

1. Elektrizität und Magnetismus

<u>1.1. Elektrostatik</u>	1
1.1.1. Elektrische Ladung	1
1.1.2. Zur Frage des Masssystems	6
1.1.3. Das Coulomb'sche Gesetz	9
1.1.4. Das elektrostatische Feld	11
1.1.5. Die Grundgleichung der Elektrostatik	13
1.1.6. Das elektrostatische Feld als Potentialfeld	18
1.1.7. Die Rolle des Leiters in der Elektrostatik	21
1.1.8. Veranschaulichung des elektrostatischen Feldes durch Feldlinien und Äquipotentialflächen	26
1.1.9. Die Gleichung von Laplace	28
1.1.10. Die Gleichung von Poisson	30
1.1.11. Der Kondensator und der Begriff der Kapazität	33
1.1.12. Die Energie des elektrischen Feldes	37
1.1.13. Nichtleitende Materie im elektrostatischen Feld	41
<u>1.2. Der elektrische Strom</u>	49
1.2.1. Der Strom als bewegte Ladung	49
1.2.2. Modellvorstellungen zur elektrischen Leitfähigkeit	52
1.2.3. Joule'sche Wärme	60
1.2.4. Das Stromdichtefeld im stationären Zustand bei Ohm'schem Verhalten	62
1.2.5. Das stationäre Stromdichtefeld bei nicht-ohm'schem Verhalten	64
1.2.6. Nichtstationäre Ströme und die Kontinuitätsgleichung	67
1.2.7. Das RC-Glied als Schaltelement	69
<u>1.3. Das Magnetfeld stationären Ströme</u>	71
1.3.1. Die Kraftwirkung zwischen Strömen	71
1.3.2. Definition des Vektorfeldes $\vec{B}$ mit Hilfe der Lorentz-Kraft	72
1.3.3. Erzeugung des Feldes $\vec{B}$ durch Ströme	75

1.3.4.	Der Zusammenhang zwischen dem Stromdichtefeld $\vec{j}$ und dem Felde $\vec{B}$	81
1.4.	<u>Die Lorentz-Kraft</u>	84
1.4.1.	Bewegung freier geladener Teilchen im $\vec{B}$ -Feld.	84
1.4.2.	Kraft auf Ladungsträger in bewegten Leitern	87
1.4.3.	Die Lorentz-Kraft bei driftenden Ladungsträgern	89
1.5.	<u>Die Magnetisierung der Materie</u>	91
1.5.1.	Das magnetische Dipolmoment	92
1.5.2.	Von der atomaren zur phänomenologischen Beschreibung der Magnetisierung	94
1.5.3.	Das Zusammenwirken von Leitungs- und Molekularströmen	99
1.5.4.	Zur Charakterisierung des magnetischen Verhaltens eines Materials	101
1.6.	<u>Der Maxwell'sche Verschiebungsstrom</u>	105
1.7.	<u>Das Induktionsgesetz von Faraday</u>	108
1.7.1.	Experimentelle Tatsachen, ihre Deutungen und Analyse	108
1.7.2.	Gegenseitige Induktion von Leiterschleifen	116
1.7.3.	Die Selbstinduktion	119
1.7.4.	Beispiele zur Berechnung des Koeffizienten der Selbstinduktion	123
1.7.5.	Die Energie des $\vec{B}$ -Feldes	125
1.7.6.	Die Energie eines Systems von zwei Leiterkreisen	128
1.8.	<u>Zusammenfassung: Die grundlegenden Gleichungen</u>	129

2. Schwingungen

2.1.	<u>Lineare Schwingungssysteme mit einem einzigen Freiheitsgrad</u>	130
2.1.1.	Freie Schwingungen	130
2.1.2.	Erzwungene Schwingungen: Der stationäre Zustand	138

2.1.3.	Nichtstationäre Zustände	145
2.2.	<u>Lineare Schwingensysteme mit zwei und mehr Freiheitsgraden</u>	148
2.2.1.	Einfache Beispiele für lineare und annähernd lineare Systeme	148
2.2.2.	Lineare Schwingensysteme mit zwei Freiheitsgraden	151
2.2.3.	Lineare Schwingensysteme mit mehr als zwei Freiheitsgraden	157
2.2.4.	Zusammenfassung	160
2.3.	<u>Beispiele dynamischer Kopplung</u>	161
2.3.1.	Das Rott'sche Doppelpendel	162
2.3.2.	Pendelmasse an Feder hängend	164
2.4.	<u>Anharmonischer Oszillator bei harmonischer Anregung</u>	165

3. Wellen

3.1.	<u>Mechanische Wellen im Kontinuum</u>	169
3.1.1.	Transversalwelle auf einem gespannten Seil	169
3.1.2.	Longitudinale, ebene Welle in einem elastischen Medium	171
3.1.3.	Ebene Scherungswelle in einem elastischen Medium	173
3.1.4.	Schallwellen in einem Gas	175
3.1.5.	Zur mathematischen Darstellung der Wellengleichung und spezieller Lösungen	177
3.1.6.	Energie transport in einer elastischen Welle	181
3.1.7.	Das Verhalten einer Welle an der Grenzfläche zweier Medien	183
3.1.8.	Stehende Wellen	188
3.1.9.	Mathematischer Exkurs: Überlagerung von Schwingungen und Analyse von periodischen und nichtperiodischen Vorgängen	191
3.1.10.	Normalschwingungen als stehende Wellen	199
3.2.	<u>Wellen in einem periodischen Struktur, Dispersion</u>	210
3.2.1.	Wellenfortpflanzung in einer Federkette	210
3.2.2.	Phasengeschwindigkeit und Gruppengeschwindigkeit	215

<u>3.3. Elektromagnetische Wellen</u>	219
3.3.1. Wellenfortpflanzung längs einer Doppelleitung	219
3.3.2. Stehende Wellen auf der Doppelleitung	228
3.3.3. Elektromagnetische Wellen im freien Raum	229
3.3.4. Energietransport in einer elektromagnetischen Welle	241
3.3.5. Abstrahlung durch einen oszillierenden elektrischen Dipol	243
3.3.6. Streuung	247
<u>3.4. Allgemeine Wellenphänomene Optik</u>	252
3.4.1. Reflexion, Brechung und das Prinzip von Fermat	252
3.4.2. Das wellenkinematische Prinzip von Huygens	259
3.4.3. Interferenz	265
3.4.4. Beugung	273
3.4.5. Beugung an einem Gitter	281
3.4.6. Die Abbildungstheorie von Abbé und das Auflösungsvermögen des Mikroskops	284

4. Atome und Quanten

<u>4.1. Das Versagen der klassischen Theorie</u>	287
4.1.1. Der Photoeffekt	287
4.1.2. Die Doppelnatur des Lichtes: Welle oder Teilchen?	291
4.1.3. Der Impuls der Lichtquanten	294
4.1.4. Die Wellennatur von Materieteilchen	302
4.1.5. Zur Problematik der einfachsten Materiewelle	307
4.1.6. Darstellung eines Materieteilchens als Wellengruppe (Wellenpaket)	310
<u>4.2. Die Heisenberg'sche Unschärferelation</u>	311
4.2.1. Warum die klassische Mechanik nicht immer sinnvoll ist	311
4.2.2. Gedankenexperimente zur Unschärferelation	313
4.2.3. De Broglie-Wellen und Unschärferelation	316

<u>4.3. Atome, Spektrallinien und Energieniveaus</u>	319
4.3.1. Überblick über das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung	319
4.3.2. Die klassische Theorie erklärt das Atom nicht	321
4.3.3. Einige Beobachtungen über Linienspektren und der Schluss auf diskrete Energieniveaus	322
<u>4.4. Die Berechnung der Wellenfunktion ψ: Die Schrödinger-Gleichung</u>	328
4.4.1. Stationäre Zustände als stehende Materiewellen	328
4.4.2. Das eingesperrte Teilchen	330
4.4.3. Der harmonische Oszillator	334
4.4.4. Das Wasserstoff-Atom	338
<u>4.5. Der Weg zum Verständnis des periodischen Systems der Elemente</u>	350
4.5.1. der Spin des Elektrons	350
4.5.2. Das Ausschlussprinzip von Pauli und der Bau der Atome	353

5. Wärme

<u>5.1. Zum Wesen der Wärme und der Temperatur</u>	361
5.1.1. Manifestationen der Wärmebewegung	361
5.1.2. Geordnete und ungeordnete Bewegung von vielen Teilchen	365
5.1.3. Irreversible Vorgänge	367
5.1.4. Elementare Konzepte aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung	373
5.1.5. Eine phänomenologische Definition der Temperaturskala	377
5.1.6. Eine atomistische Definition der Temperaturskala	379
5.1.7. Die statistische Mechanik des idealen Gases	382
5.1.8. Die Identifizierung der atomistischen mit der phänomenologischen Temperaturskala	388
5.1.9. Bemerkungen zu idealisierenden Annahmen	391
<u>5.2. Die innere Energie eines Systems von vielen atomaren Teilchen</u>	394
5.2.1. Das ideale Gas	394

5.2.2.	Der feste Körper	403
5.2.3.	Der Grenzfall hoher Temperatur: Äquipartition	405
5.3.	<u>Der erste Hauptsatz der Wärmelehre</u>	406
5.3.1.	Wärme und Arbeit	406
5.3.2.	Formulierung des ersten Hauptsatzes	410
5.3.3.	Einfache Anwendungen des ersten Hauptsatzes	411
5.4.	<u>Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre</u>	422
5.4.1.	Das perpetuum mobile zweiter Art	422
5.4.2.	Der Kreisprozess von Carnot	429
5.4.3.	Der Kreisprozess von Stirling	433
5.4.4.	Andere Zyklen und Maschinen	436
5.4.5.	Wärmepumpen und Kühlmaschinen	439
5.5.	<u>Das reale Gas und das Phänomen der Kondensation</u>	442
5.5.1.	Experimentelle Tatsachen	442
5.5.2.	Die Zustandsgleichung von van der Waals	446
5.6.	<u>Transportphänomene und Irreversibilität</u>	453
5.6.1.	Diffusion als Zufallsbewegung	453
5.6.2.	Phänomenologie der Diffusion: Die Diffusionsgleichung	459
5.6.3.	Phänomenologie der Wärmeleitung: Die Wärmeleitungsgleichung	464
5.6.4.	Wärmetransport in einem Gas	466
5.7.	<u>Wärmestrahlung</u>	469
5.7.1.	Einige Beobachtungen: Demonstrationsexperimente	469
5.7.2.	Das Planck'sche Strahlungsgesetz	471

6. Relativität

6.1.	<u>Die Frage des Bezugssystems</u>	480
6.1.1.	Inertialsysteme und Galilei-Transformation	480

6.1.2.	Warum die Galilei-Transformation höchstens eine Näherung ist	482
6.1.3.	Das Experiment von Michelson und Morley	483
<u>6.2.</u>	<u>Die Lorentz-Transformation</u>	489
<u>6.3.</u>	<u>Einige Konsequenzen der Lorentz-Transformation</u>	492
6.3.1.	Die Transformation der Geschwindigkeit	492
6.3.2.	Die Transformation der Beschleunigung	493
6.3.3.	Die Transformation der Länge	494
6.3.4.	Die Zeit-Dilatation	496
<u>6.4.</u>	<u>Der relativistische Impuls</u>	497
<u>6.5.</u>	<u>Die relativistische Energie</u>	501