

# Inhaltsverzeichnis

## 1

### Messung und Maßeinheiten

1.1	Grundsätzliches zu Messungen . . . . .	1
1.2	Zeit . . . . .	6
1.3	Masse . . . . .	8
1.4	Zusammenfassung . . . . .	9
1.5	Aufgaben . . . . .	10

## 2

### Geradlinige Bewegung

2.1	Ort, Verschiebung und mittlere Geschwindigkeit . . . . .	13
2.2	Momentangeschwindigkeit . . . . .	19
2.3	Beschleunigung . . . . .	21
2.4	Konstante Beschleunigung . . . . .	24
2.5	Der freie Fall . . . . .	30
2.6	Zusammenfassung . . . . .	33
2.7	Fragen . . . . .	34
2.8	Aufgaben . . . . .	35

## 3

### Vektoren

3.1	Vektoren und ihre Eigenschaften . . . . .	41
3.2	Einheitsvektoren und Vektoraddition . . . . .	48
3.3	Die Multiplikation von Vektoren . . . . .	53
3.4	Felder . . . . .	58
3.5	Partielle Ableitungen . . . . .	60
3.6	Vektorableitungen . . . . .	62
3.7	Komplexe Zahlen und Funktionen . . . . .	65
3.8	Zusammenfassung . . . . .	68
3.9	Fragen . . . . .	69
3.10	Aufgaben . . . . .	71

## 4

### Bewegung in zwei und drei Dimensionen

4.1	Ort und Verschiebung . . . . .	77
4.2	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit . . . . .	80
4.3	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung . . . . .	82
4.4	Wurfbewegungen . . . . .	85

4.5	Die gleichförmige Kreisbewegung . . . . .	92
4.6	Relativbewegung in einer Dimension . . . . .	95
4.7	Relativbewegung in zwei Dimensionen . . . . .	98
4.8	Zusammenfassung . . . . .	100
4.9	Fragen . . . . .	101
4.10	Aufgaben . . . . .	104

## 5

### Kraft und Bewegung – I

5.1	Das erste und das zweite Newtonsche Gesetz . . . . .	111
5.2	Einige besondere Kräfte . . . . .	121
5.3	Die Newtonschen Gesetze in der Praxis . . . . .	126
5.4	Zusammenfassung . . . . .	136
5.5	Fragen . . . . .	137
5.6	Aufgaben . . . . .	139

## 6

### Kraft und Bewegung – II

6.1	Reibung . . . . .	145
6.2	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit . . . . .	151
6.3	Gleichförmige Kreisbewegung . . . . .	155
6.4	Scheinkräfte . . . . .	161
6.5	Zusammenfassung . . . . .	165
6.6	Fragen . . . . .	166
6.7	Aufgaben . . . . .	168

## 7

### Kinetische Energie und Arbeit

7.1	Energie . . . . .	175
7.2	Arbeit und kinetische Energie . . . . .	178
7.3	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit . . . . .	183
7.4	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit . . . . .	188
7.5	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit . . . . .	192
7.6	Leistung . . . . .	197
7.7	Zusammenfassung . . . . .	200
7.8	Fragen . . . . .	201
7.9	Aufgaben . . . . .	204

## 8

### Potenzielle Energie und Energieerhaltung

8.1	Potenzielle Energie .....	211
8.2	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik ..	219
8.3	Grafische Darstellung der potenziellen Energie .....	223
8.4	Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit .....	228
8.5	Energieerhaltung .....	232
8.6	Zusammenfassung .....	238
8.7	Fragen .....	239
8.8	Aufgaben .....	241

## 9

### Systeme von Teilchen

9.1	Der Schwerpunkt .....	251
9.2	Das zweite Newtonsche Gesetz für ein Teilchensystem .....	256
9.3	Der Impuls .....	261
9.4	Stoßprozesse: Der Kraftstoß .....	263
9.5	Die Impulserhaltung .....	267
9.6	Inelastische eindimensionale Stöße .....	272
9.7	Elastische eindimensionale Stöße .....	275
9.8	Zweidimensionale Stöße .....	279
9.9	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete .....	280
9.10	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie .....	283
9.11	Zusammenfassung .....	286
9.12	Fragen .....	288
9.13	Aufgaben .....	290

## 10

### Die Rotation ausgedehnter Körper

10.1	Die Variablen der Rotation .....	301
10.2	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung .....	310
10.3	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation .....	313
10.4	Die kinetische Energie der Rotation .....	318
10.5	Die Berechnung des Trägheitsmoments ...	319
10.6	Das Drehmoment .....	324
10.7	Das zweite Newtonsche Gesetz für die Rotation .....	326
10.8	Arbeit und kinetische Energie der Rotation .....	330
10.9	Zusammenfassung .....	335
10.10	Fragen .....	337
10.11	Aufgaben .....	339

## 11

### Rollbewegung, Drehmoment und Drehimpuls

11.1	Die Rollbewegung .....	347
11.2	Kräfte und die kinetische Energie der Rollbewegung .....	349

11.3	Das Jo-Jo .....	354
11.4	Eine erweiterte Definition des Drehmoments .....	355
11.5	Der Drehimpuls .....	357
11.6	Das zweite Newtonsche Gesetz in Winkelschreibweise .....	360
11.7	Der Drehimpuls eines starren Körpers ...	363
11.8	Die Erhaltung des Drehimpulses .....	366
11.9	Die Präzession eines Kreisels .....	374
11.10	Zusammenfassung .....	376
11.11	Fragen .....	377
11.12	Aufgaben .....	379

## 12

### Gleichgewicht und Elastizität

12.1	Gleichgewicht .....	387
12.2	Beispiele für statische Gleichgewichte ...	392
12.3	Elastizität .....	400
12.4	Zusammenfassung .....	407
12.5	Fragen .....	407
12.6	Aufgaben .....	409

## 13

### Gravitation

13.1	Das Newtonsche Gravitationsgesetz .....	419
13.2	Gravitation und das Superpositionsprinzip .....	422
13.3	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche .....	425
13.4	Die Gravitation innerhalb der Erde .....	428
13.5	Die potenzielle Energie der Gravitation ...	430
13.6	Planeten und Satelliten: Die Keplerschen Gesetze .....	436
13.7	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie ...	439
13.8	Einstein und die Gravitation .....	443
13.9	Zusammenfassung .....	445
13.10	Fragen .....	446
13.11	Aufgaben .....	448

## 14

### Fluide

14.1	Fluide, Dichte und Druck .....	455
14.2	Ruhende Fluide .....	459
14.3	Druckmessung .....	462
14.4	Das Pascalsche Prinzip .....	464
14.5	Das archimedische Prinzip .....	465
14.6	Die Kontinuitätsgleichung .....	470
14.7	Die Bernoulli-Gleichung .....	475
14.8	Zusammenfassung .....	479
14.9	Fragen .....	480
14.10	Aufgaben .....	481

## 15

### Schwingungen

15.1	Harmonische Schwingungen .....	489
------	--------------------------------	-----

15.2	Die Energie einer harmonischen Schwingung	498
15.3	Das Torsionspendel	500
15.4	Pendel und Kreisbewegungen	502
15.5	Gedämpfte harmonische Schwingungen	509
15.6	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	514
15.7	Das Foucaultsche Pendel	518
15.8	Zusammenfassung	521
15.9	Fragen	522
15.10	Aufgaben	525

## 16

### Wellen – I

16.1	Transversalwellen	531
16.2	Die Wellengeschwindigkeit eines gespannten Seils	542
16.3	Energie und Leistung einer sich ausbreitenden Seilwelle	544
16.4	Die Wellengleichung	547
16.5	Die Interferenz von Wellen	549
16.6	Darstellung von Wellen durch Zeiger	554
16.7	Stehende Wellen und Resonanz	556
16.8	Zusammenfassung	563
16.9	Fragen	564
16.10	Aufgaben	566

## 17

### Wellen – II

17.1	Die Schallgeschwindigkeit	573
17.2	Die Ausbreitung von Schallwellen	577
17.3	Interferenz	580
17.4	Schallintensität und Schallpegel	583
17.5	Musikalische Töne	587
17.6	Schwebungen	592
17.7	Der Doppler-Effekt	594
17.8	Überschallgeschwindigkeit und Stoßwellen	600
17.9	Zusammenfassung	601
17.10	Fragen	602
17.11	Aufgaben	604

## 18

### Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

18.1	Temperatur	611
18.2	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skala	615
18.3	Wärmeausdehnung	618
18.4	Die Absorption von Wärme	621
18.5	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	628
18.6	Mechanismen der Wärmeübertragung	635
18.7	Zusammenfassung	641
18.8	Fragen	642
18.9	Aufgaben	644

## 19

### Die kinetische Gastheorie

19.1	Ein neuer Blick auf Gase	651
19.2	Ideale Gase	653
19.3	Druck, Temperatur und gemittelte Geschwindigkeiten	657
19.4	Kinetische Translationsenergie	661
19.5	Die mittlere freie Weglänge	662
19.6	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten	664
19.7	Die molare Wärmekapazität idealer Gase	669
19.8	Freiheitsgrade und molare Wärmekapazität	674
19.9	Die adiabatische Expansion eines idealen Gases	678
19.10	Reale Gase	683
19.11	Zusammenfassung	686
19.12	Fragen	688
19.13	Aufgaben	690

## 20

### Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

20.1	Entropie	695
20.2	Entropie in Aktion: Thermodynamische Maschinen	703
20.3	Kältemaschinen und reale Maschinen	709
20.4	Eine statistische Interpretation der Entropie	713
20.5	Zusammenfassung	718
20.6	Fragen	719
20.7	Aufgaben	720

## 21

### Elektrische Ladung

21.1	Elektromagnetismus	727
21.2	Die elektrische Ladung ist quantisiert	740
21.3	Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße	742
21.4	Zusammenfassung	743
21.5	Fragen	744
21.6	Aufgaben	746

## 22

### Elektrische Felder

22.1	Das elektrische Feld	751
22.2	Das elektrische Feld einer Punktladung	754
22.3	Das elektrische Feld eines Dipols	757
22.4	Elektrisches Feld einer linearen Ladungsverteilung	760
22.5	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe	766
22.6	Punktladung im elektrischen Feld	768
22.7	Ein Dipol in einem elektrischen Feld	770

22.8 Zusammenfassung . . . . . 774  
 22.9 Fragen . . . . . 775  
 22.10 Aufgaben . . . . . 777

**23**

**Der Gaußsche Satz**

23.1 Das Coulombsche Gesetz in neuem Licht . . . . . 783  
 23.2 Der Gaußsche Satz . . . . . 789  
 23.3 Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters . . . . . 795  
 23.4 Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Zylindersymmetrie . . . . . 799  
 23.5 Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Ebene Symmetrie . . . . . 801  
 23.6 Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Kugelsymmetrie . . . . . 804  
 23.7 Zusammenfassung . . . . . 807  
 23.8 Fragen . . . . . 807  
 23.9 Aufgaben . . . . . 809

**24**

**Das elektrische Potenzial**

24.1 Das elektrische Potenzial . . . . . 817  
 24.2 Äquipotenzialflächen . . . . . 823  
 24.3 Das Potenzial von Punktladungen . . . . . 827  
 24.4 Das Potenzial eines elektrischen Dipols . . . . . 830  
 24.5 Das Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung . . . . . 832  
 24.6 Die Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial . . . . . 835  
 24.7 Die elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen . . . . . 837  
 24.8 Das Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers . . . . . 841  
 24.9 Zusammenfassung . . . . . 843  
 24.10 Fragen . . . . . 844  
 24.11 Aufgaben . . . . . 845

**25**

**Kapazität**

25.1 Kondensatoren und ihre Anwendungen . . . . . 851  
 25.2 Die Berechnung der Kapazität . . . . . 854  
 25.3 Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren . . . . . 859  
 25.4 In einem elektrischen Feld gespeicherte Energie . . . . . 865  
 25.5 Kondensator mit Dielektrikum . . . . . 869  
 25.6 Dielektrika und Gaußscher Satz . . . . . 873  
 25.7 Zusammenfassung . . . . . 877  
 25.8 Fragen . . . . . 878  
 25.9 Aufgaben . . . . . 879

**26**

**Elektrischer Strom und Widerstand**

26.1 Ladung in Bewegung: Elektrischer Strom . . . . . 885

26.2 Die Stromdichte . . . . . 889  
 26.3 Widerstand und spezifischer Widerstand . . . . . 893  
 26.4 Das Ohmsche Gesetz . . . . . 898  
 26.5 Elektrische Leistung in Stromkreisen . . . . . 902  
 26.6 Zusammenfassung . . . . . 908  
 26.7 Fragen . . . . . 909  
 26.8 Aufgaben . . . . . 911

**27**

**Stromkreise**

27.1 Unverzweigte Stromkreise . . . . . 917  
 27.2 Verzweigte Stromkreise . . . . . 928  
 27.3 Amperemeter und Voltmeter . . . . . 937  
 27.4 RC-Kreise . . . . . 938  
 27.5 Zusammenfassung . . . . . 944  
 27.6 Fragen . . . . . 944  
 27.7 Aufgaben . . . . . 946

**28**

**Magnetfelder**

28.1 Magnetfelder und die Definition von  $\vec{B}$  . . . . . 953  
 28.2 Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons . . . . . 959  
 28.3 Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt . . . . . 961  
 28.4 Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn . . . . . 965  
 28.5 Zyklotron und Synchrotron . . . . . 970  
 28.6 Die magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht . . . . . 973  
 28.7 Das Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife . . . . . 975  
 28.8 Das magnetische Dipolmoment . . . . . 978  
 28.9 Zusammenfassung . . . . . 980  
 28.10 Fragen . . . . . 981  
 28.11 Aufgaben . . . . . 983

**29**

**Magnetfelder aufgrund von Strömen**

29.1 Das Magnetfeld um einen Strom . . . . . 989  
 29.2 Die Kraft zwischen parallelen Strömen . . . . . 997  
 29.3 Das Ampèresche Gesetz . . . . . 999  
 29.4 Zylinder- und Ringspulen . . . . . 1003  
 29.5 Eine stromführende Spule als magnetischer Dipol . . . . . 1006  
 29.6 Zusammenfassung . . . . . 1009  
 29.7 Fragen . . . . . 1009  
 29.8 Aufgaben . . . . . 1011

**30**

**Induktion und Induktivität**

30.1 Das Faradaysche Gesetz und die Lenzsche Regel . . . . . 1017  
 30.2 Induktion und Energietransfer . . . . . 1026  
 30.3 Induzierte elektrische Felder . . . . . 1029  
 30.4 Induktivität . . . . . 1034



38.7	Die Heisenbergsche Unschärferelation . . . .	1357
38.8	Reflexion an einer Potenzienschwelle . . . . .	1359
38.9	Der Tunneleffekt . . . . .	1361
38.10	Zusammenfassung . . . . .	1365
38.11	Fragen . . . . .	1366
38.12	Aufgaben . . . . .	1367

## 39

### Mehr über Materiewellen

39.1	Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfaller . . . . .	1373
39.2	Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial . . . . .	1380
39.3	Das eindimensionale endliche Kastenpotenzial . . . . .	1385
39.4	Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen . . . . .	1388
39.5	Das Wasserstoffatom . . . . .	1393
39.6	Zusammenfassung . . . . .	1406
39.7	Fragen . . . . .	1408
39.8	Aufgaben . . . . .	1409

## 40

### Atome

40.1	Eigenschaften von Atomen . . . . .	1415
40.2	Das Stern-Gerlach-Experiment . . . . .	1422
40.3	Kernspinresonanz . . . . .	1426
40.4	Das Pauli-Prinzip . . . . .	1428
40.5	Der Aufbau des Periodensystems . . . . .	1432
40.6	Röntgenstrahlung . . . . .	1435
40.7	Laser . . . . .	1440
40.8	Zusammenfassung . . . . .	1445
40.9	Fragen . . . . .	1447
40.10	Aufgaben . . . . .	1447

## 41

### Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

41.1	Die elektrischen Eigenschaften von Metallen . . . . .	1453
41.2	Halbleiter und Dotierung . . . . .	1466
41.3	pn-Übergänge und Transistoren . . . . .	1472
41.4	Zusammenfassung . . . . .	1480
41.5	Fragen . . . . .	1481
41.6	Aufgaben . . . . .	1482

## 42

### Kernphysik

42.1	Die Entdeckung des Atomkerns . . . . .	1487
------	--	------

42.2	Einige Eigenschaften von Atomkernen . . . . .	1489
42.3	Der radioaktive Zerfall . . . . .	1497
42.4	Der Alpha-Zerfall . . . . .	1501
42.5	Der Beta-Zerfall . . . . .	1504
42.6	Radiometrische Altersbestimmung . . . . .	1508
42.7	Maße für Strahlungsdosen . . . . .	1509
42.8	Kernmodelle . . . . .	1511
42.9	Zusammenfassung . . . . .	1514
42.10	Fragen . . . . .	1515
42.11	Aufgaben . . . . .	1516

## 43

### Kernenergie

43.1	Kernspaltung . . . . .	1525
43.2	Kernreaktoren . . . . .	1531
43.3	Ein natürlicher Kernreaktor . . . . .	1536
43.4	Thermonukleare Fusion: Der grundlegende Prozess . . . . .	1538
43.5	Thermonukleare Fusion in der Sonne und anderen Sternen . . . . .	1541
43.6	Kontrollierte thermonukleare Fusion . . . . .	1544
43.7	Zusammenfassung . . . . .	1547
43.8	Fragen . . . . .	1548
43.9	Aufgaben . . . . .	1549

## 44

### Quarks, Leptonen und der Urknall

44.1	Grundzüge der Teilchenphysik . . . . .	1555
44.2	Leptonen, Hadronen und Strangeness . . . . .	1564
44.3	Quarks und Austauschteilchen . . . . .	1570
44.4	Kosmologie . . . . .	1577
44.5	Zusammenfassung . . . . .	1585
44.6	Fragen . . . . .	1585
44.7	Aufgaben . . . . .	1586

## Anhang

A	Das Internationale Einheitensystem (SI) . . . . .	1594
B	Astronomische Daten . . . . .	1596
C	Umrechnungsfaktoren . . . . .	1597
D	Mathematische Formeln . . . . .	1599
E	Eigenschaften der Elemente . . . . .	1603
F	Antworten auf die Kontrollfragen und Fragen . . . . .	1606
G	Stichwortverzeichnis . . . . .	1614