

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Einführung in Thema und Erscheinungswelt der Physik

1.1	Zur Begriffsbestimmung der Physik	1
1.2	Längenmessung	3
1.3	Raum	3
1.4	Zeit und Zeiteinheit	4
1.5	Materie und Masse	4
1.6	Atomare Standards der Basiseinheiten	6
1.7	Physikalische Methodik	7
1.8	Über verschiedene Typen physikalischer Aussagen	9
1.9	Kräfte und Wechselwirkungen	14
1.10	Skalen physikalischer Objekte	16

## Teil I Mechanik

### 2. Kinematik

2.1	Eindimensionale Bewegungen von Massenpunkten	19
2.2	Vektoren	26
2.3	Produktoperationen mit Vektoren	28
2.4	Mehrdimensionale Bewegungen in Vektorschreibweise	31
2.5	Kreisbewegungen	35
2.6	Winkelgeschwindigkeit als Vektor	39
2.7	Polare und axiale Vektoren	40

### 3. Einführung in die Dynamik

3.1	Kraftbegriff und Trägheitsprinzip	43
3.2	Newtonsches Kraftgesetz, träge und schwere Masse	45
3.3	Drittes Newtonsches Grundgesetz: $\text{actio} = \text{reactio}$	49
3.4	Inertialsysteme und Relativitätsprinzip	51
3.5	Galilei-Transformation	54
3.6	Lorentz-Transformation	56
3.7	Zwangskräfte, d'Alembertsches Prinzip	58
3.8	Beschleunigte Bezugssysteme	63

**4. Energie und Energiesatz**

4.1	Kinetische und potentielle Energie, Arbeit	76
4.2	Arbeit äußerer Kräfte	79
4.3	Arbeit und potentielle Energie als Skalarprodukt und Wegintegral	81
4.4	Konservative Kräfte	83
4.5	Kraft als Gradient der potentiellen Energie	85
4.6	Keplersche Gesetze und Gravitation	91
4.7	Darstellung von Feldern durch Feldlinien und Äquipotentialflächen	99
4.8	Leistung	101
4.9	Reibung	102

**5. Impuls und Impulserhaltungssatz**

5.1	Definition des Impulses	105
5.2	Impulserhaltung	106
5.3	Schwerpunktssystem und Schwerpunktsbewegung	108
5.4	Zweikörperstöße	113
5.5	Anwendung der Stoßgesetze in der mikroskopischen Physik	119
5.6	Impulsumkehr, Zeitumkehrinvarianz und andere Symmetrieprinzipien der Physik	120
5.7	Raketenantrieb	125

**6. Drehimpuls, Drehmoment, Drehimpulssatz**

6.1	Drehimpuls eines Massenpunktes	129
6.2	Drehmoment	130
6.3	Drehimpulserhaltung	132
6.4	Drehimpuls eines Systems von Massenpunkten	136

**7. Drehbewegungen starrer Körper**

7.1	Trägheitsmoment um eine raumfeste Achse	139
7.2	Dynamisches Grundgesetz der Drehbewegung um eine starre Achse	145
7.3	Drehbewegungen um freie Achsen	150
7.4	Hauptträgheitsachsen	153
7.5	Kreiselbewegungen bei äußeren Kräften	157

**8. Elastische Kräfte und deren molekulare Grundlagen**

8.1	Moduln elastischer Körper	165
8.2	Potential elastischer Kräfte	170
8.3	Molekulare Bindungskräfte	173
8.4	Lenard-Jones-Potential	175

**9. Ruhende Flüssigkeiten und Gase**

9.1	Charakterisierung der Aggregatzustände durch Moduln	179
9.2	Hydrostatischer Druck	180
9.3	Flüssigkeitsoberfläche als Äquipotentialfläche	182
9.4	Hydrostatischer Schweredruck	183
9.5	Auftrieb und spezifisches Gewicht	185
9.6	Oberflächenspannung	188
9.7	Kapillardruck und kapillare Steighöhe	191
9.8	Ruhende Gase	196

**10. Strömende Flüssigkeiten und Gase**

10.1	Strom und Stromdichte	201
10.2	Bernoullische Gleichung	207
10.3	Laminare Strömung, innere Reibung	214
10.4	Wirbel	218
10.5	Zirkulation, Rotation und Stokesscher Satz, Elemente der Vektoranalysis	224

**11. Schwingungen**

11.1	Ungedämpfte Federschwingung	234
11.2	Ungedämpfte Pendelschwingung	239
11.3	Gedämpfte freie Schwingung	244
11.4	Erzwungene Schwingung, Resonanz	253
11.5	Quantenmechanische Resonanzen und Spektroskopie	258
11.6	Anharmonische Schwingungen und Fourierzerlegung	260
11.7	Selbsterregte Schwingung durch Entdämpfung	263
11.8	Gekoppelte Schwingungen, Schwebung	266
11.9	Chaotisches Doppelpendel	269
11.10	Schwingungen in mehreren Dimensionen und von Vielteilchensystemen	270

**12. Wellen**

12.1	Phänomenologisches über Wellen	277
12.2	Wellengleichung	281
12.3	Reflexion; Brechung; Totalreflexion	289
12.4	Interferenz und Beugung	295
12.5	Stehende Wellen als Interferenz gegenläufiger Wellen	301
12.6	Wellengleichung und Eigenschwingungen in mehreren Dimensionen	305
12.7	Wellengruppen und Gruppengeschwindigkeit	312

## Teil II Wärme und Statistik

### 13. Grundtatsachen der Wärmelehre

13.1	Wärmebegriff	319
13.2	Temperaturbegriff	320
13.3	Wärmeausdehnung von Stoffen, Eichung der Temperaturskala	321
13.4	Wärmeausdehnung von Gasen, Gay-Lussacsches und Boyle-Mariottesches Gesetz, ideale Gasgleichung	324
13.5	Wärmemenge und Wärmetransport	327

### 14. Grundzüge der kinetischen Gastheorie

14.1	Histogramm und Verteilungsfunktion	333
14.2	Gasdruck als dynamischer Druck stoßender Moleküle	335
14.3	Satz über die Summe von Partialdrücken	340
14.4	Mittlere thermische Molekülgeschwindigkeit und Brownsche Bewegung	340
14.5	Innere Energie, Freiheitsgrade, Äquipartitionstheorem und spezifische Wärmekapazität $C_V$	342
14.6	Boltzmann-Faktor und Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	348

### 15. Erster Hauptsatz der Wärmelehre

15.1	Formulierung des 1. Hauptsatzes für ideale Gase	357
15.2	Isobare Zustandsänderung	359
15.3	Adiabatische Zustandsänderung	359
15.4	Wärme und Arbeit bei isothermer Zustandsänderung	363
15.5	Isothermen und Adiabaten im $pV$ -Zustandsdiagramm	364

### 16. Kreisprozesse und zweiter Hauptsatz der Wärmelehre

16.1	Carnotscher Kreisprozeß	365
16.2	Wärmekraftmaschinen, Wärmepumpen und Kühlmaschinen	368
16.3	Grenzwert des Wirkungsgrads und zweiter Hauptsatz der Wärmelehre	370
16.4	Reversible Kreisprozesse	372
16.5	Reduzierte Wärmemengen und Entropiebegriff	374
16.6	Beispiele zur Entropie	379
16.7	Thermodynamische Temperaturskala	383

### 17. Statistische Transportphänomene

17.1	Grundtatsachen der Diffusion	385
17.2	Diffusion durch Poren und Diffusionsgleichung	386
17.3	Ficksche Gesetze	388
17.4	Beispiele für Diffusionsprozesse	392
17.5	Osmose	394

**18. Stoffe in verschiedenen Aggregatzuständen**

18.1	Reale Gase und van der Waals-Gleichung	397
18.2	Joule-Thomson-Effekt und Enthalpie	398
18.3	Isothermen realer Gase, Verflüssigung und Verdampfung	402
18.4	Verdampfungswärme, Clausius Clapeyronsche Gleichung	406
18.5	Schmelzen, Sublimieren, Phasendiagramm	409
18.6	Ausblick	412

**Teil III Elektromagnetismus****19. Elektrostatik**

19.1	Atomistische Struktur der Elektrizität, Elementarladung	421
19.2	Coulomb-Gesetz	425
19.3	Potentielle Energie einer Anordnung von Punktladungen und von Ladungsverteilungen	430
19.4	Elektrisches Feld	433
19.5	Elektrisches Potential und elektrische Spannung	436
19.6	Elektrischer Kraftfluß und 1. Maxwellsche Gleichung	440
19.7	Oberflächenladungen auf Leitern	445
19.8	Influenz	453
19.9	Kapazität eines Leiters, Kondensator	455
19.10	Energiedichte des elektrischen Feldes	459
19.11	Elektrischer Dipol und elektrisches Dipolmoment	462
19.12	Isolatoren im $E$ -Feld, Dielektrika	467

**20. Gleichströme**

20.1	Elektrischer Strom und elektrischer Widerstand	481
20.2	Ohmsches Gesetz	486
20.3	Kirchhoffsche Gesetze	487
20.4	Elektrische Leitung im Bändermodell	495
20.5	Leitertypen und ihr Temperaturverhalten	498
20.6	Leitung durch Photoeffekt	502
20.7	Glühelektronenemission und Raumladung	505
20.8	Kontaktspannungen und Thermoelemente	509

**21. Stationäre Magnetfelder**

21.1	Grundtatsachen über Magnetfelder	513
21.2	Magnetische Kräfte und Kraftflußdichte, Magnetfeld gestreckter Stromfäden	516
21.3	Quellenfreiheit des $B$ -Feldes, magnetisches $H$ -Feld, Ampèresches Durchflutungsgesetz	521
21.4	Biot-Savartsches Elementargesetz	528

21.5	Kräfte auf Ströme im Magnetfeld, Lorentz-Kraft	530
21.6	Relativistischer Charakter der Lorentz-Kraft	536
<b>22. Magnetische Induktion</b>		
22.1	Bewegte Leiter im Magnetfeld	541
22.2	Induktion bei veränderlichem Magnetfeld	546
22.3	Elektrische Ringfelder	548
22.4	Belastete Induktionsspule und Lenzsche Regel	550
22.5	Selbstinduktion	551
22.6	Energiedichte im magnetischen Feld	555
22.7	Wirbelströme	556
22.8	Halleffekt	559
<b>23. Materie im Magnetfeld</b>		
23.1	Grundtatsachen von Para- und Diamagnetismus	561
23.2	Verhalten der magnetischen Feldgrößen $\mathbf{B}$ und $\mathbf{H}$ an Grenzflächen	563
23.3	Atomare Dipolmomente als Ursache des Paramagnetismus	571
23.4	Induktion als Ursache des Diamagnetismus	573
23.5	Ferromagnetismus	575
<b>24. Stationäre Wechselströme</b>		
24.1	Strom-Spannungsbeziehungen an $R$ , $C$ , $L$	581
24.2	Wechselspannung an $RCL$ -Kreis, elektrische Resonanz	584
24.3	Wechselstromwiderstand	587
24.4	Transformator	595
<b>25. Aktive Bauelemente</b>		
25.1	Dotierte Halbleiter	599
25.2	Leitung über eine p-n-Grenzschicht, Halbleiterdiode	602
25.3	Transistor	604
25.4	Selbsterregung eines Schwingkreises durch rückgekoppelten Verstärker	607
<b>26. Maxwellsche Gleichungen und elektromagnetische Wellen</b>		
26.1	Maxwellscher Verschiebungsstrom	609
26.2	Maxwellsche Gleichungen	611
26.3	Elektromagnetische Wellengleichung	613
26.4	Elektromagnetische Wellenenergie und Poynting-Vektor	614
26.5	Drahtwellen, Hertzscher Dipol	618
26.6	Doppel- und Koaxialleitungen	621
26.7	Hohlraumresonatoren, Hohlleiter und Mikrowellen	626
26.8	Abstrahlung des Hertzschen Dipols	630
26.9	Strahlung einer beschleunigten Punktladung	634

## Teil IV Licht und Optik

### 27. Natur und Eigenschaften des Lichts, seine Wechselwirkung mit Materie

27.1	Licht und elektromagnetisches Spektrum	639
27.2	Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit	640
27.3	Abgrenzung der geometrischen Optik, Laserstrahlen	643
27.4	Lichtausbreitung, Fermatsches Prinzip, Reflexion und Brechung	647
27.5	Polarisation und Doppelbrechung	653
27.6	Prismenwirkung und Dispersion	661
27.7	Atomistische Deutung von Dispersion und Absorption	666
27.8	Absorptions- und Emissionsspektren von Atomen und Molekülen	671
27.9	Lichtstreuung	674

### 28. Optische Abbildung

28.1	Linsengesetz und Gaußsche Abbildung	685
28.2	Linsensysteme und optische Instrumente	696
28.3	Linsenfehler	699
28.4	Ionenoptik	702

### 29. Interferenz und Beugung von Licht

29.1	Interferenz und Beugung bei natürlichen Lichtquellen	706
29.2	Interferenz von Spiegelbildern	712
29.3	Fabry-Pérot-Interferometer	717
29.4	Michelson-Interferometer	723
29.5	Michelson-Versuch zur Lichtgeschwindigkeit und Dopplereffekt	727
29.6	Beugungsbild des Einzelspalts	731
29.7	Optisches Beugungsgitter	733
29.8	Mehrdimensionale Beugungsgitter, Röntgenbeugung	738
29.9	Beugung an sphärischen Blenden und Hindernissen, Fresnelsche Zonen	743
29.10	Holographie und Bildgebung durch Fouriertransformation	748
29.11	Auflösungsvermögen eines Mikroskops	752

### 30. Strahlungsgesetze

30.1	Strahlungsleistung und Strahlungsempfang	755
30.2	Kirchhoffsches Strahlungsgesetz, schwarze Körper	758
30.3	Hohlraumstrahlung	764
30.4	Plancksches Strahlungsgesetz und seine Konsequenzen	767

Sachverzeichnis	775
-----------------	-----