleunigung . . . . .	22
<b>4 Einfügung über Vektorrechnung</b>	<b>25</b>
4.1 Vektoraddition . . . . .	26
4.2 Vektormultiplikation . . . . .	27
4.3 Einheitsvektoren . . . . .	30
4.4 Der Ortsvektor . . . . .	33
4.5 Kreisbewegung . . . . .	34

<b>5</b>	<b>Bewegte Koordinatensysteme und Lichtgeschwindigkeit</b>	<b>37</b>
5.1	Inertialsysteme . . . . .	37
5.2	Ereigniskordinaten . . . . .	39
5.3	Die Lichtgeschwindigkeit $c$ . . . . .	40
5.4	Das Michelson-Morley-Experiment . . . . .	42
5.5	Das Experiment von Sadeh . . . . .	46
5.6	Lichtgeschwindigkeit und Relativitätsprinzip . . . . .	47
<b>6</b>	<b>Lorentztransformation</b>	<b>49</b>
6.1	Ableitung der Transformationsformeln . . . . .	49
6.2	Diskussion der Lorentztransformation . . . . .	52
<b>7</b>	<b>Das Grundgesetz der Mechanik</b>	<b>55</b>
7.1	Massenmessung . . . . .	56
7.2	Kraftmessung . . . . .	57
7.3	Kraft gleich Masse mal Beschleunigung . . . . .	59
7.4	Der reibungsfreie Wurf . . . . .	60
7.5	Wechselwirkungen . . . . .	62
<b>8</b>	<b>Methoden zur Integration der Bewegungsgleichung</b>	<b>64</b>
8.1	Das Federpendel . . . . .	64
8.2	Analytische Integration der Schwingungsgleichung . . . . .	65
8.3	Numerische Integration der Schwingungsgleichung . . . . .	67
8.4	Numerische Integration einer komplizierten Bewegungsgleichung . . . . .	71
<b>9</b>	<b>Der Energieerhaltungssatz der Mechanik</b>	<b>74</b>
9.1	Arbeit . . . . .	74
9.2	Konservative Kräfte und Energieerhaltung . . . . .	77
9.3	Anwendungen des Energieerhaltungssatzes . . . . .	79
<b>10</b>	<b>Der Impulserhaltungssatz</b>	<b>85</b>
10.1	Impulserhaltung als Folge von $\text{actio} = \text{reactio}$ . . . . .	85
10.2	Anwendungen des Impulserhaltungssatzes . . . . .	89
<b>11</b>	<b>Der Drehimpulserhaltungssatz</b>	<b>94</b>
11.1	Drehimpuls eines Massenpunktes und Drehmoment . . . . .	94
11.2	Drehimpuls von $N$ Massenpunkten und Drehimpulserhaltung . . . . .	95
11.3	Drehbewegung starrer Körper . . . . .	97

11.4 Drehschemelversuche . . . . .	101
11.5 Kreisel . . . . .	103
11.6 Rotationsenergie . . . . .	107
11.7 Drehimpuls von Elementarteilchen (Spin) . . . . .	108
<b>12 Relativistische Mechanik</b>	<b>110</b>
12.1 Newtonsche Mechanik als Grenzfall $v/c \ll 1$ . . . . .	111
12.2 Impulserhaltung und relativistische Massenformel . . . . .	111
12.3 Energieerhaltung und Energie-Masse-Äquivalenz . . . . .	114
12.4 Lorentztransformation für Impuls und Energie . . . . .	115
12.5 Verknüpfung von Impuls- und Energieerhaltung . . . . .	117
<b>13 Anwendungen der relativistischen Mechanik</b>	<b>119</b>
13.1 Elektrische und magnetische Größen . . . . .	119
13.2 Elektronenkanone und Grenzgesehwindigkeit . . . . .	122
13.3 Ablenkung bewegter Teilchen durch ein Magnetfeld . . . . .	124
13.4 Blaskammeruntersuchungen . . . . .	127
<b>14 Gravitation</b>	<b>133</b>
14.1 Das Newtonsche Gravitationsgesetz und die Keplerschen Gesetze . . .	133
14.2 Gravitationskonstante und Masse von Himmelskörpern . . . . .	136
14.3 Himmelsmechanik und Entwicklung des Universums . . . . .	140
14.4 Ableitung der Keplerschen Gesetze . . . . .	145
<b>15 Beschleunigte Koordinatensysteme</b>	<b>148</b>
15.1 Der Einsteinsche Fahrstuhl . . . . .	148
15.2 Die Drehscheibe als Beispiel eines rotierenden Koordinatensystems . .	151
<b>16 Eigenschaften fester, flüssiger und gasförmiger Körper</b>	<b>156</b>
16.1 Aggregatzustände . . . . .	156
16.2 Dichte, Druck und Auftrieb . . . . .	157
16.3 Elastizität von Festkörpern . . . . .	161
16.4 Oberflächenspannung von Flüssigkeiten . . . . .	163
16.5 Zwei Beispiele zur Oberflächenspannung . . . . .	165
16.6 Innere Reibung in Flüssigkeiten und Gasen . . . . .	167
16.7 Drei Beispiele zur inneren Reibung . . . . .	168

<b>17 Strömungen in Flüssigkeiten und Gasen</b>	<b>170</b>
17.1 Laminare und turbulente Strömungen . . . . .	171
17.2 Die Bernoulli-Gleichung . . . . .	174
17.3 Anwendungen der Bernoulli-Gleichung . . . . .	176
 <b>III Thermodynamik und statistische Mechanik</b>	 <b>179</b>
<b>18 Temperatur, Wärme, Zustandsgleichung</b>	<b>179</b>
18.1 Temperaturmessung . . . . .	180
18.2 Wärmemenge und spezifische Wärme . . . . .	184
18.3 Zustandsgleichungen . . . . .	187
<b>19 Der erste Hauptsatz der Wärmelehre</b>	<b>193</b>
19.1 Erster Hauptsatz und innere Energie $U$ . . . . .	194
19.2 Adiabatische Zustandsänderungen . . . . .	196
19.3 Ein quantitativer Test . . . . .	199
<b>20 Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre</b>	<b>200</b>
20.1 Der Carnotsche Kreisprozeß . . . . .	200
20.2 Reversible und irreversible Vorgänge . . . . .	203
20.3 Zweiter Hauptsatz und Temperatur . . . . .	204
20.4 Die Dampfdruckkurve . . . . .	207
20.5 Die Clausius-Clapeyron-Gleichung . . . . .	210
20.6 Phasendiagramme . . . . .	211
<b>21 Kinetische Gastheorie</b>	<b>213</b>
21.1 Die Poissonsche Gleichung . . . . .	213
21.2 Das ideale Gasgesetz und die Boltzmannkonstante $k$ . . . . .	216
21.3 Der Boltzmannfaktor $e^{-E/kT}$ . . . . .	219
21.4 Der Energiegleichverteilungssatz . . . . .	223
21.5 Die Maxwell-Verteilung . . . . .	226
 <b>IV Elektromagnetismus</b>	 <b>228</b>
<b>22 Teilchen und Felder im Raum-Zeit-Kontinuum</b>	<b>228</b>
22.1 Massenpunkte und starre Körper . . . . .	229

22.2 Felder . . . . .	230
<b>23 Ladungen, Ströme, Felder</b>	<b>232</b>
23.1 Elektrostatische und elektromagnetische Meßgeräte . . . . .	232
23.2 Ladung . . . . .	235
23.3 Stromstärke . . . . .	238
23.4 Ladungsdichte $\rho$ und Stromdichte $\vec{j}$ . . . . .	240
23.5 Elektrische und magnetische Feldstärke . . . . .	242
<b>24 Die Maxwellschen Gleichungen</b>	<b>243</b>
24.1 Zirkulation und Fluß von Vektorfeldern . . . . .	244
24.2 Die Aussagen der Maxwellschen Gleichungen . . . . .	248
<b>25 Elektrostatik</b>	<b>252</b>
25.1 Bestimmung elektrostatischer Felder . . . . .	253
25.2 Energie in elektrischen Feldern . . . . .	258
<b>26 Leiter im elektrischen Feld</b>	<b>262</b>
26.1 Ohmsches Gesetz und Joulesche Wärme . . . . .	262
26.2 Stromlose Elektrostatik . . . . .	264
26.3 Der Faradaybecher . . . . .	267
26.4 Spannung . . . . .	269
26.5 Stromquellen . . . . .	271
26.6 Kondensatoren . . . . .	273
<b>27 Magnetostatik</b>	<b>278</b>
27.1 Das $\vec{B}$ -Feld um stromdurchflossenen geraden Draht . . . . .	278
27.2 Das $\vec{B}$ -Feld einer langen Stromspule . . . . .	281
27.3 Das $\vec{B}$ -Feld eines Stabmagneten . . . . .	283
27.4 Das magnetische Moment . . . . .	285
27.5 Magnetostatik und Elektrostatik . . . . .	288
<b>28 Stromkreise und Leitungsmechanismen</b>	<b>293</b>
28.1 Das Ohmsche Gesetz . . . . .	293
28.2 Die Kirchhoffschen Regeln . . . . .	295
28.3 Einfache Schaltungen . . . . .	296
28.4 Leitungsmechanismen und Elementarladung . . . . .	299

28.5 Elektrolytische Leitung . . . . .	301
28.6 Metallische Leitung . . . . .	305
28.7 Elektronische Halbleiter . . . . .	309
<b>29 Das Faradaysche Induktionsgesetz</b>	<b>314</b>
29.1 Drahtschleife und Induktionsspannung . . . . .	314
29.2 Beispiele für Induktionsvorgänge . . . . .	318
29.3 Selbstinduktion und Energie im Magnetfeld . . . . .	322
29.4 Induktionsgesetz und Lorentzkraft . . . . .	325
<b>30 Wechselstrom und Schwingungen, auch mechanische</b>	<b>327</b>
30.1 Komplexe Zahlen . . . . .	327
30.2 Wechselstrom . . . . .	330
30.3 Wechselstromkreise . . . . .	333
30.4 Elektrische und mechanische Schwingungen . . . . .	337
30.5 Freie Schwingungen . . . . .	340
30.6 Erzwungene Schwingungen . . . . .	343
<b>31 Elektromagnetische Wellen</b>	<b>345</b>
31.1 Elektromagnetische Feldscheiben . . . . .	347
31.2 Linear polarisierte Wellen . . . . .	351
31.3 Zirkular polarisierte Wellen . . . . .	353
31.4 Der Hertzsche Dipol . . . . .	355
31.5 Experimente mit Hertzschen Wellen . . . . .	362
<b>32 Materie im elektromagnetischen Feld</b>	<b>366</b>
32.1 Polarisation und Magnetisierung . . . . .	366
32.2 Suszeptibilitäten und Brechungsindex . . . . .	372
32.3 Supraleitung und Meißner-Ochsenfeld-Effekt . . . . .	374
<b>V Wellenoptik und Photonen</b>	<b>381</b>
<b>33 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen</b>	<b>381</b>
33.1 Das Huygenssche Prinzip . . . . .	381
33.2 Spaltbeugung . . . . .	385
33.3 Gitterbeugung . . . . .	389
33.4 Braggsche Reflexion . . . . .	395

33.5 Brechung und Totalreflexion . . . . .	397
33.6 Dispersion . . . . .	399
33.7 Dopplereffekt . . . . .	403
<b>34 Polarisiertes Licht</b>	<b>406</b>
34.1 Linear polarisiertes Licht . . . . .	406
34.2 Zirkular und elliptisch polarisiertes Licht . . . . .	410
34.3 Doppelbrechung und optische Aktivität . . . . .	414
34.4 Polarisation und Drehimpuls . . . . .	418
<b>35 Photonen</b>	<b>420</b>
35.1 Impuls elektromagnetischer Wellen und Strahlungsdruck . . . . .	420
35.2 Photoeffekt . . . . .	422
35.3 Photoneneigenschaften . . . . .	424
35.4 Comptoneffekt . . . . .	426
35.5 Hohlraumstrahlung . . . . .	428
<b>VI Atome und Atomkerne</b>	<b>435</b>
<b>36 Materiewellen und Atomphysik</b>	<b>435</b>
36.1 Elektronenbeugung . . . . .	436
36.2 Die Wellenmechanik der Atomelektronen . . . . .	439
36.3 Der Franck-Hertz-Versuch . . . . .	442
36.4 Atomspektren . . . . .	444
36.5 Atomaufbau und Pauliprinzip . . . . .	445
<b>37 Atomkern und Radioaktivität</b>	<b>447</b>
37.1 Kernkräfte . . . . .	447
37.2 Kernenergieniveaus . . . . .	448
37.3 Gammaspektroskopie . . . . .	450
37.4 Radioaktivität . . . . .	453
37.5 Betazerfall und Betaspektroskopie . . . . .	455
37.6 Positronen und Vernichtungsstrahlung . . . . .	458
37.7 Supernova 1987A und Neutrinos . . . . .	460
37.8 Rutherfordstreuung und Kernradien . . . . .	462



<b>VII</b>	<b>Zum Ausklang: Elementarteilchen</b>	<b>466</b>
<b>38</b>	<b>2500 Jahre Elementarteilchenphysik</b>	<b>466</b>
38.1	Von den ehernen Urpartikeln zur Paarerzeugung . . . . .	466
38.2	Leptonen, Hadronen und Feldquanten . . . . .	471
38.3	Hadronen aus Quarks und Antiquarks . . . . .	475
38.4	Bottomoniumzustände und Quarkkräfte . . . . .	483
	<b>Anhang: Maßeinheiten im Système International (SI)</b>	<b>488</b>
	<b>Index</b>	<b>491</b>