

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Elektromagnetismus</b>	<b>1</b>
1.1	Elektrische Kräfte .....	1
1.2	Elektrische und magnetische Felder .....	5
1.3	Charakteristische Merkmale von Vektorfeldern .....	6
1.4	Die Gesetze des Elektromagnetismus .....	8
1.5	Was sind Felder wirklich? .....	14
1.6	Elektromagnetismus in Wissenschaft und Technik .....	15
<b>2</b>	<b>Vektoranalysis</b>	<b>17</b>
2.1	Die Physik verstehen .....	17
2.2	Skalare- und Vektorfelder – $T$ und $h$ .....	18
2.3	Ableitungen von Feldern – der Gradient .....	22
2.4	Der Operator $\nabla$ .....	26
2.5	Operationen mit $\nabla$ .....	27
2.6	Die Differentialgleichung der Wärmeströmung .....	29
2.7	Zweite Ableitungen der Vektorfelder .....	31
2.8	Irrtümer .....	34
<b>3</b>	<b>Integralsätze der Vektoranalysis</b>	<b>37</b>
3.1	Vektorielle Integrale; das Linienintegral von $\nabla\psi$ .....	37
3.2	Der Fluss eines Vektorfeldes .....	40
3.3	Der Fluss aus einem Würfel; Gaußscher Satz .....	43
3.4	Wärmeleitung; die Diffusionsgleichung .....	45
3.5	Die Zirkulation eines Vektorfeldes .....	48
3.6	Die Zirkulation um ein Quadrat; Stokesscher Satz .....	50
3.7	Wirbelfreie und quellenfreie Felder .....	53
3.8	Zusammenfassung .....	55
<b>4</b>	<b>Elektrostatik</b>	<b>57</b>
4.1	Elektrostatik .....	57
4.2	Coulombsches Gesetz; Überlagerung .....	59
4.3	Elektrisches Potential .....	62
4.4	$E = -\nabla\phi$ .....	65
4.5	Der Fluss von $E$ .....	67
4.6	Gaußsches Gesetz; die Divergenz von $E$ .....	71
4.7	Feld einer geladenen Kugel .....	73
4.8	Feldlinien; Äquipotentialflächen .....	74

<b>5</b>	<b>Anwendung des Gaußschen Gesetzes</b>	<b>77</b>
5.1	Elektrostatik ist gleich Gaußsches Gesetz plus ...	77
5.2	Gleichgewicht in einem elektrostatischen Feld	77
5.3	Gleichgewicht in Anwesenheit von Leitern	79
5.4	Stabilität von Atomen	80
5.5	Das Feld einer geladenen Linie	81
5.6	Eine geladene ebene Schicht; zwei ebene Schichten	82
5.7	Eine geladene Kugel; eine geladene Kugelschale	84
5.8	Ist das Feld einer Punktladung genau $1/r^2$ ?	85
5.9	Das Feld eines Leiters	89
5.10	Das Feld in einem Hohlraum im Innern eines Leiters	90
<b>6</b>	<b>Das elektrische Feld in Einzelfällen</b>	<b>93</b>
6.1	Gleichungen für das elektrische Potential	93
6.2	Der elektrische Dipol	94
6.3	Bemerkungen über Vektorgleichungen	99
6.4	Das Dipolpotential als Gradient	99
6.5	Die Dipolnäherung für eine beliebige Verteilung	102
6.6	Das Feld geladener Leiter	104
6.7	Die Methode der Abbildung	105
6.8	Eine Punktladung in der Nähe einer leitenden Ebene	106
6.9	Eine Punktladung in der Nähe einer leitenden Kugel	108
6.10	Kondensatoren; parallele Platten	110
6.11	Durchschlag bei hoher Spannung	113
6.12	Das Feldemissionsmikroskop	115
<b>7</b>	<b>Das elektrische Feld in Einzelfällen (Fortsetzung)</b>	<b>117</b>
7.1	Methoden zur Ermittlung des elektrostatischen Feldes	117
7.2	Zweidimensionale Felder; komplexe Funktionen	119
7.3	Plasmaschwingungen	124
7.4	Kolloidale Teilchen in einem Elektrolyten	127
7.5	Das elektrostatische Feld eines Gitters	131
<b>8</b>	<b>Elektrostatische Energie</b>	<b>135</b>
8.1	Die elektrostatische Energie von Ladungen. Eine homogen geladene Kugel	135
8.2	Die Energie eines Kondensators. Kräfte auf geladene Leiter	137
8.3	Die elektrostatische Energie eines Ionenkristalls	141
8.4	Elektrostatische Energie in Kernen	144
8.5	Energie im elektrostatischen Feld	149
8.6	Die Energie einer Punktladung	153
<b>9</b>	<b>Elektrizität in der Atmosphäre</b>	<b>155</b>
9.1	Der Gradient des elektrischen Potentials der Atmosphäre	155
9.2	Elektrische Ströme in der Atmosphäre	157
9.3	Ursprung der elektrischen Ströme in der Atmosphäre	160
9.4	Gewitter	161
9.5	Der Mechanismus der Ladungstrennung	166
9.6	Der Blitz	170

<b>10</b>	<b>Dielektrika</b>	<b>175</b>
10.1	Die Dielektrizitätskonstante .....	175
10.2	Der Polarisationsvektor $P$ .....	177
10.3	Polarisationsladungen .....	179
10.4	Die Gleichungen der Elektrostatik in Anwesenheit von Dielektrika .....	183
10.5	Felder und Kräfte in Anwesenheit von Dielektrika .....	185
<b>11</b>	<b>Vorgänge im Innern von Dielektrika</b>	<b>189</b>
11.1	Molekulare Dipole .....	189
11.2	Elektronenpolarisation .....	190
11.3	Polare Moleküle; Orientierungspolarisation .....	193
11.4	Elektrische Felder in Hohlräumen eines Dielektrikums .....	196
11.5	Die Dielektrizitätskonstante von Flüssigkeiten; die Clausius-Mossotti-Formel ..	199
11.6	Feste Dielektrika .....	200
11.7	Ferroelektrizität; $\text{BaTiO}_3$ .....	202
<b>12</b>	<b>Elektrostatische Analogien</b>	<b>209</b>
12.1	Dieselben Gleichungen haben dieselben Lösungen .....	209
12.2	Die Wärmeströmung; eine Punktquelle in der Nähe eines unendlichen, ebenen Randes .....	210
12.3	Die aufgespannte Membran .....	215
12.4	Die Diffusion von Neutronen; eine gleichmäßige kugelförmige Quelle in einem homogenen Medium .....	218
12.5	Wirbelfreie Flüssigkeitsströmung; die Strömung um eine Kugel .....	221
12.6	Beleuchtung; die gleichmäßige Beleuchtung einer Ebene .....	224
12.7	Die „grundlegende Einheit“ der Natur .....	226
<b>13</b>	<b>Magnetostatik</b>	<b>229</b>
13.1	Das magnetische Feld .....	229
13.2	Der elektrische Strom; die Erhaltung der Ladung .....	230
13.3	Die auf einen Strom ausgeübte magnetische Kraft .....	232
13.4	Das Magnetfeld stationärer Ströme; das Ampèresche Gesetz .....	233
13.5	Das Magnetfeld eines geraden Drahtes und einer Spule; atomare Ströme .....	236
13.6	Die Relativität magnetischer und elektrischer Felder .....	239
13.7	Die Transformation von Strömen und Ladungen .....	245
13.8	Überlagerung; die Rechte-Hand-Regel .....	246
<b>14</b>	<b>Das Magnetfeld in Einzelfällen</b>	<b>249</b>
14.1	Das Vektorpotential .....	249
14.2	Das Vektorpotential bekannter Ströme .....	253
14.3	Ein gerader Draht .....	254
14.4	Ein langes Solenoid .....	256
14.5	Das Feld einer kleinen Schleife; der magnetische Dipol .....	259
14.6	Das Vektorpotential eines Stromkreises .....	262
14.7	Das Gesetz von Biot und Savart .....	263
<b>15</b>	<b>Das Vektorpotential</b>	<b>265</b>
15.1	Auf eine Stromschleife ausgeübte Kräfte; Energie eines Dipols .....	265
15.2	Mechanische und elektrische Energie .....	269

15.3	Die Energie stationärer Ströme .....	273
15.4	Vergleich von $B$ und $A$ .....	274
15.5	Das Vektorpotential in der Quantenmechanik .....	276
15.6	Was für die Statik stimmt, ist für die Dynamik falsch .....	284
<b>16</b>	<b>Induzierte Ströme</b> .....	<b>289</b>
16.1	Motoren und Generatoren .....	289
16.2	Transformatoren und Induktivitäten .....	294
16.3	Auf induzierte Ströme ausgeübte Kräfte .....	296
16.4	Elektrotechnik .....	302
<b>17</b>	<b>Die Induktionsgesetze</b> .....	<b>305</b>
17.1	Die Physik der Induktion .....	305
17.2	Ausnahmen von der „Flussregel“ .....	307
17.3	Beschleunigung von Teilchen durch ein induziertes elektrisches Feld; das Betatron .....	309
17.4	Ein Paradoxon .....	312
17.5	Der Wechselstromgenerator .....	313
17.6	Gegeninduktion .....	317
17.7	Selbstinduktion .....	321
17.8	Induktivität und magnetische Energie .....	322
<b>18</b>	<b>Die Maxwell-Gleichungen</b> .....	<b>329</b>
18.1	Maxwells Gleichungen .....	329
18.2	Was der neue Term bewirkt .....	332
18.3	Alles über die klassische Physik .....	334
18.4	Ein Feld, das sich ausbreitet .....	335
18.5	Die Lichtgeschwindigkeit .....	340
18.6	Lösung der Maxwellschen Gleichungen; die Potentiale und die Wellengleichung .....	341
<b>19</b>	<b>Das Prinzip der kleinsten Wirkung</b> .....	<b>345</b>
<b>20</b>	<b>Lösungen der Maxwellschen Gleichungen im leeren Raum</b> .....	<b>367</b>
20.1	Wellen im leeren Raum; ebene Wellen .....	367
20.2	Wellen in drei Dimensionen .....	377
20.3	Vorstellungsvermögen in der Naturwissenschaft .....	379
20.4	Kugelwellen .....	382
<b>21</b>	<b>Lösungen der Maxwell-Gleichungen in Anwesenheit von Strömen und Ladungen</b> .....	<b>389</b>
21.1	Licht und elektromagnetische Wellen .....	389
21.2	Von einer Punktquelle ausgehende Kugelwellen .....	391
21.3	Die allgemeine Lösung der Maxwell-Gleichungen .....	394
21.4	Das Feld eines schwingenden Dipols .....	395
21.5	Das Potential einer bewegten Ladung; die allgemeine Lösung von Liénard und Wiechert .....	401
21.6	Das Potential einer Ladung, die sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt; die Lorentz-Formel .....	406

<b>22</b>	<b>Wechselstromschaltungen</b>	<b>409</b>
22.1	Impedanzen .....	409
22.2	Generatoren .....	415
22.3	Netzwerke von idealen Schaltelementen; die Kirchhoffschen Gesetze .....	419
22.4	Ersatzschaltungen .....	425
22.5	Energie .....	427
22.6	Ein leiterförmiges Netzwerk .....	429
22.7	Filter .....	432
22.8	Andere Schaltelemente .....	437
<b>23</b>	<b>Hohlraumresonatoren</b>	<b>441</b>
23.1	Wirkliche Schaltelemente .....	441
23.2	Ein Kondensator bei hohen Frequenzen .....	443
23.3	Ein Hohlraumresonator .....	449
23.4	Eigenschwingungen eines Hohlraums .....	454
23.5	Hohlräume und Resonanzkreise .....	457
<b>24</b>	<b>Wellenleiter</b>	<b>459</b>
24.1	Die Übertragungsleitung .....	459
24.2	Das rechteckige Hohlrohr .....	463
24.3	Die Grenzfrequenz .....	467
24.4	Die Geschwindigkeit der geleiteten Wellen .....	469
24.5	Der Nachweis geleiteter Wellen .....	470
24.6	Hohlleiter-Klempnerei .....	471
24.7	Eigenschwingungen von Hohlleitern .....	475
24.8	Eine andere Betrachtungsweise geleiteter Wellen .....	475
<b>25</b>	<b>Elektrodynamik in relativistischer Bezeichnungsweise</b>	<b>481</b>
25.1	Vierervektoren .....	481
25.2	Das Skalarprodukt .....	485
25.3	Der vierdimensionale Gradient .....	489
25.4	Elektrodynamik in vierdimensionaler Bezeichnungsweise .....	492
25.5	Das Viererpotential einer bewegten Ladung .....	493
25.6	Die Invarianz der Gleichungen der Elektrodynamik .....	495
<b>26</b>	<b>Lorentztransformation der Felder</b>	<b>499</b>
26.1	Das Viererpotential einer bewegten Ladung .....	499
26.2	Das Feld einer Punktladung mit konstanter Geschwindigkeit .....	501
26.3	Relativistische Transformation der Felder .....	506
26.4	Die Bewegungsgleichungen in relativistischer Schreibweise .....	514
<b>27</b>	<b>Energie und Impuls des Feldes</b>	<b>521</b>
27.1	Lokale Erhaltung .....	521
27.2	Energieerhaltung und Elektromagnetismus .....	523
27.3	Energiedichte und Energieströmung im elektromagnetischen Feld .....	524
27.4	Die Mehrdeutigkeit der Feldenergie .....	528
27.5	Beispiele für Energieströmung .....	529
27.6	Impuls des Feldes .....	533

<b>28</b>	<b>Elektromagnetische Masse</b>	<b>539</b>
28.1	Die Energie des Feldes einer Punktladung .....	539
28.2	Der Impuls des Feldes einer bewegten Ladung .....	540
28.3	Elektromagnetische Masse .....	542
28.4	Die Kraft eines Elektrons auf sich selbst .....	544
28.5	Versuche einer Abänderung der Maxwellschen Theorie .....	546
28.6	Das Feld der Kernkräfte .....	555
<b>29</b>	<b>Die Bewegung von Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern</b>	<b>559</b>
29.1	Bewegung in einem homogenen elektrischen oder magnetischen Feld .....	559
29.2	Analyse nach Impulsen .....	560
29.3	Eine elektrostatische Linse .....	562
29.4	Eine magnetische Linse .....	563
29.5	Das Elektronenmikroskop .....	564
29.6	Führungsfelder in Beschleunigern .....	566
29.7	Fokussierung mit alternierendem Gradienten .....	569
29.8	Bewegung in gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern .....	573
<b>30</b>	<b>Innere Geometrie von Kristallen</b>	<b>575</b>
30.1	Die innere Geometrie von Kristallen .....	575
30.2	Chemische Bindung in Kristallen .....	577
30.3	Das Wachstum von Kristallen .....	579
30.4	Kristallgitter .....	579
30.5	Symmetrien in zwei Dimensionen .....	581
30.6	Symmetrien in drei Dimensionen .....	584
30.7	Die mechanische Festigkeit von Metallen .....	586
30.8	Versetzungen und Kristallwachstum .....	588
30.9	Das Kristallmodell von Bragg-Nye .....	590
<b>31</b>	<b>Tensoren</b>	<b>617</b>
31.1	Der Polarisationsensor .....	617
31.2	Transformation von Tensorkomponenten .....	619
31.3	Das Energieellipsoid .....	621
31.4	Andere Tensoren; der Trägheitstensor .....	625
31.5	Das Vektorprodukt .....	628
31.6	Der Spannungstensor .....	629
31.7	Tensoren höherer Stufe .....	634
31.8	Der Vierertensor des elektromagnetischen Impulses .....	635
<b>32</b>	<b>Der Brechungsindex dichter Materialien</b>	<b>639</b>
32.1	Polarisation von Materie .....	639
32.2	Maxwells Gleichungen in einem Dielektrikum .....	642
32.3	Wellen in einem Dielektrikum .....	644
32.4	Der komplexe Brechungsindex .....	648
32.5	Der Index einer Mischung .....	650
32.6	Wellen in Metallen .....	651
32.7	Näherungen für niedrige und hohe Frequenzen; die Eindringtiefe und die Plasmafrequenz .....	653

<b>33</b>	<b>Reflexion an Oberflächen</b>	<b>659</b>
33.1	Reflexion und Brechung von Licht .....	659
33.2	Wellen in dichten Materialien .....	660
33.3	Die Randbedingungen .....	664
33.4	Reflektierte und durchgelassene Wellen .....	670
33.5	Reflexion an Metallen .....	676
33.6	Totalreflexion .....	677
<b>34</b>	<b>Der Magnetismus der Materie</b>	<b>681</b>
34.1	Diamagnetismus und Paramagnetismus .....	681
34.2	Magnetische Momente und Drehimpuls .....	683
34.3	Die Präzession atomarer Magnete .....	686
34.4	Diamagnetismus .....	687
34.5	Der Larmorsche Satz .....	689
34.6	Die klassische Physik ergibt weder Diamagnetismus noch Paramagnetismus ...	691
34.7	Der Drehimpuls in der Quantenmechanik .....	692
34.8	Die magnetische Energie von Atomen .....	696
<b>35</b>	<b>Paramagnetismus und magnetische Resonanz</b>	<b>699</b>
35.1	Quantisierte magnetische Zustände .....	699
35.2	Der Stern-Gerlach-Versuch .....	701
35.3	Die Rabi'sche Molekularstrahl-Methode .....	703
35.4	Der Paramagnetismus der Stoffe .....	707
35.5	Kühlung durch adiabatische Entmagnetisierung .....	711
35.6	Magnetische Kernresonanz .....	712
<b>36</b>	<b>Ferromagnetismus</b>	<b>717</b>
36.1	Magnetisierungsströme .....	717
36.2	Das Feld $H$ .....	724
36.3	Die Magnetisierungskurve .....	726
36.4	Induktivitäten mit Eisenkern .....	729
36.5	Elektromagneten .....	732
36.6	Spontane Magnetisierung .....	734
<b>37</b>	<b>Magnetische Materialien</b>	<b>743</b>
37.1	Den Ferromagnetismus verstehen .....	743
37.2	Thermodynamische Eigenschaften .....	748
37.3	Die Hysteresiskurve .....	750
37.4	Ferromagnetische Materialien .....	756
37.5	Ungewöhnliche magnetische Materialien .....	759
<b>38</b>	<b>Elastizität</b>	<b>763</b>
38.1	Das Hookesche Gesetz .....	763
38.2	Homogene Deformationen .....	765
38.3	Der Torsionsstab; Scherungswellen .....	771
38.4	Der gebogene Balken .....	776
38.5	Knicken .....	780

<b>39</b>	<b>Elastische Materialien</b>	<b>783</b>
39.1	Der Verzerrungstensor .....	783
39.2	Der Elastizitätstensor .....	787
39.3	Bewegungen in einem elastischen Körper .....	791
39.4	Unelastisches Verhalten .....	795
39.5	Berechnung der elastischen Konstanten .....	798
<b>40</b>	<b>Die Strömung von trockenem Wasser</b>	<b>805</b>
40.1	Hydrostatik .....	805
40.2	Die Bewegungsgleichungen .....	807
40.3	Stationäre Strömung – das Theorem von Bernoulli .....	813
40.4	Zirkulation .....	819
40.5	Wirbellinien .....	821
<b>41</b>	<b>Die Strömung von nassem Wasser</b>	<b>825</b>
41.1	Viskosität .....	825
41.2	Viskose Strömung .....	830
41.3	Die Reynoldssche Zahl .....	831
41.4	Die Strömung an einem kreisförmigen Zylinder vorbei .....	834
41.5	Der Grenzfall verschwindender Viskosität .....	838
41.6	Couettesche Strömung .....	839
<b>42</b>	<b>Der gekrümmte Raum</b>	<b>843</b>
42.1	Gekrümmte Räume mit zwei Dimensionen .....	843
42.2	Die Krümmung im dreidimensionalen Raum .....	850
42.3	Unser Raum ist gekrümmt .....	852
42.4	Die Geometrie in Raum und Zeit .....	853
42.5	Die Gravitation und das Äquivalenzprinzip .....	854
42.6	Die Ganggeschwindigkeit von Uhren in einem Gravitationsfeld .....	855
42.7	Die Krümmung in Raum und Zeit .....	860
42.8	Bewegung in einer gekrümmten Welt .....	861
42.9	Einsteins Gravitationstheorie .....	863
<b>Index</b>		<b>867</b>