
David Halliday
Robert Resnick

Physik

Teil 2

Aus dem Amerikanischen
übersetzt von
Joachim Streubel
und
Bernd Schaarschmidt



Walter de Gruyter • Berlin • New York 1994

Inhalt

26	Ladung und Materie	779
26.1	Vorbemerkungen zum Elektromagnetismus	779
26.2	Elektrische Ladung	780
26.3	Leiter und Isolatoren	781
26.4	Das Coulombsche Gesetz	782
26.5	Die Quantelung der Ladung	787
26.6	Ladung und Materie	787
26.7	Die Erhaltung der Ladung	792
	Fragen	793
	Aufgaben	794
27	Das elektrische Feld	798
27.1	Das elektrische Feld	798
27.2	Die elektrische Feldstärke	800
27.3	Feldlinien	801
27.4	Berechnung der elektrischen Feldstärke	805
27.5	Punktladung in einem elektrischen Feld	811
27.6	Dipol im elektrischen Feld	815
	Fragen	817
	Aufgaben	818
28	Das Gaußsche Gesetz	826
28.1	Einführung	826
28.2	Der Fluß	826
28.3	Der elektrische Fluß	828
28.4	Das Gaußsche Gesetz	831
28.5	Das Gaußsche Gesetz und das Coulombsche Gesetz	832
28.6	Isoliert aufgestellter Leiter	834
28.7	Experimenteller Nachweis des Gaußschen und des Coulombschen Gesetzes	835
28.8	Einige Anwendungen des Gaußschen Gesetzes	837
28.9	Das Kernmodell des Atoms	843
	Fragen	845
	Aufgaben	847
29	Das elektrische Potential	854
29.1	Das elektrische Potential, die elektrische Spannung	854

X Inhalt

29.2	Potential und elektrisches Feld	857
29.3	Das Potential einer Punktladung	861
29.4	Mehrere Punktladungen	863
29.5	Das Potential eines Dipols	865
29.6	Potentielle Energie in einem elektrischen Feld	869
29.7	Feldstärke und Potential	871
29.8	Isoliert aufgestellter Leiter	876
29.9	Der elektrostatische Generator	879
	Fragen	883
	Aufgaben	884
30	Kondensator und Dielektrikum	893
30.1	Kapazität	893
30.2	Berechnung der Kapazität	895
30.3	Energieinhalt des elektrischen Feldes	900
30.4	Kondensator mit Dielektrikum	903
30.5	Das Dielektrikum – eine mikroskopische Erklärung	905
30.6	Das Gaußsche Gesetz für ein Dielektrikum	908
30.7	Die Vektorgrößen des elektrischen Feldes	912
	Fragen	916
	Aufgaben	917
31	Strom und Widerstand	926
31.1	Stromstärke und Stromdichte	926
31.2	Widerstand, spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit	930
31.3	Das Ohmsche Gesetz	935
31.4	Eine mikroskopische Deutung des Ohmschen Gesetzes	938
31.5	Energieübertragung in einem Stromkreis	941
	Fragen	943
	Aufgaben	945
32	Spannungsquellen und Stromkreise	949
32.1	Die elektromotorische Kraft	949
32.2	Berechnung der Stromstärke	952
32.3	Andere einfache Stromkreise	953
32.4	Berechnung der Spannung	955
32.5	Verzweigte Stromkreise	958
32.6	Strom- und Spannungsmessung	961
32.7	Die Potentiometerschaltung	962
32.8	Stromkreis mit Widerstand und Kondensator (RC -Kreis)	963
	Fragen	969
	Aufgaben	970
33	Das magnetische Feld	979
33.1	Das magnetische Feld	979

33.2	Die magnetische Flußdichte B	980
33.3	Die magnetische Kraft auf einen elektrischen Strom	984
33.4	Drehmoment auf eine stromdurchflossene Leiterschleife	988
33.5	Der Hall-Effekt	992
33.6	Ladungen auf einer Kreisbahn	995
33.7	Zyklotron und Synchrotron	997
33.8	Die Entdeckung des Elektrons	1001
	Fragen	1003
	Aufgaben	1004
34	Das Magnetfeld elektrischer Ströme	1015
34.1	Das Ampèresche Gesetz	1015
34.2	Magnetfeld um einen unendlich langen Leiter	1019
34.3	B-Linien	1022
34.4	Zwei parallele, stromdurchflossene Leiter	1024
34.5	Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule	1027
34.6	Das Biot-Savartsche Gesetz	1031
	Fragen	1036
	Aufgaben	1038
35	Das Induktionsgesetz	1048
35.1	Die Faradayschen Versuche	1048
35.2	Das Faradaysche Induktionsgesetz	1050
35.3	Die Lenzsche Regel	1051
35.4	Quantitative Fassung des Induktionsgesetzes	1053
35.5	Zeitlich veränderliches Magnetfeld	1059
35.6	Das Betatron	1063
35.7	Die Relativbewegung bei einem Induktionsvorgang	1066
	Fragen	1070
	Aufgaben	1074
36	Selbstinduktion und Gegeninduktion	1084
36.1	Beschreibung der Selbstinduktion	1084
36.2	Berechnung der (Selbst-)Induktivität	1086
36.3	Stromkreis mit Widerstand und Induktivität (RL -Kreis)	1088
36.4	Energieinhalt des Magnetfeldes	1092
36.5	Energiedichte des Magnetfeldes	1095
36.6	Gegeninduktion	1098
	Fragen	1100
	Aufgaben	1101
37	Magnetische Eigenschaften der Materie	1106
37.1	Monopole und Dipole	1106
37.2	Das Gaußsche Gesetz für das Magnetfeld	1110

XII Inhalt

37.3	Das Magnetfeld der Erde	1112
37.4	Paramagnetismus	1115
37.5	Diamagnetismus	1118
37.6	Ferromagnetismus	1121
37.7	Magnetisches Moment des Atomkerns	1128
37.8	Die Vektoren des Magnetfeldes	1131
	Fragen	1137
	Aufgaben	1139
38	Elektromagnetische Schwingungen	1143
38.1	Schwingungen eines LC -Kreises	1143
38.2	Analogie zur harmonischen Bewegung	1147
38.3	Quantitative Beschreibung der elektromagnetischen Schwingung	1148
38.4	Ein Exkurs: Konzentrierte und gleichmäßig verteilte Elemente eines schwingungsfähigen Systems	1152
38.5	Elektromagnetischer Hohlraumresonator	1154
	Fragen	1158
	Aufgaben	1159
39	Wechselströme	1163
39.1	Einführung	1163
39.2	Die Elemente eines Wechselstromkreises	1164
39.3	Der RCL -Wechselstromkreis	1169
39.4	Die Leistung in einem Wechselstromkreis	1172
39.5	Resonanz in einem Wechselstromkreis	1176
39.6	Wechselstromgleichrichter, Wechselstromfilter	1178
39.7	Der Transformator	1182
	Fragen	1185
	Aufgaben	1187
40	Die Maxwellschen Gleichungen	1192
40.1	Die Grundgleichungen der Elektrodynamik	1192
40.2	Induzierte Magnetfelder	1193
40.3	Der Verschiebungsstrom	1196
40.4	Die Maxwellschen Gleichungen	1198
40.5	Maxwellsche Gleichungen und Hohlraumschwingungen	1200
	Fragen	1203
	Aufgaben	1204
41	Elektromagnetische Wellen	1209
41.1	Einführung	1209
41.2	Das elektromagnetische Spektrum	1209
41.3	Elektromagnetische Strahlung aus dem Weltraum	1212
41.4	Übertragungsleitungen	1213
41.5	Die Feldverteilung in einem Koaxialkabel	1216
41.6	Hohlleiter	1219

41.7	Das Strahlungsfeld eines Dipols	1222
41.8	Fortschreitende Wellen und Maxwellsche Gleichungen	1224
41.9	Der Poynting-Vektor	1229
	Fragen	1233
	Aufgaben	1234
42	Natur und Ausbreitungseigenschaften des Lichts	1240
42.1	Einführung	1240
42.2	Energie und Impuls	1241
42.3	Die Lichtgeschwindigkeit	1245
42.4	Bewegte Lichtquellen und Beobachter	1248
42.5	Der Doppler-Effekt	1251
	Fragen	1255
	Aufgaben	1256
43	Reflexion und Brechung – ebene Wellen und ebene Grenzflächen	1260
43.1	Reflexion und Brechung	1260
43.2	Das Huygenssche Prinzip	1266
43.3	Huygenssches Prinzip und Reflexionsgesetz	1267
43.4	Huygenssches Prinzip und Brechungsgesetz	1268
43.5	Totalreflexion	1271
43.6	Das Fermatsche Prinzip	1276
	Fragen	1278
	Aufgaben	1279
44	Reflexion und Brechung – Kugelwellen und sphärische Grenzflächen	1284
44.1	Geometrische Optik und Wellenoptik	1284
44.2	Kugelwellen – ebener Spiegel	1287
44.3	Kugelwellen – sphärische Spiegel	1291
44.4	Brechung an sphärischen Flächen	1298
44.5	Dünne Linsen	1304
44.6	Optische Instrumente	1312
	Fragen	1316
	Aufgaben	1319
45	Interferenz	1328
45.1	Das Experiment von Young	1328
45.2	Kohärenz	1333
45.3	Intensitätsverteilung beim Versuch von Young	1337
45.4	Überlagerung von harmonischen Wellen	1339
45.5	Interferenz an dünnen Schichten	1342
45.6	Umkehrbarkeit und Phasenänderungen bei Reflexion	1348
45.7	Das Michelson-Interferometer	1350
	Fragen	1351
	Aufgaben	1353

XIV Inhalt

46	Beugung	1360
46.1	Einführung	1360
46.2	Beugung am Spalt	1363
46.3	Beugung am Spalt – qualitative Behandlung	1366
46.4	Beugung am Spalt – quantitative Behandlung	1369
46.5	Beugung an einer Lochblende	1372
46.6	Interferenz und Beugung am Doppelspalt	1376
	Fragen	1381
	Aufgaben	1383
47	Gitter und Spektren	1388
47.1	Einführung	1388
47.2	Mehrfachspalte	1388
47.3	Beugungsgitter	1393
47.4	Das Auflösungsvermögen eines Gitters	1397
47.5	Röntgenbeugung	1400
47.6	Die Bragg-Bedingung	1403
	Fragen	1408
	Aufgaben	1409
48	Polarisation	1415
48.1	Polarisation	1415
48.2	Polarisationsfilter	1417
48.3	Polarisation durch Reflexion	1421
48.4	Doppelbrechung	1423
48.5	Zirkulare Polarisation	1431
48.6	Drehimpuls des Lichts	1435
48.7	Streuung des Lichts	1436
48.8	Zweifache Streuung	1438
	Fragen	1438
	Aufgaben	1440
49	Licht und Quantenphysik	1444
49.1	Ein neuer Zugang	1444
49.2	Wärmestrahlung und Quanten	1444
49.3	Das Plancksche Strahlungsgesetz	1449
49.4	Die Quantisierung der Energie	1451
49.5	Energiequantisierung und die Wärmekapazität von Festkörpern	1455
49.6	Der photoelektrische Effekt	1459
49.7	Einsteins Photonentheorie	1462
49.8	Der Compton-Effekt	1465
49.9	Linienpektren	1470
49.10	Niels Bohr und das Wasserstoffatom	1472
49.11	Das Bohrsche Korrespondenzprinzip	1477
49.12	Die Grenzen der Bohrschen Theorie	1480
	Fragen	1483
	Aufgaben	1485

50	Die Wellennatur der Materie	1494
50.1	Die de Broglie-Wellenlänge	1494
50.2	De Broglie-Wellen und Bohrsche Bahnen	1496
50.3	Überprüfung der de Broglieschen Hypothese	1497
50.4	Wellen, Wellenpakete und Teilchen	1502
50.5	Die Heisenbergschen Unschärferelationen	1505
50.6	Die Unschärferelationen – ein Fallbeispiel	1508
50.7	Eine weitere Unschärferelation	1510
50.8	Wellenfunktion und Schrödinger-Gleichung	1511
50.9	Ein Teilchen in einem Potentialtopf	1513
50.10	Das Wasserstoffatom	1521
50.11	Der Tunneleffekt	1523
50.12	Wellen und Teilchen	1528
	Fragen	1532
	Aufgaben	1535
51	Die Struktur der Atome	1540
51.1	Wie sieht ein Atom aus?	1540
51.2	Das Wasserstoffatom und die Schrödinger-Gleichung	1540
51.3	Bahndrehimpuls und Magnetismus	1543
51.4	Quantisierung des Bahndrehimpulses	1546
51.5	Der Stern-Gerlach-Versuch	1550
51.6	Der Spin des Elektrons	1554
51.7	Wissenschaft, Technologie und Spin	1557
51.8	Ordnung der Energiezustände des Wasserstoffatoms	1560
51.9	Der Grundzustand des Wasserstoffatoms	1563
51.10	Der erste angeregte Zustand des Wasserstoffatoms	1564
51.11	Untersuchung des Atoms in einem Magnetfeld	1567
	Fragen	1571
	Aufgaben	1573
52	Atomphysik: ausgewählte Themen	1578
52.1	Auswirkungen der Wellenmechanik	1578
52.2	Röntgenstrahlen und die Ordnung der Elemente	1578
52.3	Aufbau der Atome	1585
52.4	Aufbau des Periodensystems der Elemente	1588
52.5	Laser und Laserlicht	1591
52.6	Einstein und der Laser	1594
52.7	Die Arbeitsweise eines Lasers	1596
	Fragen	1600
	Aufgaben	1602
53	Elektrische Leitung in Festkörpern	1608
53.1	Die Eigenschaften von Festkörpern	1608
53.2	Leitungselektronen in Metallen	1608
53.3	Besetzung der erlaubten Zustände	1612

53.4	Der spezifische Widerstand von Metallen	1617
53.5	Energiebänder und Energielücken	1619
53.6	Leiter, Isolatoren und Halbleiter	1623
53.7	Weitere Eigenschaften von Halbleitern	1624
53.8	Dotierung von Halbleitern	1625
53.9	pn-Übergänge	1629
53.10	Der Halbleitergleichrichter	1633
53.11	Die Leuchtdiode	1635
53.12	Der Transistor	1638
	Fragen	1640
	Aufgaben	1642
54	Einführung in die Kernphysik	1649
54.1	Die Entdeckung des Atomkerns	1649
54.2	Einige Eigenschaften des Atomkerns	1652
54.3	Radioaktiver Zerfall	1661
54.4	Alpha-Zerfall	1664
54.5	Beta-Zerfall	1667
54.6	Meßgrößen für ionisierende Strahlung	1670
54.7	Kernreaktionen	1673
54.8	Kernmodelle	1677
	Fragen	1683
	Aufgaben	1685
55	Kernenergie	1697
55.1	Der Kern und das Atom	1697
55.2	Das Prinzip der Kernspaltung	1699
55.3	Der Mechanismus der Kernspaltung	1702
55.4	Das Prinzip eines Kernreaktors	1705
55.5	Ein natürlicher Reaktor	1710
55.6	Thermonukleare Fusion	1713
55.7	Thermonukleare Fusion in der Sonne und in anderen Sternen	1716
55.8	Kontrollierte Kernfusion	1719
55.9	Der Tokamak	1721
55.10	Laserfusion	1724
	Fragen	1727
	Aufgaben	1728
56	Physik der Elementarteilchen und Kosmologie	1736
56.1	Wechselwirkungen von Teilchen	1736
56.2	Teilchenfamilien	1740
56.3	Erhaltungssätze	1745
56.4	Das Quarkmodell	1749
56.5	Kosmologie und Urknall	1756
56.6	Nukleosynthese	1763

56.7	Das Alter des Universums	1770
	Fragen	1775
	Aufgaben	1777
	Ergänzungen	1782
VI	Die Maxwellschen Gleichungen in differentieller Form – die Gleichung der elektromagnetischen Welle	1782
VI.1	Einführung	1782
VI.2	Der Nabla-Operator	1783
VI.3	Die Maxwellschen Gleichungen in differentieller Form – I	1784
VI.4	Die Maxwellschen Gleichungen in differentieller Form – II	1786
VI.5	Die Wellengleichung	1787
VII	Supraleitung	1789
	Anhang	1793
A	Das internationale Einheitssystem (SI)	1793
B	Einige Fundamentalkonstanten der Physik	1797
C	Einige Angaben über Sonne, Erde und Mond	1798
D	Das Planetensystem der Sonne	1799
E	Periodensystem der Elemente	1801
F	Die Elementarteilchen der Physik	1802
G	Umrechnungsfaktoren; Gegenüberstellung anglo-amerikanischer mit metrischen Einheiten	1804
H	Mathematische Symbole; Griechisches Alphabet	1808
I	Mathematische Formeln	1809
J	Nobelpreisträger der Physik	1812
	Sach- und Namenverzeichnis	1819