

1	Einführung, Messungen, Abschätzungen		4	Dynamik: Die Newton'schen Axiome	
1.1	Das Wesen der Wissenschaft	2	4.1	Kraft	54
1.2	Modelle, Theorien und Gesetze	3	4.2	Das erste Newton'sche Axiom	55
1.3	Messungen und Messfehler; signifikante Stellen	4	4.3	Masse	56
1.4	Einheiten, Standards und das Internationale Einheitensystem . .	7	4.4	Das zweite Newton'sche Axiom	57
1.5	Größenordnung: Schnelle Abschätzung .	9	4.5	Das dritte Newton'sche Axiom	60
1.6	Einheiten und Einheitentest	11	4.6	Gewicht – Die Gravitationskraft	62
Zusammenfassung		13	4.7	Das Lösen von Aufgaben mit den Newton'schen Axiomen: Kräfteparallelogramme	64
Verständnisfragen		13	4.8	Problemlösung – Allgemeine Herangehensweise	64
2	Beschreibung von Bewegungen – Kinematik in einer Raumrichtung		4.9	Anwendungen der Newton'schen Axiome – Reibung	65
2.1	Bezugssystem und Weg	16	4.10	Dynamik der gleichförmigen Kreisbewegung	71
2.2	Mittlere oder Durchschnittsgeschwindigkeit	18	4.11	Erhöhte und nicht erhöhte Straßenkurven	75
2.3	Momentangeschwindigkeit	19	Zusammenfassung	79	
2.4	Beschleunigung	21	Verständnisfragen	80	
2.5	Bewegung bei konstanter Beschleunigung	24	5	Gravitation und das Newton'sche Gravitationsgesetz	
2.6	Problemlösungen	26	5.1	Das Newton'sche Gravitationsgesetz . . .	86
2.7	Der freie Fall	27	5.2	Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche – Geophysikalische Anwendungen	89
Zusammenfassung		33	5.3	Satelliten und „Schwerelosigkeit“	90
Verständnisfragen		33	5.4	Die Kepler'schen Gesetze und das Newton'sche Gravitationsgesetz	93
3	Kinematik in zwei Raumrichtungen; Vektoren		5.5	Fundamentale Wechselwirkungen	98
3.1	Vektoren und Skalare	36	5.6	Schwere Masse – Träge Masse – Äquivalenzprinzip	98
3.2	Vektoraddition – Grafische Methoden .	36	Zusammenfassung	101	
3.3	Wurfbewegung	39	Verständnisfragen	101	
3.4	Lösung von Aufgaben mit Wurfbewegungen	41	6	Arbeit und Energie, Energieerhaltung	
3.5	Gleichförmige Kreisbewegung	45	6.1	Durch eine konstante Kraft verrichtete Arbeit	104
3.6	Relativgeschwindigkeit	47			
Zusammenfassung		51			
Verständnisfragen		51			

6.2	Arbeit und kinetische Energie	109	Verständnisfragen	200	
6.3	Potentielle Energie	114			
6.4	Mechanische Energie und ihre Erhaltung	117	10 Wellen und Wellenausbreitung		
6.5	Anwendungen des Energieerhaltungssatzes der Mechanik	119	10.1 Eigenschaften von Wellen	205	
6.6	Der Energieerhaltungssatz	123	10.2 Wellarten	207	
6.7	Leistung	125	10.3 Energietransport in Wellen	208	
Zusammenfassung		130	10.4 Mathematische Beschreibung der Wellenausbreitung	210	
Verständnisfragen		130	10.5 Das Superpositionsprinzip	212	
7	Impuls und Stöße		10.6 Reflexion und Transmission	213	
7.1	Impuls und seine Beziehung zur Kraft	134	10.7 Interferenz	215	
7.2	Impulserhaltung	135	10.8 Stehende Wellen; Resonanz	220	
7.3	Stöße und Kraftstoß	138	10.9 Klangqualität und Geräusche	228	
7.4	Energie- und Impulserhaltung bei Stößen	141	10.10 Brechung	229	
7.5	Elastische Stöße in einer Raumrichtung	142	10.11 Beugung	230	
7.6	Inelastische Stöße	146	10.12 Doppler-Effekt	231	
7.7	Massenmittelpunkt	148	10.13 Anwendungen: Sonar, Ultraschall und Ultraschall-Abbildung	235	
Zusammenfassung		151	Zusammenfassung	239	
Verständnisfragen		151	Verständnisfragen	240	
8	Drehbewegung um eine feste Achse		11	Temperatur, Wärmeausdehnung und ideales Gasgesetz	
8.1	Winkelgrößen	154	11.1 Die Atomtheorie der Materie	244	
8.2	Bewegungsgleichungen für gleichförmig beschleunigte Drehbewegungen	158	11.2 Thermisches Gleichgewicht und der nullte Hauptsatz der Wärmelehre	246	
8.3	Rollbewegung (ohne Gleiten)	159	11.3 Die Gasgesetze und die absolute Temperatur	247	
8.4	Vektorielle Beschaffenheit von Winkelgrößen	161	11.4 Das ideale Gasgesetz	250	
8.5	Drehmoment	162	11.5 Problemlösung mit dem idealen Gasgesetz	251	
8.6	Drehdynamik; Drehmoment und Trägheitsmoment	164	11.6 Ideales Gasgesetz und Avogadro-Konstante	252	
8.7	Drehimpuls und Drehimpulserhaltung	166	Zusammenfassung	255	
8.8	Kinetische Energie der Drehbewegung	168	Verständnisfragen	255	
8.9	Rotierende Bezugssysteme; Trägheitskräfte	170			
8.10	Die Coriolis-Kraft	171			
Zusammenfassung		175			
Verständnisfragen		175			
9	Schwingungen		12	Kinetische Gastheorie und der erste Hauptsatz	
9.1	Schwingungen einer Feder	180	12.1 Das ideale Gasgesetz und die molekulare Interpretation der Temperatur	258	
9.2	Harmonische Schwingung	182	12.2 Molekulare Geschwindigkeitsverteilung	262	
9.3	Energie in einem harmonischen Oszillator	187	12.3 Mittlere freie Weglänge	263	
9.4	Zusammenhang zwischen harmonischer Schwingung und gleichförmiger Kreisbewegung	190	12.4 Wärme und innere Energie	266	
9.5	Das Fadenpendel	191	12.5 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	269	
9.6	Gedämpfte harmonische Schwingung	192	12.6 Anwendungen des ersten Hauptsatzes; Arbeitsberechnung	270	
9.7	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	196	12.7 Wärmekapazität für Gase und die Gleichverteilung der Energie	275	
Zusammenfassung		200	12.8 Adiabatische Expansion eines Gases	278	
Verständnisfragen			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, Klimaanlagen 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	22	Die Wellennatur des Lichts; Interferenz	
18.8	Anwendungen des Induktionsgesetzes: Tonsysteme, Datenspeicher und Seismografen	441	22.1	Lichtgeschwindigkeit und Brechungsindex	500
Zusammenfassung	445	22.2	Huygens-Prinzip und Beugung	502	
Verständnisfragen	445	22.3	Sichtbares Spektrum und Dispersion	503	
19	Induktivität und elektromagnetische Schwingungen		22.4	Huygens-Prinzip und Brechungsgesetz	504
19.1	Gegeninduktivität	448	22.5	Interferenz – Das Young'sche Doppelspaltexperiment	506
19.2	Selbstinduktivität	450	22.6	Kohärenz	510
19.3	Energiespeicherung im Magnetfeld	452	22.7	Die Intensität im Interferenzmuster des Doppelspalts	511
19.4	Ein- und Ausschaltvorgang einer Spule	453	22.8	Interferenz in dünnen Schichten	514
19.5	Elektrischer Schwingkreis	455	22.9	Das Michelson-Interferometer	519
19.6	Gedämpfter elektrischer Schwingkreis	458	Zusammenfassung	523	
19.7	Ungedämpfte Schwingung, Rückkopplung	459	Verständnisfragen	524	
Zusammenfassung	462				
Verständnisfragen	462				
20	Wechselstromkreise		23	Beugung und Polarisation	
20.1	Einleitung: Wechselstromkreise	466	23.1	Beugung am Einfachspalt	527
20.2	Widerstand im Wechselstromkreis	466	23.2	Intensität im Beugungsmuster des Einfachspalts	529
20.3	Induktionsspule im Wechselstromkreis	467	23.3	Beugung am Doppelspalt	532
20.4	Kondensator im Wechselstromkreis	469	23.4	Beschränkung der Auflösung; kreisförmige Öffnungen	534
20.5	LRC-Wechselstromkreise in Reihenschaltung	472	23.5	Auflösung von Teleskopen und Mikroskopen	536
20.6	Resonanz im Wechselstromkreis	475	23.6	Auflösungsvermögen des menschlichen Auges und sinnvolle Vergrößerung	538
20.7	Drehstrom	476	23.7	Beugungsgitter	539
Zusammenfassung	481	23.8	Spektrometer und Spektroskopie	541	
Verständnisfragen	481	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	481	Zusammenfassung	555		
Verständnisfragen	481	Verständnisfragen	556		
21	Die Maxwell'schen Gleichungen und elektromagnetische Wellen		24	Spezielle Relativitätstheorie	
21.1	Ein sich änderndes elektrisches Feld erzeugt ein Magnetfeld – eine allgemeine Form für das Ampère'sche Gesetz	484	24.1	Galilei-Newton'sches Relativitätsprinzip	558
21.2	Das Gauß'sche Gesetz für den Magnetismus	486	24.2	Das Michelson-Morley-Experiment	562
21.3	Die Maxwell'schen Gleichungen	487	24.3	Die Postulate der speziellen Relativitätstheorie	565
21.4	Erzeugung elektromagnetischer Wellen	488	24.4	Gleichzeitigkeit	566
21.5	Licht als elektromagnetische Welle und das elektromagnetische Spektrum	491	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 Doppelspaltexperiment	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