
H. J. Eichler H.-D. Kronfeldt J. Sahm

Das Neue Physikalische Grundpraktikum

53 Themenkreise mit über 300 Vorschlägen für Experimente,
577 zweifarbige Bilder, 55 Tabellen,
Lesezeichen mit Piktogrammen,
Fundamentalkonstanten und einem Replika-Gitter,



Springer

Professor Dr. Hans J. Eichler
Priv.-Doz. Dr. Heinz-Detlef Kronfeldt
Professor Dr. Jürgen Sahm

Technische Universität Berlin
Fachbereich 4 Physik
Optisches Institut
Hardenbergstraße 36
10623 Berlin, Deutschland

e-mail:
eichler@physik.tu-berlin.de (Prof. Eichler)
kf@physik.tu-berlin.de (PD. Kronfeldt)
sahm@physik.tu-berlin.de (Prof. Sahm)

ISBN 3-540-63109-7 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Eichler, Hans Joachim:

Das neue physikalische Grundpraktikum: Experimentalaufgaben, Lesezeichen mit Piktogrammen, Fundamentalkonstanten und Replika-Gitter / Hans J. Eichler; Heinz-Detlef Kronfeldt; Jürgen Sahm. – Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Mailand; Paris; Singapur; Tokio: Springer, 2001 (Springer-Lehrbuch) ISBN 3-540-63109-7

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Bildern und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ein Unternehmen der BertelsmannSpringer Science+Business Media GmbH
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Herstellung: P. Treiber, Heidelberg
Satz und Umbruch: Druckfertige Daten von den Autoren
Einbandgestaltung: *design & production* GmbH, Heidelberg
Gedruckt auf säurefreiem Papier SPIN: 10476376 56/3141/tr - 5 4 3 2 1 0

Inhaltsverzeichnis



Kapitel I. Grundbegriffe der Meßtechnik

1. Messen und Auswerten	3
Physikalische Größen und ihre Einheiten	3
Fehler einer Messung	5
Systematische Fehler	6
Zufällige Fehler	8
Fehlerfortpflanzung	10
Grafische Darstellungen	12
Auswertung linearer Zusammenhänge	17
Protokollführung	19
2. Fehlerrechnung und Statistik	22
Mathematische Statistik	22
Histogramm und Wahrscheinlichkeit	24
Die Gauß- oder Normalverteilung	24
Meßunsicherheit des Endergebnisses	25
2.1 Grundversuche mit dem Galton-Fallbrett (1/2)	26
2.2 Standardabweichung und Vertrauensbereich für verschieden große Stichproben (1/2)	28



Kapitel II. Bewegungen und Kräfte

3. Translation und Rotation	33
Bewegungen von Massenpunkten	33
Drehbewegungen starrer Körper	37
3.1 Weg-Zeit-Verlauf beim freien Fall (1/3)	39
3.2 Bestimmung der Erdbeschleunigung (1/3)	40
3.3 Energieerhaltungssatz (1/3)	41
3.4 Beziehung zwischen Winkel und Zeit unter Einwirkung eines Drehmomentes (1/3)	41
3.5 Beziehung zwischen Drehmoment und Winkelbeschleunigung (1/3)	41

4. Stoßprozesse	43
Impuls- und Energieerhaltungssatz	43
Kugelpendelkette	44
4.1 Stöße zweier Kugeln (1/3)	45
4.2 Kugelpendelkette (1/3)	46
4.3 Kugelpendelkette mit Störungen (1/3)	48
5. Harmonische Schwingungen	50
Mechanik von Schwingungen	50
Federpendel	53
Fadenpendel (Mathematisches Pendel)	53
Physikalisches (physisches) Pendel	54
Reversionspendel	55
5.1 Federpendel (1/1)	56
5.2 Fadenpendel (Mathematisches Pendel) (1/1)	58
5.3 Physikalisches Pendel (1/1)	60
5.4 Reversionspendel (1/1)	62
6. Gekoppelte Schwingungen	65
Gekoppelte Pendel	65
Bewegungsgleichungen der gekoppelten Pendel	67
Lösung der gekoppelten Differentialgleichungen	68
6.1 Gekoppelte Pendel mit Federkopplung (1/1)	71
6.2 Gekoppelte Pendel mit Gewichtskopplung (1/1)	72
6.3 Kopplung zwischen Dehnung und Drehung einer Schraubenfeder (1/3)	72
7. Gedämpfte und erzwungene Schwingungen	74
Pohlsches Rad	74
Freie, gedämpfte Schwingung	76
Erzwungene Schwingungen	78
7.1 Gedämpfte Schwingung (1/2)	80
7.2 Erzwungene Schwingung (1/2)	81
8. Trägheitsmoment	82
Drehbewegungen und Trägheitsmomente	82
Trägheitsmomente bei parallelen Drehachsen	83
Trägheitstensor	84
8.1 Trägheitsmomente aus Drehschwingungen (1/1)	85
8.2 Gleichmäßig beschleunigte Drehbewegungen (1/1)	87



Kapitel III. Deformierbare Körper und Akustik

9. Elastizität	93
Elastizität und Hookesches Gesetz	93
Durchbiegung von Stäben	94
Verdrillung von Stäben und Drähten	95
Querkontraktion, Poissonsche Zahl	96
Inhomogene und anisotrope Körper	97
Elastische Hysterese und Fließvorgänge	98
9.1 Drahtdehnung (1/2)	98
9.2 Biegung zweiseitig aufliegender Stäbe (1/2)	99
9.3 Messung des Elastizitätsmoduls anisotroper oder inhomogener Stoffe (1/2)	100
9.4 Elastische Hysterese und Fließvorgänge (1/2)	101
9.5 Biegung einseitig eingespannter Stäbe (1/2)	102
9.6 Torsionsschwingungen und Schubmodul (1/2)	102
10. Zäh Flüssigkeiten	104
Flüssigkeiten	104
Viskosität oder Zähigkeit	104
Strömung in engen Röhren; Kapillaren	106
Strömung um eine Kugel	107
10.1 Zähigkeit nach der Kugelfallmethode (1/2)	108
10.2 Temperaturabhängigkeit der Zähigkeit (1/2)	109
11. Oberflächenspannung und Kapillarität	111
Spezifische Oberflächenenergie und Oberflächenspannung	111
Oberflächenspannung an gekrümmten Oberflächen	112
Kapillarität	113
Grenzflächenspannungen und Randwinkel	113
11.1 Lamellen-Abreißverfahren (1/3)	114
11.2 Kapillaren-Steighöhenmethode (1/3)	115
11.3 Luftblasenmethode (1/3)	116
11.4 Stoff- und Temperaturabhängigkeit (1/3)	117
12. Schallwellen und Akustik	118
Wellen und Schall	118
Stehende Wellen und Eigenschwingungen	120
Elastische Wellen	121
Schallwellen und adiabatische Vorgänge	122
Grundbegriffe der Akustik	122
12.1 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit (2/3)	125
12.2 Physiologische Akustik (1/3)	127

13. Ultraschall	130
Erzeugung und Nachweis von Ultraschall	130
Elastische Wellen in deformierbaren Materialien	131
Schallwechsel- und Schallstrahlungsdruck, Energiedichte	132
Schallintensität	134
Schallreflexion, Schalldurchlässigkeit	134
Wirkungen von Ultraschall hoher Leistung	136
13.1 Schallwellenlänge und -geschwindigkeit in Wasser (1/3) .	136
13.2 Schallstrahlungsdruck (1/3)	138
13.3 Qualitative Experimente mit Ultraschall (2/3)	139



Kapitel IV. **Vielteilchensysteme und Thermodynamik**

14. Thermische Grundversuche	145
Temperatur und thermische Ausdehnung	145
Kalorische Grundgleichung, Wärmekapazitäten	146
Wärmemengen und Energiesatz	147
Atomistische Betrachtung	147
Schmelz- und Verdampfungswärmen	149
Wärmeleitung, Thermohaus	150
14.1 Spezifische Wärmekapazität fester Körper (1/2)	151
14.2 Schmelz- und Verdampfungswärme von Wasser (1/2)	152
14.3 Wärmeausdehnung fester Stoffe (1/2)	153
14.4 Volumenausdehnung von Flüssigkeiten (1/2)	154
14.5 Wärmeleitung (Thermohaus) (1/2)	155
15. Statistische Mechanik auf einem Luftkissentisch	158
Vielteilchensysteme	158
Barometrische Höhenformel	159
Boltzmann-Verteilung	160
Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	161
15.1 Translation auf der schiefen Ebene (1/2)	162
15.2 Barometrische Höhenformel (1/2)	164
15.3 Druckverteilung in einem Gebäude (1/2)	165
15.4 Geschwindigkeitsverteilung eines Modellgases (1/2)	165
16. Luftdichte, Dampfdruck, Luftfeuchte	166
Zusammensetzung von Luft	166
Reduktion der Dichte auf Normalbedingungen	167
Dampfdruck von Flüssigkeiten	169
16.1 Luftnormdichte (1/1)	170
16.2 Dampfdruck von Wasser (Niederdruckbereich) (1/2)	172
16.3 Dampfdruck von Wasser (Hochdruckbereich) (1/2)	174

17. Ideale und reale Gase	176
Ideale Gase	176
Adiabatexponent nach kinetischer Gastheorie	178
Reale Gase	179
17.1 Adiabatexponent aus Expansionsversuch (1/2)	181
17.2 Adiabatexponent aus Schwingungsversuch (1/2)	182
17.3 Präzisionsmessung der Adiabatenkoeffizienten (1/2)	184
17.4 Messung des Joule-Thomson-Koeffizienten (1/2)	185
18. Thermodynamische Prozesse in einem Heißluftmotor	187
Stirlingscher Kreisprozeß	187
Stirlingmaschine als Heißluftmotor	189
Wirkungsgrad beim Heißluftmotor	190
Stirlingmotor als Kältemaschine und Wärmepumpe	191
18.1 pV -Diagramm und Wirkungsgrad (2/3)	192
18.2 Belastung und Gesamtwirkungsgrad (1/3)	194
18.3 Kältemaschine und Wärmepumpe (1/3)	195



Kapitel V. Gleich- und Wechselstromkreise

19. Widerstände, Ohmsches Gesetz	199
Elektrische Grundgrößen	199
Elektrischer Widerstand	200
Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	201
Strom- und Spannungsmessung	201
19.1 Kennlinien von Widerständen (1/2)	202
19.2 Lineare und logarithmische Potentiometer (1/2)	203
19.3 Temperaturabhängigkeit von Widerständen (1/2)	204
20. Gleichspannungsschaltungen, Kirchhoffsche Regeln	206
Kirchhoffsche Regeln	206
Wheatstone-Brücke	207
Batterie als Spannungsquelle	207
Kondensatoren im Gleichstromkreis	208
20.1 Instrumenten-Innenwiderstände und Änderung der Meßbereiche (1/2)	209
20.2 Widerstandsmessung mit Wheatstone-Brücke (1/2)	211
20.3 Ausgangsspannung und Innenwiderstand einer Batterie (1/2)	212
20.4 Kondensator im Gleichstromkreis (1/2)	213

21. Messungen mit einem Oszilloskop	214
Aufbau und Funktionsweise des Kathodenstrahloszilloskops ...	214
Überlagerungsellipsen zweier Wechselspannungen	218
Messung von Phasendifferenzen	220
21.1 Grundfunktionen des Oszilloskops (1/3)	220
21.2 Zeit- und Frequenzmessung (1/3)	221
21.3 Lissajous-Figuren – Gleiche Frequenzen (1/3)	222
21.4 Lissajous-Figuren – Ungleiche Frequenzen (1/3)	222
22. Wechselspannungen	224
Zeitverläufe, Scheitel- und Effektivwerte	224
Ohmscher, kapazitiver, induktiver Widerstand	225
Komplexe Darstellung von Wechselspannungen und Wechselstromwiderständen	226
Tiefpaß	227
Schwingkreis, erzwungene Schwingungen	227
Gleichrichter und Verstärker	228
22.1 Effektiv- und Scheitelwert (1/3)	229
22.2 Tiefpaß (1/3)	229
22.3 Schwingkreis (1/3)	230
22.4 Gleichrichterschaltungen (1/3)	230
22.5 Strom-Spannungs-Kennlinie einer Diode (1/3)	231
23. Speicheroszilloskop	232
Digital-Speicheroszilloskop	232
Betriebsarten eines Speicheroszilloskops	234
Nanodrähte mit quantisierter Leitfähigkeit	235
23.1 Kondensatorentladung und -aufladung (2/3)	236
23.2 Schalterprellung (1/3)	237
23.3 Quantisierte Leitfähigkeit von Nanodrähten (1/1)	238
23.4 Schallgeschwindigkeit aus Laufzeitmessung (1/3)	239
23.5 Herzschlagmonitor (1/3)	240
24. Elektrische Schwingungen	241
Freie gedämpfte Schwingungen	241
Erzwungene Schwingungen	243
Reihenschwingkreis: Analytische Beschreibung	244
24.1 Freie gedämpfte Schwingungen (1/3)	247
24.2 Erzwungene Schwingung eines Reihenschwingkreises (2/3)	248
24.3 Resonanzkurvenmessung mit dem XY-Schreiber (1/3) ..	249



Kapitel VI. Elektrische und magnetische Felder

25. Elektrische Felder	253
Feldbegriff und Felddarstellung	253
Elektrische Ladung	254
Elektrische Feldstärke	254
Potential	255
Potentiallinien	256
Potentialgleichung (optional)	257
Influenz	258
25.1 Potential und Feldlinien (1/1)	260
25.2 Kräfte zwischen Ladungen, Influenz (1/3)	261
26. Elektronenbewegung in elektrischen und magnetischen Feldern	264
Elektronen im elektrischen Feld	264
Elektronen in magnetischen Feldern	265
Elektronenstrahlröhre	267
26.1 Wirkungsweise und Eigenschaften eines einfachen Kathodenstrahl-Oszilloskops (2/3)	269
26.2 Messung der Elektronenstrahlablenkung (1/3)	271
26.3 Nachweis des erdmagnetischen Feldes (1/3)	272
27. Erdmagnetisches Feld	273
Ursachen von Magnetfeldern	273
Messung von Magnetfeldern	274
Erdmagnetfeld	275
Aufbau der Erde, Ursachen des Erdmagnetfeldes	276
27.1 Horizontalkomponente des Erdfeldes (2/3)	277
27.2 Inklination, Gesamtfeldstärke (1/3)	279
28. Materie im Magnetfeld	280
Magnetisches Feld	280
Dia-, Para- und Ferromagnetismus	281
Magnetfelder in magnetischen Kreisen	285
Meßverfahren für die magnetischen Feldgrößen	286
28.1 Messung der Hysteresekurve ohne Luftspalt (1/3)	288
28.2 Messung der Hysteresekurve mit Luftspalt (2/3)	290
28.3 Kalibrieren einer Feldplatte (1/3)	291
28.4 Einfluß eines Luftspaltes (1/3)	291

 **Kapitel VII.**
Halbleiterelektronik

29. Halbleiterdioden	295
Zur Elektrizitätsleitung in Festkörpern	295
<i>pn</i> -Übergang	298
Das Bändermodell	299
Eigenschaften und Arten von Halbleiterdioden	301
29.1 Statische Diodenkennlinien (1/3)	305
29.2 Dynamische Messungen (1/3)	306
29.3 Untersuchungen von Leuchtdioden (1/3)	306
29.4 Untersuchungen an einer Solarzelle (1/3)	307
29.5 Spannungsstabilisierung mit Z-Dioden (1/3)	307
30. Transistoren	309
Transistoren	309
Bipolare Transistoren	309
Feldeffekttransistoren	313
30.1 Quasistatische Messungen an einem bipolaren Transistor (1/3)	315
30.2 Dynamische Messungen an einem bipolaren Transistor (1/3)	316
30.3 Aufbau einer Verstärkerschaltung (1/3)	317
30.4 Verstärkung von Sprachschwingungen (1/3)	317
30.5 Transistor als Schalter (1/3)	318
30.6 Messungen an einem Feldeffekttransistor (1/3)	318
31. Operationsverstärker	320
Aufbau von Operationsverstärkern	320
Grundsaltungen	322
Meßtechnische Anwendungen	325
Frequenzverhalten von Operationsverstärkern	326
31.1 Lineare Verstärkung (1/3)	327
31.2 Mathematische Operationen (2/3)	328
31.3 Anwendung als Elektrometer (1/3)	329
32. Simulationsschaltungen mit Operationsverstärkern	330
Operationsverstärker	330
Differentialgleichung 1. Ordnung	330
Differentialgleichung 2. Ordnung	332
Erzwungene Schwingungen	334
Gekoppelte Differentialgleichungen	335
Analoge Simulationen	335
32.1 Zerfallsgleichung (1/3)	336
32.2 Schwingungsgleichung (2/3)	336
32.3 Erzwungene Schwingung (1/3)	337
32.4 Gekoppelte Pendel (1/3)	338



Kapitel VIII. Linsen und optische Instrumente

33. Linsen	341
Ausbreitung von Licht	341
Brechung	342
Linsen	343
Optische Abbildungen mit dünnen Linsen	345
Paraxialgebiet	347
Linsenfehler	347
33.1 Einfache Bestimmung von Linsenbrennweiten (1/3)	349
33.2 Bestimmung von Brennweiten nach Bessel (1/3)	350
33.3 Qualitative Beobachtung von Linsenfehlern (1/3)	350
33.4 Messung der chromatischen Aberration (1/3)	352
33.5 Messung der sphärischen Aberration (1/3)	353
34. Optische Geräte	355
Vergrößerung und Auge	355
Lupe und Okular	356
Fernrohre nach Kepler und Galilei	357
Dia-Projektor	359
Fotoapparat	360
34.1 Kepler- oder Astronomisches Fernrohr (1/3)	361
34.2 Galilei-Fernrohr (Opernglas) (1/3)	362
34.3 Dia-Projektor (1/3)	362
34.4 Fotoapparat, Schärfentiefe (1/3)	362
35. Mikroskop: Vergrößerung	364
Geometrische Optik des Mikroskops	364
35.1 Gesamtvergrößerung, Objektiv, Okular (2/3)	367
35.2 Messung kleiner Längen (1/3)	368
35.3 Brechzahlmessung mit dem Mikroskop (1/3)	369
35.4 Exakte Messung der Objektivbrennweite (1/3)	370
36. Mikroskop: Beleuchtung und Auflösung	371
Beleuchtungsanordnung, Aperturen	371
Gesamtstrahlengang	372
Auflösung des Mikroskops	375
36.1 Beleuchtung (1/2)	376
36.2 Apertur der Objektive (1/2)	378
36.3 Zusammenhang zwischen Auflösungsvermögen und Objektivapertur (1/2)	379

37. Dispersion und Prismenspektrometer	381
Lichtbrechung und Dispersion	381
Prismenspektrometer	382
Spektrales Auflösungsvermögen	384
37.1 Messung des brechenden Winkels (1/3)	385
37.2 Dispersion von Glas (2/3)	385
37.3 Prismenspektrometer (1/3)	386
37.4 Brechzahl von Flüssigkeiten (1/3)	386



Kapitel IX. **Licht- und Mikrowellen**

38. Wellenoptik – Beugungsversuche mit Laserlicht	389
Licht als elektromagnetische Welle	389
Interferenz und Beugung	390
Fraunhofer- und Fresnel-Beugung	391
Fraunhofer-Beugung am Doppelspalt	392
Fraunhofer-Beugung am Gitter	393
Fresnel-Beugung an einer Kante	394
38.1 Fresnel- und Fraunhoferbeugung (2/3)	394
38.2 Wellenlängenmessung aus Doppelspaltbeugung (1/3)	398
38.3 Wellenlängenmessung aus Gitterbeugung (1/3)	399
39. Interferenz an dünnen Schichten	400
Grundbegriffe der Interferenz	400
Newtonsche Ringe	401
Dünne Schichten zur Reflexionsverminderung oder -erhöhung .	402
39.1 Krümmungsradius plankonvexer Linsen (1/2)	403
39.2 Wellenlängenmessung mit Newtonschen Ringen (1/2) ...	403
39.3 Entspiegelungsschicht (1/2)	404
39.4 Dielektrischer Spiegel (1/2)	404
40. Beugung am Einfachspalt	406
Beugung am Einfachspalt	406
Phänomenologische Betrachtung	407
Intensität des Spaltbeugungsbildes	408
Fraunhofer-Beugung an einer Lochblende	409
Kohärenzbedingung	409
40.1 Wellenlängenmessung mit Einfachspalt (2/3)	410
40.2 Prüfung der Kohärenzbedingung (1/3)	412
40.3 Prüfung der Ortsauflösungsgrenze (1/3)	413
40.4 Ausmessen des Spaltbeugungsbildes mit einem Fotomultiplier (1/3)	413

41. Polarisierung und Streuung	415
Polarisiertes Licht	415
Aufbau und Funktion von Polarisatoren	417
Optische Aktivität	421
41.1 Polarisierung durch Reflexion (2/3)	422
41.2 Halbschattenpolarimeter (2/3)	423
41.3 Spezifische Drehung von Quarz (1/3)	424
41.4 Saccharimetrie (1/3)	425
41.5 Rotationsdispersion (1/3)	425
41.6 Tyndall-Effekt (1/3)	425
41.7 Fotometrische Messung (1/3)	426
42. Ausbreitung von Laserstrahlung	427
Gaußstrahlung	427
Umformung von Laserstrahlung durch Linsen	428
Kollimierung von Laserdiodenstrahlung	430
Laserstrahl-Aufweitung mit einem Fernrohr	431
42.1 Messung des Strahldurchmessers und -profils (1/3)	432
42.2 Messung von Divergenz und Rayleigh-Länge (1/3)	434
42.3 Strahltransformation durch eine Linse (1/3)	434
42.4 Abbildungsgesetze der geometrischen Optik (1/3)	434
42.5 Aufweitung mit einem Fernrohr (1/3)	435
43. Mikrowellen	436
Erzeugung und Nachweis	436
Reflexion und Absorption von Mikrowellen	437
Polarisierung durch Reflexion	438
Zirkulare Polarisation ($\lambda/4$ -Plattensystem)	439
Totalreflexion	439
43.1 Grundversuche mit Mikrowellen (2/3)	440
43.2 Michelson-Interferometer (1/3)	443
43.3 Doppelspaltinterferenzen (1/3)	444
43.4 Beugung am Einzelspalt (1/3)	446
43.5 Polarisierung durch Reflexion (1/3)	446

 **Kapitel X.**
Spektroskopie und Atomaufbau

44. Spektren und Aufbau der Atome	451
Licht und Spektren	451
Vorstellungen vom Atomaufbau	451
Atommodell von Bohr	453
Energien und Spektren des H-Atoms	455
Elektronen als Materiewellen	456
Beugungsgitter zur spektralen Zerlegung	457
44.1 Wellenlängenmessungen mit dem Beugungsgitter (2/3) ..	459

44.2	Gitterspektrometer (2/3)	460
44.3	Spektroskopische Handversuche (1/3)	461
44.4	„Take Home“ - Spektroskopie (1/3)	463
45.	Elektronenanregung durch Stöße	468
	Elektronenstoßversuche mit Atomen	468
	Franck-Hertz-Röhre mit reiner Hg-Füllung	469
	Aufbau einer Franck-Hertz-Röhre	471
	Elektronenstoßröhre mit Hg-Ne-Füllung	471
	Äußerer lichtelektrischer Effekt	473
45.1	Elektronenstöße in reinem Hg-Dampf (1/1)	475
45.2	Elektronenstöße in einer Hg/Ne-Röhre (2/3)	475
45.3	Plancksches Wirkungsquantum (1/3)	476
46.	Röntgenstrahlung	477
	Röntgenquellen	477
	Röntgenspektren	478
	Moseley-Gesetz	479
	Schwächung der Röntgenstrahlung	480
	Bragg-Reflexion	481
	Röntengeräte	482
	Strahlenschutzhinweise	483
46.1	Wellenlängenbestimmung der K-Linien (1/3)	483
46.2	Ausmessen eines Röntgenspektrums (1/3)	484
46.3	Bestimmung der K-Absorptionskante (1/3)	485
46.4	Schwächungskoeffizient (1/3)	486
46.5	Durchstrahlungsexperiment (1/3)	486
46.6	h -Bestimmung aus der Grenzwellenlänge (1/3)	487



Kapitel XI. Radioaktivität und Strahlenschutz

47.	Radioaktive Strahlung	491
	Aufbau der Atomkerne	491
	Eigenschaften radioaktiver Strahlung	493
	Absorption von γ -Strahlung	495
	Abstandsgesetz	496
	Biologische Wirkungen radioaktiver Strahlung	496
	Geiger-Müller-Zählrohr	498
	Statistische Schwankungen bei Zählungen	499
47.1	Zählrohrkennlinie und statistische Schwankungen beim radioaktiven Zerfall (1/3)	499
47.2	Prüfung des Abstandsgesetzes (1/3)	500
47.3	Prüfung des Absorptionsgesetzes (1/3)	501
47.4	Absorptionskoeffizient und Wirkungsquerschnitt verschiedener Substanzen für γ -Strahlung (2/3)	502

47.5	Messung der Totzeit eines Zählrohres (2/3)	504
47.6	Untersuchung von Zählstatistiken (2/3)	506
48.	γ-Spektroskopie	508
	γ -Strahlung	508
	Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie	509
	Detektion von γ -Strahlung	513
48.1	Spektren von γ -Quellen (1/2)	515
48.2	Compton-Streuung (1/2)	517
49.	α-Strahlung und Nebelkammer	519
	Radioaktiver Zerfall, α -Strahlung	519
	Zerfallsreihen	520
	Ionisationskammer	521
	Nebelkammer	523
49.1	Ionisationskammer (1/3)	523
49.2	Reichweite der α -Strahlen in Luft (1/3)	523
49.3	Halbwertszeit von $^{220}_{86}\text{Rn}$ Radon (1/3)	524
49.4	Kontinuierliche Nebelkammer (1/3)	525



Kapitel XII. Digitalelektronik und Computer

50.	Logische Verknüpfungen	529
	Digitalschaltungen	529
	Grundverknüpfungen	529
	Realisierung einer NAND-Schaltung	531
50.1	Logische Verknüpfungen (1/3)	532
50.2	Addierer-Schaltung (1/3)	533
51.	Einführung in das Arbeiten mit einem PC (Personal Computer)	534
	Digitale Informationsverarbeitung	534
	Hardware	535
	Software	536
	Einführung in die Programmierung	536
51.1	Grundfunktionen eines PCs (1/3)	537
51.2	Schreibprogramm (1/3)	538
51.3	Tabellenauswertung (1/3)	538
51.4	Programmieren mit Pascal (1/3)	538

52. Fourieranalyse, Signalabtastung und Signalfilterung	543
Periodische Signale und Fourierreihen	543
Bandbreite	544
Signal-Abtastung und Spektrenberechnung	545
Harmonische Analyse und Synthese	545
52.1 Darstellung von Signalen (1/3)	546
52.2 Fouriersynthese und -analyse (1/3)	550
52.3 Fourierkoeffizienten von Rechteck- und Sägezahnsignalen (1/3)	551
52.4 Spektrale Filterung durch Bandpässe (1/3)	552
52.5 Rauschunterdrückung (1/3)	553
52.6 Signal-Abtastung (1/3)	553
53. Ein- und Ausgabe von Messwerten und Steuersignalen mit dem PC	555
Computer am Experiment	555
Parallele Schnittstelle eines PC	556
Analog-Digital-Wandler	558
Digital-Analog-Wandler	558
D/A-Wandler mit der Parallelschnittstelle	559
Bytes lesen und schreiben	560
Digitale Speicheroszilloskopkarte	560
53.1 Digitale Spannungsein- und -ausgabe (1/3)	561
53.2 Analoge Spannungsein- und -ausgabe (1/3)	562
53.3 Aufbau eines Digital-Analog-Wandlers (1/3)	563
53.4 Funktionsgenerator (1/3)	564
53.5 Speicheroszilloskopkarte (1/3)	565
Literaturverzeichnis	567
Sachverzeichnis	575