

Physik für Natur- wissenschaftler I

Mechanik und Wärmelehre
Für Chemiker, Biologen, Geowissenschaftler

von
Hugo Neuert
Prof. an der Universität Hamburg



Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich
B. I.-Wissenschaftsverlag

INHALTSVERZEICHNIS

A. Aufgabe der Physik	5
B. Mechanik	7
I. Mechanik der Massenpunkte und fester Körper	7
1. Grundbegriffe und Einheiten	7
1.1. Länge; Längenmessung	7
1.2. Winkelmessung	7
1.3. Zeit; Zeitmessung	8
1.4. Masse; Dichte	12
2. Skalare und Vektoren; Rechnen mit Vektoren	13
3. Bewegung von Massenpunkten (Kinematik)	16
3.1. Geradlinige Bewegungen	17
3.2. Freier Fall	19
3.3. Krummlinige Bewegungen	19
3.4. Die gleichförmige Kreisbewegung	20
4. Kraft und Masse (Dynamik)	22
4.1. Impuls (Bewegungsgröße)	22
4.2. Kraft	22
4-3. Newton'sche Axiome	23
4.4. Schwerkraft, Gewicht	24
5. Arbeit, Energie, Leistung	25
5.1. Arbeit, Energie	25
5.2. Leistung	26
6. Erhaltungssätze der Mechanik	27
6.1. Potentielle und kinetische Energie; Energieerhaltungssatz	27
6.2. Impulserhaltungssatz	29
7. Starre Körper	30
7.1. Das Angreifen von Kräften am starren Körper	30
7.2. Massenmittelpunkt (Schwerpunkt) eines Körpers	31
7.3. Drehmoment	32
7.4. Kräftepaar	33
7.5. Drehbewegung um eine Drehachse; Trägheitsmoment	34
7.6. Drehimpuls	35
7.7. Drehimpulserhaltungssatz	J6

7.8. Gleichgewicht	37
7.9. Hebelgesetze	38
7.10. Zweiarmige Waage	38
8. Stoßgesetze	39
8.1. Elastischer Stoß	39
8.1.1. Zentraler Stoß	39
8.1.2. Nicht zentrale elastische Stöße (in der Horizontalebene)	41
8.2. Unelastischer Stoß	42
9. Kreisel	43
9.1. Freie Achsen; Hauptträgheitsmomente	43
9.2. Symmetrische Kreisel; kräftefreie Kreisel	43
9.3. Kreisel unter Einwirkung eines äußeren Drehmoments. Präzession des Kreisels	44
10. Gravitation	46
10.1. Gravitation und Schwerkraft	47
10.2. Planetenbewegung (Kepler'sche Gesetze)	47
10.3. Gravitationspotential	48
11. Bewegte Bezugssysteme; Relativbewegungen	49
12. Mechanische Eigenschaften fester Körper	53
12.1. Kristalle und Kristallstruktur	54
12.2. Oberflächen-(Haft-) sowie Gleitreibung	58
12.3. Elastische Eigenschaften fester Körper	59
12.4. Materie unter hohen Drücken	61
II. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	62
1. Eigenschaften ruhender Flüssigkeiten (Hydrostatik) und von Gasen	62
1.1. Hydrostatischer Druck; Schweredruck	63
1.2. Archimedes'sches Prinzip; Auftrieb	65
1.3. Kompressibilität von Flüssigkeiten	66
1.4* Oberflächenspannung (Haftspannung)	67
1.5. Kapillarität	69
1.6. Eigenschaften ruhender Gase	71
1.6.1. Das Gesetz von Boyle-Mariotte	71
1.6.2. Kompressionsmodul von Gasen	73
1.6.3. Barometrische Höhenformel	73

2. Strömungen in Flüssigkeiten und Gasen	74
2.1. Stationäre Strömungen, Stromlinien	75
2.2. Bernoulli'sche Gleichung; Strömung durch Rohre	76
2.3. Viskosität (innere Reibung); laminare Strömungen	77
2.4. Methoden zur Bestimmung der inneren Reibung	79
2.4.1. Strömung durch enge Rohre, Hagen-Poiseuille'sches Gesetz	79
2.4.2. Gesetz von Stokes	80
2.4.3. Turbulente Strömungen; Flüssigkeits- widerstand	81
2.4.4. Reynold'sche Zahl; Ähnlichkeitsgesetz	81
2.4.5. Wirbel	82
3. Zentrifugen	83
III. Schwingungen und Wellen in der Mechanik	85
1. Ungedämpfte mechanische Schwingungen	85
1.1. Lineare harmonische Schwingungen	85
1.2. Mathematisches Pendel	86
1.3. Überlagerung von harmonischen Schwingungen	86
1.3.1. Schwingungen in einer Richtung	86
1.3.2. Zweidimensionale Zusammensetzung harmonischer Schwingungen	89
2. Gedämpfte Schwingungen	89
3. Erzwungene Schwingungen; Resonanz	91
4. Drehschwingungen starrer Körper	93
4.1. Harmonische Drehschwingungen	93
4.2. Physikalisches Pendel	94
5. Wellen und Ausbreitung von Wellen	94
5.1. Stehende Wellen	96
5.2. Ausbreitungsgeschwindigkeit mechanischer Wellen in festen Körpern und in Flüssigkeiten	97
5.3. Ausbreitungsgeschwindigkeit in Gasen	98
5.4. Eigenschwingungen	99
5.5* Kopplung mechanischer schwingender Systeme	100
5.6. Interferenz von Wellen	101
5.7. Huygens'sches Prinzip	102

Inhaltsverzeichnis

5.8. Beugung von Wellen an Hindernissen	102
5.8.1. Beugung am Spalt	103
5.8.2. Beugung am Gitter	104
5-9. Reflexion und Brechung von Wellen	105
6. Schallwellen (Akustik)	106
6.1. Brechung, Reflexion und Absorption von Schallwellen	107
6.2. Schallfeldgrößen	108
6.3. Dopplereffekt	109
6.4. Ultraschall	110
6.4.1. Erzeugung von Ultraschall	110
6.4.2. Absorption von Ultraschall	111
7. Wasserwellen	111
7.1. Dispersion	112
7.2. Gruppen- und Phasengeschwindigkeit bei Wasserwellen	112
C. Wärmelehre	114

Physik für Naturwissen- schaftler II

**Elektrizität und Magnetismus,
Optik**

von

Hugo Neuert

Prof. an der Universität Hamburg



Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich
B. I.-Wissenschaftsverlag

D. Elektrizität und Magnetismus.

I.	Einführende Übersicht in Phänomene und Begriffe	184
1.	Elektrische Grundbegriffe und -erscheinungen	184
1.1.	Elektrische Ladungen	184
1.1.1.	Positive und negative Ladungen	184
1.2.	Elektrisches Feld; Kräfte im elektrischen Feld	185
1.3.	Coulombsches Gesetz; Einheit der elektrischen Ladung	185
1.4.	Nachweis von Ladungen. Elektroskope	186
1.5.	Leiter und Nichtleiter	187
2.	Magnetische Grundbegriffe und -erscheinungen	187
2.1.	Magnete und Magnetpole	188
2.2.	Magnetisches Feld	188
3.	Der elektrische Strom	189
3.1.	Wirkung des elektrischen Stroms	189
3.1.1.	Einheit der Stromstärke	190
3.2.	Strom und Magnetfeld	190
3.3.	Einige MeBinstrumente für elektrischen Strom (Amperemeter)	192
II.	Das elektrische Feld ruhender Ladungen (Elektrostatik)	193
1.	Feld um eine Punktladung; Gaußscher Satz der Elektrostatik	194
2.	Arbeit, Potential, Spannung im elektrischen Feld	195
2.1.	Einheit der Spannung	197
3.	Statischer elektrischer Dipol	197
3.1.	Dipol im homogenen und inhomogenen elektrischen Feld	199
3.2.	Potentielle Energie eines elektrischen Dipols im elektrischen Feld	199
3.3.	Van der Waals-Kräfte	200
4-	Energie eines Systems von Ladungen	202
5-	Statische MeBinstrumente für Spannung und Ladung	202
6.	Ladungen auf Nichtleitern und Leitern	203
7-	Influenz	203
8.	Kondensatoren; Kapazität	205
8.1.	Plattenkondensator	205
8.2.	Die Kapazität von Kondensatoren	205
8.3.	Schalten von Kapazitäten	205

8.4.	Messung von Kapazitäten mit dem ballistischen Galvanometer	206
8.5.	Kräfte und Energie im Plattenkondensator; Spannungswaage	206
9.	Materie im elektrischen Feld	208
9.1.	Dielektrika, Dielektrizitätskonstante	208
9.2.	Elektrische Polarisierung	209
9.2.1.	Verschiebungspolarisation	209
9.2.2.	Orientierungspolarisation	210
9-3.	Temperaturabhängigkeit der Polarisierung	210
9.4.	Energie im elektrischen Feld	212
9.4.1.	Verfahren zur Bestimmung von f . in Flüssigkeiten	212
9.5-	Ferroelektrizität; piezoelektrischer Effekt; Elektrete	213
III.	Der elektrische Strom	213
1.	Zusammenhänge zwischen Strom und Spannung; Ohm'sches Gesetz	214
1.1.	Spezifischer Widerstand; Temperaturabhängigkeit des Widerstands	215
1.2.	Stromarbeit; Stromleistung	217
1.3.	Schaltung von Stromkreisen	218
1.4-	Entladen und Aufladen eines Kondensators über einen Ohm'schen Widerstand	219
2.	Messung von Gleichstrom und -spannung	220
2.1.	Verfahren zur Messung von Gleichstrom-Widerständen	222
3.	Klemmenspannung und EMK einer Strom- bzw. Spannungsquelle	224
3.1.	Innerer Widerstand und Kurzschlußstrom	224
3.2.	Optimale Anpassung	225
4.	Mechanismus des Ladungstransports	226
4.1.	Ionenleitung in Flüssigkeiten	226
4.1.1.	Faradaysche Gesetze der Elektrolyse	227
4.1.2.	Leitfähigkeit von Elektrolyten	228
4.1.3.	Elektrophorese	229
4.2.	Metallische Leitung	229
4.2.1.	Freie Elektronen im Metall; Elektronengas	229

4.2.2. Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit bei Metallen	232
4.3. Supraleitung	233
IV. Das magnetische Feld	235
1. Statische Magnetfelder (Magnetostatik)	235
1.1. Magnetische Feldstärke, Einheit der Feldstärke	235
1.2. Feld um stromführende Leiter; Biot-Savartsches Gesetz	236
2. Kräfte im Magnetfeld	238
2.1. Kraft auf magnetische Pole; magnetischer Dipol	238
2.2. Kraft und Energie im homogenen H-Feld	238
2.3* Kraft auf einem stromführenden Leiter im H-Feld; Lorentzkraft	239
2.4. Neue Definition des Ampere	240
2.5. Magnetisches Moment einer Stromschleife 2.5.1. Das Bohrsche Magneton	241 242
3. Veränderliche magnetische Felder; elektromagnetische Induktion	242
3.1. Lenzsche Regel ; Wirbelströme	244
4. Maxwell'sche Gleichungen (integrale Form)	244
5. Messung magnetischer Felder (Feldstärken)	246
6. Selbstinduktion	248
6.1. Selbstinduktionskoeffizient	248
6.2. Ein- und Ausschalten von Stromkreisen und Selbstinduktion	248
6.3. Energie in einem Stromkreis mit Selbstinduktion	249
7. Materie im Magnetfeld	249
7.1. Magnetisierung; Permeabilität	250
7.2. Paramagnetische Materie	250
7.3. Diamagnetische Materie	252
7*4- Halbklassische Betrachtungen zum Paramagnetismus	252
7.5* Ferromagnetische Materie	254
7.6. Dauermagnete	256
7.7. Elektromagnete	257
V. Wechselstrom und Wechselspannung	258
1. Wechselstromgenerator	258
2. Wechselstromarbeit; Effektivwerte von Strom und Spannung	258

3. Messen von Wechselströmen und Wechselspannungen	259
4. Wechselstromwiderstand; Phasenbeziehungen in Kreisen mit Wechselstrom	260
5. Meßverfahren zur Bestimmung von C und L; L,C-Meßbrücken	263
6. Drehstrom	265
7. Transformator	266
VI. Elektrische Schwingungen	267
1. Geschlossener elektrischer Schwingkreis; freie elektrische Schwingungen	267
2. Schwingkreis mit Dämpfung	268
3. Erzwungene elektrische Schwingungen	269
4. Gegenseitige Induktion; induktive Kopplung; Frequenzmesser	270
VII. Elektromagnetische Wellen	271
1. Ausbreitung elektrischer Schwingungen auf Leitern	271
2. Offener Schwingkreis; schwingender elektrischer Dipol	272
2.1. Hertz'sche Wellen; Abstrahlung vom schwingenden elektrischen Dipol	272
2.2. Allgemeine Eigenschaften schwingender Dipole	273
3. cm-Wellen; Hohlraum-Resonator	275
4. Ausbreitung technischer elektromagnetischer Wellen	275
VIII. Gasentladungen; Elementarprozesse in Gasentladungen	277
1. Unselbständige und selbständige Gasentladungen	277
2. Elementare Prozesse in Gasentladungen	278
3. Kathodenstrahlen, Ionenstrahlen (Kanalstrahlen)	281
4. Lumineszenz, Phosphoreszenz, Fluoreszenz	282
IX. Elektronen-Röhren	283
1. Glühemiasion; Elektronenaustrittsarbeit; Röhrendiode	283
2. Röhrentriode; Verstärkerröhre; Senderöhre	285
3. Kathodenstrahlzylinder (Braun'sches Rohr)	288
4. Sekundärelektronenvervielfacher (Multiplifier)	288
X. Weitere Erscheinungen an Grenzflächen von festen Körpern und Flüssigkeiten	289
1. Voltspannung	289
2. Seebeck-Effekt; thermoelektrischer Effekt; Peltier-Effekt	291

3. Elektrolytische Potentiale; elektro-chemische Spannungsreihe	293
4. Galvanische Elemente	295
4.1. Daniell-Element; Normalelement	295
4.2. Konzentrationselemente	295
4-3. Polarisations-elemente ; Akkumulatoren	295
XI. Halbleiter und Anwendungen	296
1. Energiebänder-Modell	297
2. Elektrische Leitung	299
2.1. Eigenleiter	299
2.2. Fremddotierte Halbleiter	300
2.3. Halbleiterdioden und ihre Anwendung	302
2.4. Transistoren und Schaltungen	304
2.5. Rechenverstärker (Operationsverstärker)	308
XII. Besondere Merkmale von Verstärkern und elektrischen Meßeinrichtungen	312
1, Analog- und digital-anzeigende Meßeinstrumente	312
2. Verstärkerrauschen (Begrenzung der Empfindlichkeit und Genauigkeit von Meßvorgängen)	313
2.1. Galvanometer	313
2.2. Elektrische Schwankungserscheinungen bei Verstärkern (Rauschen)	314
E. Optik	317

Physik für Naturwissen- schaftler III

Atomphysik, Kernphysik

von

Hugo Neuert

Prof. an der Universität Hamburg



Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich
B.I.-Wissenschaftsverlag

F.	Atomphysik.	379
I.	Der atomistische Aufbau der Materie	379
	1. Geschichtliche Entwicklung der Vorstellungen über den atomistischen Aufbau der Materie	379
	2. Die heutige Vorstellung über den Aufbau der Materie und die Struktur und die Größe der Atome	381
II.	Elektronen	383
	1. Die elektrische Ladung des Elektrons	383
	2. Das Verhältnis von Ladung und Masse (spezifische Ladung) des Elektrons	383
	2.1. Äquivalenz von Masse und Energie	386
	3. Elektronenoptik, Elektronenmikroskop	387
	4. Die Welleneigenschaften bewegter Teilchen; De Broglie-Wellenlänge	391
	4.1. Wellengleichung für die Ausbreitung von Materiewellen; Schrödinger-Gleichung	393
III.	Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation	395
IV.	Quantenphysik des Lichts	397
	1. Lichtquanten (Photonen)	397
	2. Der äußere lichtelektrische Effekt (Photoeffekt)	398
	2.1. Experimentelle Bestimmung von h aus dem Photoeffekt	400
	2.2. Einige Verfahren zur Messung der Intensität des sichtbaren und des ultravioletten Lichts	401
	3. Photochemie	402
	4. Comptoneffekt	403

V.	Atomspektren und das Bohrsche Atommodell	404
	1. Grundlagen für die Entwicklung eines Atommodells	404
	2. Das Bohrsche Atommodell	406
	2.1. Das H-Atom-Spektrum	408
	3* Erweiterung der Bohrschen Theorie durch Sommerfeld; Grenzen der Theorie	409
	3.1. Korrespondenzprinzip	410
	4. Wellenmechanische Theorie des H-Atoms	411
	5. Der Elektronenspin	416
	6. Kopplung von Drehimpulsen; Feinstruktur der Spektrallinien	416
	7. Angeregte Zustände von Atomen; Franck-Hertz-Versuch	413
	7.1. Lebensdauer angeregter Zustände	420
	8. Strahlungsübergänge und Auswahlregeln	422
	9. Spektralanalyse	423
	10. Metastabile Zustände	424
	11. Pauli-Prinzip und Periodisches System der Elemente	426
	12. Schalenstruktur und Ionisierungsenergie der Atome	432
VI.	Maser und Laser	434
	1. Festkörper-Laser	436
	2. Gaslaser	438
	2.1. Helium-Neon-Laser	439
	2.2. Gasionen-Laser	440
	2.3. Metalldampf- und Metalldampf + Gas-Laser	440
	2.4. CO ₂ -Laser	441
	3. Halbleiter-Laser	441
	4. Chemische Laser	442
	5. Farbstofflaser	443
	6. Ausblick und Anwendung von Lasern in der Chemie	444

VII.	Magnetische Eigenschaften von Atomen	445
	1. Richtungsquantelung	445
	2. Magnetisches Moment zum Spin des Elektrons	447
	3. Magnetisches Moment von Atomen	448
	4. Der normale Zeeman-Effekt	450
	4.1. Der anomale Zeeman-Effekt	452
	4.2. Der Stern-Gerlach-Effekt	453
	5. Hyperfeinstruktur der Spektrallinien	454
	6. Termschema des Wasserstoffatoms	456
	7. Optisches Pumpen	458
VIII.	Röntgenstrahlen	463
	1. Entstehung von Röntgenstrahlen	463
	2. Bestimmung der Wellenlänge von Röntgenstrahlen	465
	2.1. Klassische Methode	465
	2.2. Beugung und Interferenz von Röntgenstrahlen in Kristallen	467
	2.3. Debye-Scherrer-Verfahren	471
	3. Das kontinuierliche Röntgenspektrum	472
	4. Die charakteristische Röntgenstrahlung	472
	5. Bestimmung der Loschmidt-Zahl mit Röntgenstrahlen	475
	6. Der Auger-Effekt	475
	7. Absorption von Röntgenstrahlen	477
	7.1. Das Grundgesetz für die Schwächung von Röntgenstrahlen beim Durchgang durch Materie	477
	7.2. Absorptionsprozesse	478
	7.3. Streuung von Röntgenstrahlen	481

IX.	Moleküle	482
	1. Molekülbindung (zwischenatomare Bindung)	482
	1.1. Heteropolare Bindung (Ionenbindung)	484
	1.2. Atombindung (kovalente, homöopolare Bindung)	485
	1.3. Hybridisation	489
	1.4. Van der Waals-Bindung zwischen Atomen	490
	2. Kristallbindung	491
	2.1. Ionenkristalle (z.B. NaCl, CaF ₂ , Metalloxide)	491
	2.2. Atomkristalle (z.B. C, Si, Ge, Te, u.a.)	492
	2.3. Kristalle mit Dipol- oder Wasserstoff- brückenbindung (z.B. Eis, HF, u.a.)	492
	2.4. Kristalle mit Van der Waals-Bindung (z.B. Edelgaskristalle, Molekülkristalle wie H ₂ , Cl ₂ , CO ₂ , zahlreiche organische Molekül- kristalle)	492
	2.5. Metallische Bindung	493
	3. Schwingung und Rotation von Molekülen. Bandenspektren	493
	3.1. Der harmonische Oszillator als Modell eines schwingenden zweiatomigen Moleküls	493
	3.2. Schwingungsspektren zweiatomiger Moleküle	497
	3.3. Nullpunktsenergie	500
	3.4. Rotationsspektren	501
	3.5. Elektronisch angeregte Zustände zweiatomiger Moleküle	505
	3.5.1. Franck-Condon-Prinzip für elektronische Anregung mit gleichzeitiger Schwingungsanregung	507