

Inhalt

1	Einleitung: Zugang zum Elektromagnetismus	1
1.1	Allgemeinbildung als Ausgangspunkt	1
1.2	Vorgriff auf die Atomphysik	5
1.3	Verbindung von Elektrizität und Magnetismus	7
Kapitel 2–6 Elektromagnetische Wechselwirkung von Ladungen, Strömen und Feldern		9
2	Oberflächenladungen und elektrische Felder	11
2.1	Experimentieren mit Ladungen	13
2.1.1	Reibungselektrizität	13
2.1.2	Influenzerscheinungen	19
2.1.3	Sitz der Ladungen auf einem Leiter	22
2.1.4	Entladungen durch die Luft	25
2.1.5	Elektrisiermaschinen	28
2.2	Elektrische Kraft und Feldstärke	31
2.2.1	Coulomb-Gesetz	31
2.2.2	Einheit der Ladung, elektrische Feldkonstante	36
2.2.3	Elektrische Feldstärke	38
2.2.4	Sichtbarmachung elektrischer Felder	41
2.2.5	Gaußsche Formulierung des Coulomb-Gesetzes	44
2.2.6	Quantitative Erfassung der Influenz	47
2.3	Potential, Spannung	51
2.3.1	Potential und Feldstärke	51
2.3.2	Äquipotentialflächen	56
2.3.3	Dipole und Dipolschichten, Multipole	61
2.4	Kapazität	69
2.4.1	Zweileiter-Systeme als Kondensatoren	69
2.4.2	Elektrische Feldenergie	76
2.4.3	Permittivität	78
2.4.4	Kondensator-Bauformen	80
2.5	Anwendungsbeispiele	83
2.5.1	Vermeidung von Aufladungen	83
2.5.2	Sprüh- und Trennverfahren	85
2.5.3	Xerographie	87
3	Leiterströme und magnetische Felder, Magnete	89
3.1	Von der Elektrostatik zum Galvanismus	91
3.2	Experimentieren mit Strömen	95
3.2.1	Elektrischer Strom in Metalldrähten	95

3.2.2	Ohmsches Gesetz, Widerstand	99
3.2.3	Elektrische Arbeit, Stromwärme	104
3.2.4	Strom und Spannung in elektrischen Netzwerken	107
3.2.5	Erde und Masse	113
3.3	Magnetisches Kraftgesetz	114
3.3.1	Magnetfeld eines Leiterstroms	115
3.3.2	Kraft zwischen zwei Leiterströmen	118
3.3.3	Definition der magnetischen Feldstärke B	121
3.3.4	Magnetisches Moment einer Stromschleife	124
3.3.5	Zur Deutung magnetischer Feldlinienbilder	126
3.4	Durch Ströme erzeugte magnetische Felder	127
3.4.1	Ampère-Gesetz	128
3.4.2	Biot-Savart-Gesetz	131
3.4.3	Magnetisches Vektorpotential, magnetischer Fluß	132
3.4.4	Spezielle Spulenformen	134
3.4.5	Magnetische Dipole	140
3.5	Vergleich der Gesetze für statische elektrische und magnetische Felder	142
3.6	Magnete	144
3.6.1	Permanentmagnete	144
3.6.2	Demonstrationsexperimente mit Permanentmagneten	147
3.6.3	Magnetische Hilfsfeldstärke H	151
3.6.4	Hystereseschleife	153
3.6.5	Abschirmung von Magnetfeldern	155
3.6.6	Magnetische Kreise	157
3.7	Drehspul-Meßinstrumente	166
4	Elektromagnetische Induktion	173
4.1	Induktionsgesetz	175
4.1.1	Entdeckung durch Faraday	175
4.1.2	Quantifizierung, Lenzsche Regel	178
4.1.3	Induktionsexperimente mit bewegten Magneten	180
4.1.4	Induktionsexperimente mit bewegten Leitern	181
4.1.5	Allgemeine Formulierung des Induktionsgesetzes	185
4.1.6	Didaktische Variante	187
4.2	Induktivität	189
4.2.1	Selbstinduktion, Definition der Induktivität	189
4.2.2	Magnetische Feldenergie	193
4.2.3	Induktive Kopplung	194
4.2.4	Induktive Messung von Flüssen	196
4.2.5	Wirbelströme	201
4.2.6	Spulen als Bauelemente	204
4.3	Wechselstrom	207
4.3.1	Definitionen, Erzeugung, Messung	207
4.3.2	RLC -Stromkreise	212
4.3.3	Mehrphasenströme, magnetische Drehfelder	223
4.3.4	Transformatoren	227
4.3.5	Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt	235

4.4	Generatoren und Motoren	239
4.4.1	Überblick	239
4.4.2	Gleichstrommaschinen	240
4.4.3	Drehstrom-Synchronmaschinen	246
4.4.4	Drehstrom-Asynchronmaschinen	248
4.4.5	Einphasen-Wechselstrom-Maschinen	252
4.5	Stromversorgung	255
4.5.1	Technische Grundlagen	256
4.5.2	Aufbau des öffentlichen Netzes	258
4.5.3	Erzeugung und Verbrauch der Sekundärenergie „Strom“	261
4.5.4	Entwicklungsperspektiven	264
5	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	267
5.1	Experimentieren mit Hochfrequenz	270
5.1.1	Schwingkreis, gedämpfte Schwingungen	270
5.1.2	Ungedämpfte Schwingungen	275
5.1.3	Induktiver Widerstand, Skineffekt	283
5.1.4	Erzwungene Schwingungen, Resonanz	285
5.1.5	Gekoppelte Schwingkreise	294
5.2	Elektromagnetische Drahtwellen	298
5.2.1	Lecher-Leitung	298
5.2.2	Theorie der Drahtwellen	301
5.2.3	Verschiedene Doppelleitungen	305
5.3	Elektromagnetische Raumwellen	308
5.3.1	Messung der kritischen Geschwindigkeit	308
5.3.2	Theorie von James Clerk Maxwell	310
5.3.3	Experimente von Heinrich Hertz	315
5.3.4	Strahlung des Hertzschen Dipols	320
5.3.5	Elektromagnetisches Spektrum	323
5.4	Experimentieren mit Mikrowellen	325
5.4.1	Antennen	325
5.4.2	Wellenausbreitung	331
5.4.3	Hohlleiter	336
5.5	Anwendungsbeispiele	344
5.5.1	Rundfunk	344
5.5.2	Radioastronomie	357
6	Licht	367
6.1	Experimentieren mit Licht	370
6.1.1	Meßgrößen, Standards	370
6.1.2	Strahlenoptik	379
6.1.3	Wellenoptik	397
6.1.4	Polarisationsoptik	415
6.2	Lichtgeschwindigkeit	428
6.2.1	Messungen der Lichtgeschwindigkeit	428
6.2.2	Lichtgeschwindigkeit in bewegten Medien	432
6.2.3	Michelson-Morley-Experiment	433
6.2.4	Lösung des Ätherproblems	436

6.3	Relativistische Optik	437
6.3.1	Lorentz-Transformation	437
6.3.2	Aberration, Doppler-Effekt	440
6.3.3	Transformation der elektromagnetischen Felder	441
6.3.4	Ladungen mit relativistischen Geschwindigkeiten	442
Kapitel 7 – 14 Elektromagnetische Effekte in atomarer Materie		449
7	Einführung in die Atomphysik	451
7.1	Anschaulicher Atomismus	453
7.1.1	Akzeptanz der Atomvorstellung	453
7.1.2	Ionen, freie Elektronen	454
7.1.3	Elektronen in Metallen	457
7.1.4	Offene Fragen	459
7.2	Welle-Teilchen-Dualismus	460
7.2.1	Teilchencharakter des Lichtes	460
7.2.2	Wellencharakter der Elektronen	462
7.2.3	Unbestimmtheitsrelation	465
7.3	Struktur der Atome	468
7.3.1	Rutherford-Bohrsches Atommodell	468
7.3.2	Drehimpuls, Richtungsquantelung, Gyromagnetismus	470
7.3.3	Quantenmechanische Beschreibung des Wasserstoffatoms	474
7.3.4	Aufbau der Mehrelektron-Atome	478
7.3.5	Orbitale, chemisches Verhalten	482
7.4	Quantenstatistik	486
7.4.1	Statistische Behandlung identischer Elemente	487
7.4.2	Photonen der thermischen Strahlung	489
7.4.3	Bose-Einstein-Kondensation	493
7.4.4	Leitungselektronen der Metalle	494
8	Elektrische Effekte in Metallen	497
8.1	Leitungselektronen	499
8.1.1	Kinetische Theorie	499
8.1.2	Hall-Effekt	502
8.1.3	Rauschen	504
8.2	Grenzfläche Metall/Vakuum	507
8.2.1	Austrittsarbeit	507
8.2.2	Elektronen-Emissionsprozesse	511
8.3	Grenzfläche Metall/Metall	517
8.3.1	Kontaktspannung	517
8.3.2	Thermoelektrizität	519
8.3.3	Übergangswiderstand	527
8.4	Supraleitung	531
8.4.1	Grundlagen	531
8.4.2	Quanteneffekte	536
8.4.3	Anwendungen	541

9	Elektrische Effekte in Halbleitern	547
9.1	Ladungstransport-Prozesse, Hall-Effekt	548
9.2	Bändermodell	550
9.2.1	Grundbegriffe	550
9.2.2	Leitfähigkeit	553
9.2.3	Zustands- und Ladungsträgerdichten	557
9.2.4	Bänder im k -Raum und im Ortsraum	559
9.2.5	pn-Übergang	562
9.2.6	Metall/Halbleiter-Übergang	566
9.3	Halbleiter-Bauelemente	568
9.3.1	Dioden, Thyristoren	568
9.3.2	Transistoren	575
9.3.3	Operationsverstärker	583
9.3.4	Bauelemente der Digitalelektronik	587
9.4	Photohalbleiter	595
9.4.1	Photowiderstände	595
9.4.2	Photodioden, Photoelemente	597
9.4.3	Leuchtdioden	602
9.4.4	Leuchtstoffe, Elektrolumineszenz	603
9.5	Halbleiter-Technologie	605
9.5.1	Präparation, Dotierung, Strukturierung	605
9.5.2	Integrierte Schaltungen, Mikroelektronik	608
10	Gasentladungen, Plasmen	611
10.1	Ladungstransport ohne Gasverstärkung	613
10.1.1	Ionisation und Rekombination	613
10.1.2	Strom-Spannungs-Charakteristik	616
10.1.3	Anwendungen im Strahlenschutz	617
10.1.4	Ionen als Kondensationskeime	620
10.2	Ladungstransport mit Gasverstärkung	622
10.2.1	Townsend-Lawinen	622
10.2.2	Ionisationskammern mit Gasverstärkung	624
10.2.3	Proportionszähler, Drahtkammern	624
10.3	Selbständige Entladungen	627
10.3.1	Zündbedingung	627
10.3.2	Zünden und Löschen im Geiger-Zähler	629
10.3.3	Korona- und Funkenentladungen in Luft	630
10.3.4	Gewitter	635
10.3.5	Glimmentladungen	644
10.3.6	Lichtbögen	651
10.4	Plasmen	654
11	Geladene Teilchen im Vakuum	657
11.1	Techniken	658
11.1.1	Vakuum	658
11.1.2	Spannungsversorgung	660

11.1.3	Abschirmung	662
11.1.4	Elektronenquellen	663
11.1.5	Ionenquellen	666
11.1.6	Elektronen- und Ionennachweiß	669
11.1.7	Bewegung geladener Teilchen in Feldern	676
11.1.8	Elektronenoptik	678
11.2	Elektronenröhren	688
11.2.1	Dioden, Röntgenröhren	688
11.2.2	Verstärkerröhren	690
11.2.3	Elektronenstrahlröhren	694
11.2.4	Lichtgesteuerte Röhren	697
11.3	Geräte, Großgeräte	700
11.3.1	Strahlsysteme zur Materialbearbeitung	700
11.3.2	Massenspektrometer	703
11.3.3	Teilchenkäfige	706
11.3.4	Elektronenmikroskope	709
11.3.5	Teilchenbeschleuniger	712
12	Elektrochemie	721
12.1	Elektrolyse	722
12.1.1	Grundbegriffe und Beispiele	722
12.1.2	Faraday-Gesetz	730
12.1.3	Dissoziation, Leitfähigkeit	731
12.1.4	Ladungstransport	735
12.1.5	Starke Elektrolyte	742
12.2	Galvanische Elemente	744
12.2.1	Überblick	744
12.2.2	Daniell-Element	745
12.2.3	Konzentrationselemente	747
12.2.4	Spannungsreihe der Metalle	748
12.3	Elektrodenprozesse	751
12.3.1	Prinzip der Sekundärelemente	751
12.3.2	Polarisations- und Überspannung	753
12.4	Technische Anwendungen	755
12.4.1	Einweg-Batterien und Akkumulatoren	755
12.4.2	Brennstoffzellen	759
12.4.3	Elektrolytische Verfahren	762
12.4.4	Korrosionsschutz	764
13	Elektrisches Verhalten von Isolatoren	767
13.1	Oberflächenladungen durch Transfer	770
13.1.1	Reibungselektrizität	770
13.1.2	Strömungselektrizität	773
13.2	Oberflächenladungen durch Polarisation	775
13.2.1	Isolatoren im elektrischen Feld	775
13.2.2	Polarisation, fiktives D -Feld	776
13.2.3	Demonstrationsexperimente	778

13.2.4	Dielektrische Stoffe (im engeren Sinn)	781
13.2.5	Parelektrische Stoffe	783
13.2.6	Elektro-rheologische Flüssigkeiten	786
13.3	Elektrische Kristalle	786
13.3.1	Überblick	787
13.3.2	Piezoelektrizität	791
13.3.3	Ferroelektrizität	796
13.3.4	Technische Anwendungen	800
14	Magnetismus	805
14.1	Dia- und Paramagnetismus	807
14.1.1	Definitionen	807
14.1.2	Messung der Suszeptibilität	807
14.1.3	Diamagnetische Stoffe	810
14.1.4	Paramagnetische Stoffe	812
14.2	Ferromagnetismus	814
14.2.1	Ferromagnetische Meßgrößen	815
14.2.2	Gyromagnetische Experimente	819
14.2.3	Entstehung der spontanen Magnetisierung	822
14.2.4	Ummagnetisierungsprozesse	824
14.2.5	Magnetostriktion	834
14.2.6	Antiferro- und Ferrimagnetismus	836
14.2.7	Anwendung von Ferriten	841
14.3	Magnetische Flüssigkeiten	842
14.4	Magnetfeld der Erde	846
14.4.1	Feld auf der Erdoberfläche	846
14.4.2	Magnetosphäre der Erde	851
Kapitel 15–17	Anhänge	855
15	Mathematische Hilfsmittel	855
15.1	Vorbemerkungen	855
15.2	Algebra mit physikalischen Größen	857
15.3	Infinitesimalrechnung	864
15.4	Vektoranalysis	867
15.5	Komplexe Zahlen	872
15.6	Schwingungsgleichung	875
15.7	Fourier-Reihen und -Integrale	880
15.8	Schaltalgebra	888
16	Gefahren im Umgang mit Elektrizität	891
16.1	Wirkungen auf den menschlichen Körper	891
16.2	Schutzmaßnahmen	896
16.2.1	Netzanschluß und Erdung	896
16.2.2	Sicherungen, Schutzschalter	899
16.2.3	Erkennung von Defekten	902

16.3	Verhaltensregeln	902
16.3.1	Umgang mit Haushaltselektrizität	902
16.3.2	Zusätzliche Regeln für das Labor	905
16.4	Erste Hilfe	906
16.4.1	Sofortmaßnahmen	906
16.4.2	Atemspende und Herz-Lungen-Wiederbelebung	907
17	Hinweise und Tabellen	911
17.1	Literaturhinweise	911
17.1.1	Ergänzende Literatur	911
17.1.2	Quellen, zitierte Publikationen	912
17.2	Einheiten	916
17.2.1	SI-Einheiten	916
17.2.2	Ergänzungseinheiten	918
17.2.3	Anmerkungen zu einigen anderen Einheiten	919
17.3	Naturkonstanten	921
17.4	Chemische Elemente	924
17.5	Schaltzeichen der Elektrotechnik	925
Register	927