

1 Einführung, Messungen, Abschätzungen

1.1	Das Wesen der Wissenschaft	2
1.2	Modelle, Theorien und Gesetze	3
1.3	Messungen und Messfehler; signifikante Stellen	4
1.4	Einheiten, Standards und das Internationale Einheitensystem	7
1.5	Größenordnung: Schnelle Abschätzung	9
1.6	Einheiten und Einheitentest	11
	Zusammenfassung	13
	Verständnisfragen	13

2 Beschreibung von Bewegungen – Kinematik in einer Raumrichtung

2.1	Bezugssystem und Weg	16
2.2	Mittlere oder Durchschnittsgeschwindigkeit	18
2.3	Momentangeschwindigkeit	19
2.4	Beschleunigung	21
2.5	Bewegung bei konstanter Beschleunigung	24
2.6	Problemlösungen	26
2.7	Der freie Fall	27
	Zusammenfassung	33
	Verständnisfragen	33

3 Kinematik in zwei Raumrichtungen; Vektoren

3.1	Vektoren und Skalare	36
3.2	Vektoraddition – Grafische Methoden	36
3.3	Wurfbewegung	39
3.4	Lösung von Aufgaben mit Wurfbewegungen	41
3.5	Gleichförmige Kreisbewegung	45
3.6	Relativgeschwindigkeit	47
	Zusammenfassung	51
	Verständnisfragen	51

4 Dynamik: Die Newton'schen Axiome

4.1	Kraft	54
4.2	Das erste Newton'sche Axiom	55
4.3	Masse	56
4.4	Das zweite Newton'sche Axiom	57
4.5	Das dritte Newton'sche Axiom	60
4.6	Gewicht – Die Gravitationskraft	62
4.7	Das Lösen von Aufgaben mit den Newton'schen Axiomen: Kräfteparallelogramme	64
4.8	Problemlösung – Allgemeine Herangehensweise	64
4.9	Anwendungen der Newton'schen Axiome – Reibung	65
4.10	Dynamik der gleichförmigen Kreisbewegung	71
4.11	Erhöhte und nicht erhöhte Straßenkurven	75
	Zusammenfassung	79
	Verständnisfragen	80

5 Gravitation und das Newton'sche Gravitationsgesetz

5.1	Das Newton'sche Gravitationsgesetz	86
5.2	Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche – Geophysikalische Anwendungen	89
5.3	Satelliten und „Schwerelosigkeit“	90
5.4	Die Kepler'schen Gesetze und das Newton'sche Gravitationsgesetz	93
5.5	Fundamentale Wechselwirkungen	98
5.6	Schwere Masse – Träge Masse – Äquivalenzprinzip	98
	Zusammenfassung	101
	Verständnisfragen	101

6 Arbeit und Energie, Energieerhaltung

6.1	Durch eine konstante Kraft verrichtete Arbeit	104
-----	--	-----

6.2	Arbeit und kinetische Energie	109
6.3	Potentielle Energie	114
6.4	Mechanische Energie und ihre Erhaltung	117
6.5	Anwendungen des Energieerhaltungssatzes der Mechanik	119
6.6	Der Energieerhaltungssatz	123
6.7	Leistung	125
	Zusammenfassung	130
	Verständnisfragen	130

7 Impuls und Stöße

7.1	Impuls und seine Beziehung zur Kraft	134
7.2	Impulserhaltung	135
7.3	Stöße und Kraftstoß	138
7.4	Energie- und Impulserhaltung bei Stößen	141
7.5	Elastische Stöße in einer Raumrichtung	142
7.6	Inelastische Stöße	146
7.7	Massenmittelpunkt	148
	Zusammenfassung	151
	Verständnisfragen	151

8 Drehbewegung um eine feste Achse

8.1	Winkelgrößen	154
8.2	Bewegungsgleichungen für gleichförmig beschleunigte Drehbewegungen	158
8.3	Rollbewegung (ohne Gleiten)	159
8.4	Vektorielle Beschaffenheit von Winkelgrößen	161
8.5	Drehmoment	162
8.6	Drehdynamik; Drehmoment und Trägheitsmoment	164
8.7	Drehimpuls und Drehimpulserhaltung	166
8.8	Kinetische Energie der Drehbewegung	168
8.9	Rotierende Bezugssysteme; Trägheitskräfte	170
8.10	Die Coriolis-Kraft	171
	Zusammenfassung	175
	Verständnisfragen	175

9 Schwingungen

9.1	Schwingungen einer Feder	180
9.2	Harmonische Schwingung	182
9.3	Energie in einem harmonischen Oszillator	187
9.4	Zusammenhang zwischen harmonischer Schwingung und gleichförmiger Kreisbewegung	190
9.5	Das Fadenpendel	191
9.6	Gedämpfte harmonische Schwingung	192
9.7	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	196
	Zusammenfassung	200

Verständnisfragen	200
-----------------------------	-----

10 Wellen und Wellenausbreitung

10.1	Eigenschaften von Wellen	205
10.2	Wellenarten	207
10.3	Energietransport in Wellen	208
10.4	Mathematische Beschreibung der Wellenausbreitung	210
10.5	Das Superpositionsprinzip	212
10.6	Reflexion und Transmission	213
10.7	Interferenz	215
10.8	Stehende Wellen; Resonanz	220
10.9	Klangqualität und Geräusche	228
10.10	Brechung	229
10.11	Beugung	230
10.12	Doppler-Effekt	231
10.13	Anwendungen: Sonar, Ultraschall und Ultraschall-Abbildung	235
	Zusammenfassung	239
	Verständnisfragen	240

11 Temperatur, Wärmeausdehnung und ideales Gasgesetz

11.1	Die Atomtheorie der Materie	244
11.2	Thermisches Gleichgewicht und der nullte Hauptsatz der Wärmelehre	246
11.3	Die Gasgesetze und die absolute Temperatur	247
11.4	Das ideale Gasgesetz	250
11.5	Problemlösung mit dem idealen Gasgesetz	251
11.6	Ideales Gasgesetz und Avogadro-Konstante	252
	Zusammenfassung	255
	Verständnisfragen	255

12 Kinetische Gastheorie und der erste Hauptsatz

12.1	Das ideale Gasgesetz und die molekulare Interpretation der Temperatur	258
12.2	Molekulare Geschwindigkeitsverteilung	262
12.3	Mittlere freie Weglänge	263
12.4	Wärme und innere Energie	266
12.5	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	269
12.6	Anwendungen des ersten Hauptsatzes; Arbeitsberechnung	270
12.7	Wärmekapazität für Gase und die Gleichverteilung der Energie	275
12.8	Adiabatische Expansion eines Gases	278
	Zusammenfassung	281
	Verständnisfragen	282

13 Der zweite Hauptsatz

13.1	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik – Einführung	286
13.2	Wärmekraftmaschinen	287
13.3	Reversible und irreversible Prozesse; der Carnot-Prozess	290
13.4	Kältemaschinen, Klimaanlage und Wärmepumpen	295
13.5	Entropie	297
13.6	Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	298
13.7	Aus Ordnung wird Unordnung	302
13.8	Energieverfügbarkeit; Wärmetod	303
13.9	Statistische Interpretation der Entropie und des zweiten Hauptsatzes	304
13.10	Thermodynamische Temperaturskala; absoluter Nullpunkt und der dritte Hauptsatz der Thermodynamik	306
	Zusammenfassung	311
	Verständnisfragen	311

14 Elektrische Ladung und elektrisches Feld

14.1	Statische Elektrizität; elektrische Ladung und ihre Erhaltung	314
14.2	Elektrische Ladung im Atom	315
14.3	Isolatoren und metallische Leiter	316
14.4	Influenz; das Elektrometer	317
14.5	Das Coulomb'sche Gesetz	318
14.6	Das elektrische Feld	322
14.7	Feldlinien	324
14.8	Elektrische Felder und metallische Leiter	326
14.9	Bewegung einer Punktladung in einem elektrischen Feld	327
14.10	Das Gauß'sche Gesetz	329
14.11	Das elektrische Potential	334
14.12	Beziehung zwischen elektrischem Potential und elektrischem Feld	339
14.13	Das elektrische Potential einer Punktladung	341
14.14	Äquipotentialflächen	342
14.15	Die elektrostatische potentielle Energie und das Elektronenvolt	344
14.16	Die Kathodenstrahlröhre: Oszilloskop	345
14.17	Elektrische Dipole	348
	Zusammenfassung	351
	Verständnisfragen	352

15 Kapazität, Dielektrika und elektrische Energiespeicher

15.1	Kondensatoren	356
------	-------------------------	-----

15.2	Bestimmung der Kapazität	357
15.3	Kondensatoren in Reihen- und Parallelschaltungen	359
15.4	Speicherung elektrischer Energie	362
15.5	Dielektrika	363
15.6	Molekulare Beschreibung von Dielektrika	366
15.7	Schaltkreise mit Widerstand und Kondensator (RC-Schaltkreise)	370
	Zusammenfassung	377
	Verständnisfragen	377

16 Magnetismus

16.1	Magnete und Magnetfelder	380
16.2	Elektrische Ströme erzeugen Magnetfelder	383
16.3	Die Kraft auf einen elektrischen Strom im Magnetfeld; Definition von B	384
16.4	Die Kraft auf eine bewegte elektrische Ladung in einem Magnetfeld: die Lorentz-Kraft	387
16.5	Das auf eine Leiterschleife wirkende Drehmoment	391
16.6	Anwendungen: Elektromotoren und Lautsprecher	393
16.7	Das Elektron: Entdeckung und Eigenschaften	394
16.8	Der Hall-Effekt	397
16.9	Massenspektrometer	398
	Zusammenfassung	401
	Verständnisfragen	401

17 Erzeugung von Magnetfeldern

17.1	Das Magnetfeld eines geraden Leiters	404
17.2	Die Kraft zwischen zwei parallelen Drähten	405
17.3	Das Ampère'sche Gesetz	407
17.4	Das Magnetfeld einer Spule und eines Toroids	409
17.5	Magnetische Materialien – Ferromagnetismus	411
17.6	Elektromagnete und Spulen	413
17.7	Magnetfelder in magnetischen Materialien; Hysterese	414
17.8	Paramagnetismus und Diamagnetismus	416
	Zusammenfassung	419
	Verständnisfragen	419

18 Elektromagnetische Induktion und das Faraday'sche Gesetz

18.1	Die Induktionsspannung	422
18.2	Das Faraday'sche Induktionsgesetz und die Lenz'sche Regel	423

18.3	Induktion einer Spannung in einem bewegten Leiter	428	21.6	Radio und Fernsehen	493
18.4	Elektrische Generatoren	430	Zusammenfassung	497	
18.5	Gegenspannung und Gegendrehmoment; Wirbelströme	432	Verständnisfragen	497	
18.6	Transformatoren und Stromübertragung	435			
18.7	Ein sich ändernder magnetischer Fluss erzeugt ein elektrisches Feld	439			
18.8	Anwendungen des Induktionsgesetzes: Tonsysteme, Datenspeicher und Seismografen	441			
Zusammenfassung	445				
Verständnisfragen	445				

19 Induktivität und elektromagnetische Schwingungen

19.1	Gegeninduktivität	448
19.2	Selbstinduktivität	450
19.3	Energiespeicherung im Magnetfeld	452
19.4	Ein- und Ausschaltvorgang einer Spule	453
19.5	Elektrischer Schwingkreis	455
19.6	Gedämpfter elektrischer Schwingkreis	458
19.7	Ungedämpfte Schwingung, Rückkopplung	459
Zusammenfassung	462	
Verständnisfragen	462	

20 Wechselstromkreise

20.1	Einleitung: Wechselstromkreise	466
20.2	Widerstand im Wechselstromkreis	466
20.3	Induktionsspule im Wechselstromkreis	467
20.4	Kondensator im Wechselstromkreis	469
20.5	LRC-Wechselstromkreise in Reihenschaltung	472
20.6	Resonanz im Wechselstromkreis	475
20.7	Drehstrom	476
Zusammenfassung	481	
Verständnisfragen	481	

21 Die Maxwell'schen Gleichungen und elektromagnetische Wellen

21.1	Ein sich änderndes elektrisches Feld erzeugt ein Magnetfeld – eine allgemeine Form für das Ampère'sche Gesetz	484
21.2	Das Gauß'sche Gesetz für den Magnetismus	486
21.3	Die Maxwell'schen Gleichungen	487
21.4	Erzeugung elektromagnetischer Wellen	488
21.5	Licht als elektromagnetische Welle und das elektromagnetische Spektrum	491

22 Die Wellennatur des Lichts; Interferenz

22.1	Lichtgeschwindigkeit und Brechungsindex	500
22.2	Huygens-Prinzip und Beugung	502
22.3	Sichtbares Spektrum und Dispersion	503
22.4	Huygens-Prinzip und Brechungsgesetz	504
22.5	Interferenz – Das Young'sche Doppelspaltexperiment	506
22.6	Kohärenz	510
22.7	Die Intensität im Interferenzmuster des Doppelspalts	511
22.8	Interferenz in dünnen Schichten	514
22.9	Das Michelson-Interferometer	519
Zusammenfassung	523	
Verständnisfragen	524	

23 Beugung und Polarisation

23.1	Beugung am Einfachspalt	527
23.2	Intensität im Beugungsmuster des Einfachspalts	529
23.3	Beugung am Doppelspalt	532
23.4	Beschränkung der Auflösung; kreisförmige Öffnungen	534
23.5	Auflösung von Teleskopen und Mikroskopen	536
23.6	Auflösungsvermögen des menschlichen Auges und sinnvolle Vergrößerung	538
23.7	Beugungsgitter	539
23.8	Spektrometer und Spektroskopie	541
23.9	Linienbreite und Auflösungsvermögen eines Beugungsgitters	542
23.10	Röntgenstrahlen und Röntgenbeugung	545
23.11	Polarisation	547
23.12	Die Streuung des Lichts an der Atmosphäre	551
Zusammenfassung	555	
Verständnisfragen	556	

24 Spezielle Relativitätstheorie

24.1	Galilei-Newton'sches Relativitätsprinzip	558
24.2	Das Michelson-Morley-Experiment	562
24.3	Die Postulate der speziellen Relativitätstheorie	565
24.4	Gleichzeitigkeit	566
24.5	Zeitdilatation und das Zwillingsparadoxon	569
24.6	Längenkontraktion	573
24.7	Die vierdimensionale Raumzeit	576

24.8	Relativistischer Impuls und relativistische Masse	577
24.9	Grenzgeschwindigkeit	580
24.10	Energie und Masse; $E = mc^2$	580
24.11	Doppler-Verschiebung des Lichts	585
24.12	Die Auswirkungen der speziellen Relativitätstheorie	586
	Zusammenfassung	589
	Verständnisfragen	589


25	Frühe Quantentheorie und Atommodelle	
25.1	Die Planck'sche Quantenhypothese	592
25.2	Photonentheorie des Lichts und der fotoelektrische Effekt	594
25.3	Photonen und der Compton-Effekt	599
25.4	Photonenwechselwirkungen; Paarerzeugung	602
25.5	Welle-Teilchen-Dualismus; das Komplementaritätsprinzip	603
25.6	Die Wellennatur der Materie	604
25.7	Elektronenmikroskope	607
25.8	Frühe Atommodelle	608
25.9	Atomspektren: Schlüssel zur Struktur des Atoms	609
25.10	Das Bohr'sche Atommodell	611
25.11	Die Anwendung der De-Broglie'schen Hypothese auf Atome	619
	Zusammenfassung	623
	Verständnisfragen	624

26	Quantenmechanik	
26.1	Die Quantenmechanik: Eine neue Theorie	628
26.2	Die Wellenfunktion und ihre Interpretation; das Doppelspalt-experiment	629
26.3	Die Heisenberg'sche Unschärferelation	632
26.4	Philosophische Konsequenzen; Wahrscheinlichkeit und Determinismus	636
26.5	Die Schrödinger-Gleichung in einer Dimension	638
26.6	Freie Teilchen; Ebene Wellen und Wellenpakete	640
26.7	Teilchen in einem unendlich tiefen Potentialtopf	642
26.8	Endlicher Potentialtopf	646
26.9	Tunneln durch eine Potentialbarriere	648
	Zusammenfassung	654
	Verständnisfragen	655

27	Quantenmechanik von Atomen	
27.1	Quantenmechanische Sicht auf Atome	658
27.2	Das Wasserstoffatom: Schrödinger-Gleichung und Quantenzahlen	659
27.3	Die Wellenfunktionen des Wasserstoffatoms	663
27.4	Komplexe Atome, das Pauli-Prinzip	666
27.5	Das Periodensystem der Elemente	668
27.6	Röntgenspektren und Ordnungszahl	670
27.7	Fluoreszenz und Phosphoreszenz	672
27.8	Laser	673
	Zusammenfassung	679
	Verständnisfragen	680

28	Kernphysik und Radioaktivität	
28.1	Struktur und Eigenschaften des Atomkerns	682
28.2	Bindungsenergie und Kernkräfte	685
28.3	Radioaktivität	687
28.4	Alphazerfall	688
28.5	Betazerfall	690
28.6	Gammazerfall	692
28.7	Erhaltung der Nukleonenzahl und weitere Erhaltungssätze	693
28.8	Halbwertszeit und Zerfallsrate	693
28.9	Zerfallsreihen	696
28.10	Die Radiokarbonmethode	698
28.11	Strahlungsmessung	699
	Zusammenfassung	702
	Verständnisfragen	702

29	Kernenergie; Auswirkungen und Anwendungsmöglichkeiten der Strahlung	
29.1	Kernreaktionen und Transmutation von Elementen	706
29.2	Kernspaltung; Kernreaktoren	707
29.3	Fusion	713
29.4	Durchgang der Strahlung durch Materie; Strahlungsschäden	718
29.5	Strahlungsmessung – Dosimetrie	719
29.6	Strahlentherapie	722
29.7	Indikatoren	722
29.8	Bildgebung durch Tomografie	723
	Zusammenfassung	728
	Verständnisfragen	728

Anhang		
A	Mathematische Formeln	732
B	Ableitungen und Integrale	732
C	Ausgewählte Isotope	733
D	Physikalische Größen: Verwendete Symbole und ihre Einheiten	736
E	Index	741