

westermann



GREHN † | KRAUSE

Metzler Physik

5. Auflage

Gerhard Glas, Joachim Gomoletz, Dr. Andreas Kratzer,
Joachim Krause, Peter Lingemann, Georg Peters,
Dr. Herbert Kurt Schmidt, Claudia Seelmann

Metzler Physik 5. Auflage

herausgegeben von

Joachim Krause und Joachim Grehn †

bearbeitet von

Gerhard Glas, Joachim Gomoletz, Dr. Andreas Kratzer, Joachim Krause, Peter Lingemann,
Georg Peters, Dr. Herbert Kurt Schmidt, Claudia Seelmann

Zum Schülerband erscheinen:
Lösungen, ISBN 978-3-14-100101



Vorbereiten. Organisieren. Durchführen.

BiBox ist das umfassende Digitalpaket zu diesem Lehrwerk mit zahlreichen Materialien und dem digitalen Schulbuch. Für Lehrkräfte und für Schülerinnen und Schüler sind verschiedene Lizenzen verfügbar. Nähere Informationen unter www.bibox.schule

westermann GRUPPE

© 2020 Bildungshaus Schulbuchverlage

Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, Braunschweig
www.westermann.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen bzw. vertraglich zugestanden Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Nähere Informationen zur vertraglich gestatteten Anzahl von Kopien finden Sie auf www.schulbuchkopie.de.

Für Verweise (Links) auf Internet-Adressen gilt folgender Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Inhalte treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Verweis gelöscht wird.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der

Druck A¹ / Jahr 2020

Alle Drucke der Serie A sind im Unterricht parallel verwendbar.

Redaktion: Maik Böhm, Dr. Ulrich Kilian

Grafiken: newVISION! GmbH, Bernhard A. Peter, Pattensen, ww-visuell, Werner Wildermuth, Würzburg

Fotos: Markus Mettin, M-Momente, Offenbach

Layout: Janssen Kahler Design & Kommunikation GmbH, Hannover

Umschlaggestaltung: LIO-Design GmbH, Braunschweig

Repro/Druck/Bindung: Westermann Druck GmbH, Braunschweig

ISBN 978-3-14-100100-6

VORWORT

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

die „Metzler-Physik“ möchte Ihnen in Ihrem Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe ein verlässlicher und hilfreicher Begleiter sein.

In der Sekundarstufe I haben Sie die Physik als eine Wissenschaft kennengelernt, die sich mit einer z.T. verwirrenden Vielfalt natürlicher Gegebenheiten und technischer Anwendungen befasst. Sie haben erfahren, dass die Physik in allen Bereichen von der Mathematik begleitet wird. Das macht einerseits ihre besondere Leistungsfähigkeit aus, lässt aber andererseits die Physik zu einem nicht einfachen Unterrichtsfach werden.

In die Vielzahl der Erscheinungen haben wir in diesem Buch durch die systematische Darstellung der Physik eine hilfreiche Ordnung gebracht, anhand der Sie Ihren Unterricht nacharbeiten können, einen Unterricht, der vielleicht in anderer Reihenfolge vor sich geht und keineswegs vollständig alle in diesem Buch enthaltenen Gebiete umfassen wird. Besonderen Wert haben wir darauf gelegt, bei der Untersuchung der physikalischen Phänomene den Gedankengang, vom Experiment ausgehend, über die Beschreibung mit geeigneten Begriffen und Größen bis hin zur meistens mathematisch formulierten Gesetzmäßigkeit begründend und nachvollziehbar darzustellen.

Wir sind uns bewusst, dass Physik kaum allein durch Lesen und Arbeiten mit einem Buch verstanden werden kann, sondern dass möglichst selbstständiges Experimentieren und Diskutieren über Beobachtung und Erklärung im Unterricht eine wichtige Voraussetzung für ein Verstehen von Physik bilden.

So soll Ihnen dieses Buch einerseits zum Nacharbeiten und Vertiefen des im Unterricht Behandelten und andererseits als Anregung und Vorbereitung auf den Unterricht oder zu seiner Ergänzung dienen.

Ziel ist es, dass Sie durch die Physik unsere komplizierte Welt, die von Naturwissenschaft und Technik geprägt ist, besser verstehen und auch später kompetent Nutzen und Gefahren beurteilen können.

Lassen Sie sich also auf das geistige Abenteuer mit der Physik, dieser höchst interessanten und faszinierenden Wissenschaft, ein.

Wir wünschen Ihnen dabei viel Freude und Gewinn.

Zu diesem Buch

Die 5. Auflage der „Metzler-Physik“ behält die bewährte, an Experimenten orientierte Konzeption ihrer Vorgänger bei. Die systematische Anordnung und klare Strukturierung der Inhalte sowie die Hereinnahme von Methoden und Exkursen, von Wissenstests und Abituraufgaben sind wesentliche Merkmale der Neubearbeitung.

Durch eine stärker herausgearbeitete Differenzierung in zwei unterschiedliche Niveaustufen, kenntlich durch Schriftgröße und grüne Punktung am Rand, stellt die Neubearbeitung für alle Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe ein individuelles Lernangebot mit zusätzlichen Inhalten für einen anspruchsvollen Unterricht bereit. Beide Teile, der in Normalschrift und zusätzlich der markierte in Kleindruck, decken jeweils die Stoffpläne für die Sekundarstufe II sämtlicher Bundesländer ab.

Am Ende eines Kapitels wird das Gelernte abgefragt und an übergreifenden Fragestellungen überprüft. Aufgaben zur Abiturvorbereitung lassen einen Nachweis der Fähigkeiten in den vier Kompetenzbereichen zu. Grundlegende mathematische Verfahren sind auf separaten Methoden-seiten aus dem Lehrtext ausgegliedert. Exkurse über technische Entwicklungen und Anwendungen, auch in Medizin oder Musik, ebenso wie historische und wissenschaftsphilosophische Betrachtungen sind Anlass und Ausgangspunkt für Vertiefungen, auch um die Physik in einen größeren Rahmen zu stellen. Besondere Beachtung ist der Bedeutung der Physik für Umwelt und Technik gewidmet.

Das Buch ist Arbeits- und Lehrbuch für Schülerinnen und Schüler der Oberstufe der Gymnasien und Fachgymnasien. Es kann aber auch zum Selbststudium oder zur Wiederholung benutzt werden.

Dank gilt wieder dem Verlag für die intensive Betreuung und die hervorragende Ausstattung des Buches. Dank gilt ebenso allen Persönlichkeiten, die mit Rat und Auskunft geholfen haben.

Neumünster im Frühjahr 2019, Joachim Krause

INHALTSVERZEICHNIS

1 MECHANIK

1.1	Kinematik	10	1.2.5	Schwere und träge Masse	47
1.1.1	Beschreibung von Bewegungen	10	1.2.6	Kräfte an der schiefen Ebene	48
1.1.2	Die geradlinige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit	12	1.2.7	METHODE: Vektoren in Komponenten zerlegen	49
	METHODE: Messwerte erfassen (I)	14	1.2.8	Haftkräfte und Reibungskräfte	50
	EXKURS: Die Basiseinheiten der Zeit und der Länge	15	1.2.8	Die gleichförmige Kreisbewegung	52
1.1.3	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit	16	1.2.9	Zentripetale Kräfte	54
	METHODE: Näherungsweise Ermittlung von Momentangeschwindigkeiten aus Zeit-Weg-Daten	18	EXKURS: Kurvenfahrt eines Fahrrads	56	
	METHODE: Messunsicherheit und signifikante Stellen	19	1.2.10	Trägheitskräfte	57
1.1.4	Die geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung	20	1.2.11	Strömende Medien	60
	METHODE: Linearisierung (I) – Auswertung von Messdaten	22	EXKURS: Luftwiderstandsbeiwert	61	
1.1.5	Der freie Fall	24	EXKURS: Kräfte auf rotierende Bälle – Magnus-Effekt	61	
	METHODE: Flächeninhalte unter t - v -Graphen	28	1.3	Energie und Impuls	62
1.1.7	Geschwindigkeit und Beschleunigung als vektorielle Größen	30	1.3.1	Mechanische Energie	62
1.1.8	Ungestörte Überlagerung	30	1.3.2	Kinetische und potenzielle Energie	64
1.1.9	Nichtlineare Bewegungen – Wurfbewegungen	34	1.3.3	Energieübertragung bei Reibung	66
	METHODE: Messwerte erfassen (II)	36	1.3.4	Energieerhaltung	67
1.2	Dynamik	38	METHODE: Rechnen mit Einheiten	70	
1.2.1	Das Trägheitsprinzip	38	1.3.5	Energiestrom – Leistung	71
1.2.2	Die Grundgleichung der Mechanik	40	1.3.6	Impuls und Impulserhaltung	72
1.2.3	Wechselwirkung und Impuls	42	1.3.7	Impulserhaltung in der Ebene	76
1.2.4	Das Kräftegleichgewicht	45	1.3.8	Rückstoßprinzip	78
	EXKURS: Simulation des Falls mit Luftwiderstand	46	1.4	Rotation starrer Körper	80
			1.4.1	Die gleichmäßig beschleunigte Drehbewegung	80
			1.4.2	Drehimpuls und Drehimpulserhaltung	82
			Grundwissen	84	
			Wissenstest	86	

2 GRAVITATION

2.1	Gravitationskraft	88	2.3	Bewegungen im Gravitationsfeld	101
2.1.1	Das Sonnensystem	88	2.3.1	Zentralkraft und die Kepler'schen Gesetze	101
2.1.2	Die Kepler'schen Gesetze	89	2.3.2	Bahnformen und Bahnenergie	103
	EXKURS: Erde und Sonnensystem in der Vorstellung von der Antike bis zur Neuzeit	90	2.3.3	Satellitenmanöver	105
2.1.3	Newtonsches Gravitationsgesetz	92	Grundwissen	106	
2.1.4	Gravitationsgesetz und Masse	94	Wissenstest	107	
	EXKURS: Schwere und träge Masse	95			
2.2	Das Gravitationsfeld	96			
2.2.1	Die Gravitationsfeldstärke	96			
2.2.2	Energie im Gravitationsfeld	99			

3 MECHANISCHE SCHWINGUNGEN UND WELLEN

3.1 Schwingungen	108	3.3.2	Eigenschaften von Wellen	126
3.1.1 Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen	108	3.3.3	Der Doppler-Effekt EXKURS: Der Überschallknall, Ultraschall in der Medizin	128 129
3.1.2 Bewegungsgleichungen der harmonischen Schwingung	110	3.3.4	Phasen- und Gruppengeschwindigkeit; Dispersion	130
3.1.3 Beispiele harmonischer Schwingungen	112		EXKURS: Entstehung von Wasserwellen	131
3.1.4 Die Energie der harmonischen Schwingung METHODE: Differenzialgleichungen in der Physik	114 115	3.4 Eigenschaften von Wellen	132	
3.1.5 Die gedämpfte harmonische Schwingung	116	3.4.1	Interferenz zweier Kreiswellen	132
3.1.6 Erzwungene Schwingungen EXKURS: Der Einsturz der Tacoma-Brücke – eine Resonanzkatastrophe	118 119	3.4.2	Das Huygens'sche Prinzip	135
3.2 Überlagerung von Schwingungen	120	3.4.3	Reflexion und Brechung	136
3.2.1 Überlagerung zweier harmonischer Schwingungen	120	3.4.4	Beugung von Wellen; Streuung EXKURS: Schallintensität und Lautstärke	138 139
3.2.2 Zusammengesetzte Schwingungen	122	3.4.5	Stehende Wellen; Eigenschwingungen EXKURS: Physik und Musik EXKURS: Musikinstrumente und menschliche Stimme	140 144 146
3.3 Entstehung und Ausbreitung von Wellen	124	Grundwissen	148	
3.3.1 Lineare Wellen; Transversal- und Longitudinalwellen	124	Wissenstest	150	

4 THERMODYNAMIK

4.1 Grundlagen	152	4.4 Die Entropie	169
4.1.1 Temperaturmessung	152	4.4.1	Irreversible Vorgänge
4.1.2 Die Gasgleichung	154	4.4.2	Definition der Entropie
4.1.3 Der atomistische Aufbau der Materie	156	4.4.3	Entropieerzeugung und Energieentwertung EXKURS: Der Verbrauch fossiler Primärenergie und die Konsequenzen für die Atmosphäre
4.2 Die kinetische Gastheorie	158	4.4.4	Entropie und Wahrscheinlichkeit EXKURS: Entropie und Information
4.2.1 Die Grundgleichung der kinetischen Gastheorie	158	4.5 Wärmekraftmaschinen	176
4.2.2 Kinetische Gastheorie und Molekülbewegung	160	4.5.1	Der Viertaktmotor
4.3 Energieumwandlungen	162	4.5.2	Kraftwerke
4.3.1 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik EXKURS: Zur Geschichte des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik	162 163	4.6 Die Strahlungsgesetze	180
4.3.2 Energieumwandlung bei Volumenänderung	165	EXKURS: Der Treibhauseffekt und die Bewohnbarkeit von Planeten	182
4.3.3 Eine Wärmekraftmaschine	165	Grundwissen	184
4.3.4 Wirkungsgrad von Energie- umwandlungsprozessen	168	Wissenstest	185

5 ELEKTRISCHE LADUNG UND ELEKTRISCHES FELD

5.1 Elektrische Ladungen	186	5.3 Energie im elektrischen Feld	198
5.1.1 Eigenschaften elektrischer Ladungen EXKURS: Der Laserdrucker	186 187	5.3.1	Potenzielle Energie, Potenzial und Spannung im homogenen Feld
5.1.2 Elektrische Ladung und Stromstärke	188	5.3.1	Potenzielle Energie und Potenzial im inhomogenen Feld
5.2 Elektrische Felder	190	5.3.2	Potenzielle Energie und Potenzial im radialsymmetrischen Feld
5.2.1 Eigenschaften elektrischer Felder	190	5.3.4	Das elektrische Feld als Energiespeicher
5.2.2 Die elektrische Feldstärke EXKURS: Die Entstehung von Gewittern	190 191	5.4 Bewegung elektrischer Ladungen in elektrischen Feldern	206
5.2.3 Homogene und radialsymmetrische elektrische Felder	192	5.4.1	Die Elementarladung
5.2.4 Darstellung elektrischer Felder	196		206

5.4.2	Elektrische Leitungsvorgänge und das Ohm'sche Gesetz	206	5.5	Elektrische Netzwerke	220
5.4.3	Elektrische Spannungsquellen	212	5.5.1	Die Kirchhoff'schen Gesetze	220
	EXKURS: Die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle	214	5.5.2	Kapazität von Kondensatoren	224
	EXKURS: Reizleitung in Nervenzellen	215	5.5.3	EXKURS: Bauformen von Kondensatoren	226
5.4.4	Austritt von Elektronen aus Leiteroberflächen	216	5.5.4	Schaltung elektrischer Zweipole	227
	EXKURS: Das Feldelektronenmikroskop	217		Auf- und Entladung eines Kondensators	228
5.4.5	Bewegte Elektronen in elektrischen Feldern	218		EXKURS: Entladung eines Kugelblitzes	229
				Grundwissen	232
				Wissenstest	234

6 BEWEGTE LADUNGSTRÄGER UND ELEKTROMAGNETISCHES FELD

6.1	Kräfte im Magnetfeld	236	6.2.3	Ferromagnetismus	256
6.1.1	Magnetfelder	236		EXKURS: Ferromagnetische Domänen (Weiß'sche Bezirke)	257
	EXKURS: Erdmagnetismus	237	6.3	Elektromagnetische Induktion	258
6.1.2	Die magnetische Feldstärke	238	6.3.1	Der Induktionsstrom	258
	METHODE: Linearisierung (II)	239	6.3.2	Die Lenz'sche Regel	260
6.1.3	Die Lorentz-Kraft	240	6.3.3	Der magnetische Fluss	261
6.1.4	Die Masse geladener Teilchen	242	6.3.4	Das Induktionsgesetz	262
	EXKURS: Massenspektrografie	243		EXKURS: Induktion durch Bewegung: Energieübertragung	264
6.1.5	Zyklotron und Synchrotron	244	6.3.5	Das induzierte elektrische Feld	268
6.1.6	Der Hall-Effekt	246	6.3.6	Die Selbstinduktion	270
	EXKURS: Elektronenmikroskopie	248	6.3.7	Die Maxwell'schen Gleichungen	272
	EXKURS: Polarlicht und Van Allen'scher Strahlengürtel	250	6.3.8	Elektromagnetische Wellen	273
6.2	Magnetfelder von Strömen	252		Grundwissen	276
6.2.1	Magnetfeld von Leiter und Spule	252		Wissenstest	278
	METHODE: Das mathematische Rechtssystem	253			
6.2.2	Das Durchflutungsgesetz	254			

7 ELEKTROMAGNETISCHE SCHWINGUNGEN UND WELLEN

7.1	Wechselstromtechnik	280	7.3.6	Intensitätsverlauf bei Gitter und Spalt	316
7.1.1	Erzeugung von Wechselspannung	280	7.3.7	Intensitätsverlauf hinter einer Kreisblende	318
7.1.2	Phasenbeziehungen zwischen Spannung und Strom	282	7.3.8	Das Auflösungsvermögen optischer Instrumente und des Auges	319
7.1.3	Die Leistung im Wechselstromkreis	284		EXKURS: Das Auflösungsvermögen großer Teleskope	320
7.1.4	Wechselstromwiderstände	286	7.3.9	Interferenzen an dünnen Schichten	322
7.1.5	Der Transformator	287	7.3.10	Kohärenz	324
7.1.6	Wechselstromschaltungen	288	7.3.11	Polarisiertes Licht	326
7.1.7	Stromversorgungsnetz	290		EXKURS: Polarisationsfolien – Das Polaroid®-Verfahren	326
7.2	Elektrische Schwingungen und elektromagnetische Wellen	292		EXKURS: Wann ist der Himmel blau?	328
7.2.1	Der elektrische Schwingkreis	292	7.3.12	Doppelbrechung und optische Aktivität	329
7.2.2	Elektrische Schwingungen	294		EXKURS: Flüssigkristalle und LCD-Anzeigen	331
7.2.3	Ungedämpfte Schwingungen	296	7.4	Das elektromagnetische Spektrum	332
7.2.4	Elektromagnetische Wellen	298	7.4.1	Überblick über das elektromagnetische Spektrum	332
7.2.5	Mikrowellen	302	7.4.2	Das optische Spektrum	334
7.3	Wellenoptik	304	7.4.3	Übertragung von Informationen mit elektromagnetischen Wellen	336
7.3.1	Die Lichtgeschwindigkeit	304	7.4.4	Röntgenstrahlung	338
7.3.2	Beugung und Interferenz am Doppelspalt	306		Grundwissen	340
7.3.3	Beugung und Interferenz am Gitter	308		Wissenstest	342
7.3.4	Beugung und Interferenz am Spalt	310			
7.3.5	Modellvorstellungen von Licht	312			
	EXKURS: Geschichte der Optik	315			

8 CHAOTISCHE VORGÄNGE

8.1	Das deterministische Chaos	344
8.2	Ein einfaches System mit chaotischem Verhalten	346
8.3	Wege ins Chaos – Verhulst-Dynamik und Feigenbaum-Szenario	350
8.4	Chaos und Fraktale	352
	EXKURS: Das gesunde Herz – die richtige Dosis Chaos	353

9 RELATIVITÄTSTHEORIE

9.1	Von der klassischen Physik zur Relativitätstheorie	354	9.2.4	Die Lorentz-Transformation	366
9.1.1	Das Galilei'sche Relativitätsprinzip	354	9.2.5	Minkowski-Diagramme	368
9.1.2	Das Michelson-Morley-Experiment	356	9.2.6	Das Zwillings-Paradoxon	372
9.1.3	Die Relativitätspostulate	357	9.2.7	Der Doppler-Effekt	374
			9.2.8	Die invariante Raum-Zeit	375
			9.2.9	Zeitdilatation durch Gravitation	376
9.2	Die relativistische Kinematik	358	9.3	Die relativistische Dynamik	378
9.2.1	Die Relativität der Gleichzeitigkeit	358	9.3.1	Der relativistische Impuls	378
	EXKURS: Das Global Positioning System (GPS) – Relativitätstheorie im Alltag	359	9.3.2	Die Masse-Energie-Äquivalenz	380
9.2.2	Die Zeitdilatation	360	9.3.3	Impuls und Energie	382
	EXKURS: Das Hafele-Keating-Experiment – Atomuhren messen die Zeitdilatation	363		EXKURS: Die allgemeine Relativitätstheorie	384
9.2.3	Die Längenkontraktion	364		Grundwissen	386
	EXKURS: Die relativistische Kinematik ist widerspruchsfrei	365		Wissenstest	388

10 EINFÜHRUNG IN DIE QUANTENPHYSIK

10.1	Die Quantelung der Strahlung	390	10.3	Quantenobjekte	404
10.1.1	Der lichtelektrische Effekt	390	10.3.1	Die Verteilung von Photonen und Materieteilchen hinter einem Doppelspalt	404
10.1.2	Das Planck'sche Wirkungsquantum	392	10.3.2	Wellenfunktion und Wahrscheinlichkeitsinterpretation	407
10.1.3	Einsteins Lichtquantenhypothese	394	10.3.3	Der Weg – keine Eigenschaft von Quantenobjekten	409
10.1.4	Die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung – Umkehrung des lichtelektrischen Effekts	396	10.3.4	Die Unbestimmtheitsrelation	411
10.1.5	Der Compton-Effekt – Masse und Impuls von Photonen	398	10.3.5	Messungen in der Quantenphysik	414
10.2	Welleneigenschaften von Elektronen und Materieteilchen	400		Grundwissen	417
10.2.1	De-Broglie-Wellen	400		Wissenstest	418
10.2.2	Elektronen, Atome, Moleküle – keine klassischen Teilchen	402			

11 ATOMPHYSIK

11.1	Wechselwirkung von Atomen mit Photonen und Elektronen	420	11.2.3	Das Atommodell von Rutherford	428
11.1.1	Die quantenhafte Emission	420	11.2.4	Das Bohr'sche Atommodell	429
11.1.2	Die Resonanzabsorption	422	11.2.5	Vom klassischen zum quantenphysikalischen Atommodell	432
11.1.3	Der Franck-Hertz-Versuch	423		11.3 Das Atommodell der Quantenphysik	434
11.2	Die Entwicklung der Atommodelle	426	11.3.1	Die Schrödinger-Gleichung	434
11.2.1	Streuversuche zur Erforschung des Atoms	426	11.3.2	Die Schrödinger-Gleichung angewendet auf den linearen Potenzialtopf	435
11.2.2	Der Rutherford'sche Streuversuch	427			

11.3.3	Erweiterungen des linearen Potenzialtopfs – Entartung	437	11.4.2	Absorption von Röntgenstrahlung	445
11.3.4	Die Lösung der Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom	438	11.4.3	Spektrien im sichtbaren Bereich	446
11.3.5	Das Periodensystem	442	11.4.4	Der Laser	448
11.4	Atommodelle – Anwendungen	444		Grundwissen	450
11.4.1	Die charakteristische Röntgenstrahlung und das Moseley'sche Gesetz	444		Wissenstest	452

12 FESTKÖRPERPHYSIK UND ELEKTRONIK

12.1	Halbleiter	454	12.2.3	Energiebänder im Halbleiter	470
12.1.1	Ionen und Elektronen im Festkörper	454	12.2.4	n- und p-Halbleiter	473
12.1.2	Halbleiter und Dotierung	456	12.2.5	Kontaktspannung	475
12.1.3	p-n-Übergang und Dioden	458	12.3	Analoge Signalverarbeitung	476
12.1.4	Der bipolare Transistor	460	12.3.1	Der Operationsverstärker	476
12.1.5	Der Feldeffekttransistor	462	12.3.2	AD- und DA-Wandler	478
12.2	Das quantenphysikalische Modell des Festkörpers	464	12.3.3	RAM und ROM	479
12.2.1	Energiezustände im Elektronengas	464		EXKURS: Aufbau eines Computers	480
12.2.2	Die Fermi-Energie	466		EXKURS: Computerspeicher	482
	EXKURS: Supraleitung	468	Grundwissen		483

13 KERNPHYSIK

13.1	Radioaktivität	484	13.3.3	Energiemessung; Dosimetrie	503
13.1.1	Die ionisierende Wirkung radioaktiver Strahlung	484		EXKURS: Strahlungsdetektoren	504
13.1.2	Strahlungsarten	486		EXKURS: Biologische Wirkung von Strahlung	506
13.1.3	Kernbausteine	487		EXKURS: Strahlenschutz	507
13.1.4	Bindungsenergie der Atomkerne	488	13.4	Nutzung der Kernenergie	508
13.1.5	Ordnung der Nuklide	489	13.4.1	Kernreaktionen	508
13.1.6	Potenzialtopfmodell des Kerns	490	13.4.2	Kernspaltung	511
13.1.7	Arten der Kernumwandlung	491	13.4.3	Kernfusion	514
13.1.8	Das Zerfallsgesetz	494	13.4.4	Nutzung der Kernenergie – Chancen und Risiken	519
13.2	Die Energie der Kerne	496	13.5	Radionuklid-Anwendungen	522
13.2.1	Das Tröpfchenmodell	496	13.5.1	Technische und medizinische Anwendungen	522
13.2.2	Energiezustände der Kerne	498	13.5.2	Altersbestimmung	523
13.3	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	500	13.5.3	Tracermethoden	524
13.3.1	Wechselwirkungsprozesse geladener Teilchen	500		EXKURS: Kernspintomografie	525
	EXKURS: Das Geiger-Müller-Zählrohr	501	Grundwissen		526
13.3.2	Energieabgabe von γ -Quanten	502	Wissenstest		528

14 ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

14.1	Größte Maschinen für kleinste Teilchen	528	14.4	Relativistische Quantentheorie und Antimaterie	532
14.2	Suche nach dem Aufbau der Materie - ein Überblick	529	14.5	Wechselwirkungen	535
	Methode Feynman-Diagramme	530	14.5.1	Austauschteilchen	535
14.3	Der Spin - eine Eigenschaft der Elementarteilchen	531	14.5.2	Fundamentale Wechselwirkungen	536

14.6	Leptonen	537
	Exkurs Neutrinos und Supernovae	538
14.7	Quarks	539
14.7.1	Erhaltungsgrößen	539
14.7.2	Das Quark-Modell	542
14.8	Das Standardmodell	544
14.8.1	Eichsymmetrie oder Eichinvarianz	544
14.8.2	Wechselwirkungen im Standardmodell	545
14.8.3	Ordnung im Teilchenzoo	547
14.8.4	Die Entstehung des Universums	548

15 ASTROPHYSIK

15.1	Die Erforschung des Weltalls	540	15.2	Die Sterne	548
15.1.1	Astronomie heute	541	15.2.1	Leuchtkraft und Temperatur der Sterne	548
	EXKURS: Quasare		15.2.2	Die scheinbare Helligkeit	550
	– Strahlungsmonster im fernen Universum	543	15.2.3	Die Masse der Sterne	551
15.1.3	Die Entfernungen der Sterne und der Galaxien	544	15.2.4	Radius und Dichte der Sterne	552
	EXKURS: Warum pulsieren die Cepheiden?	545	15.2.5	Sternmasse und Sterneigenschaften	553
15.1.4	Die Expansion des Universums	546	15.2.6	Interstellare Materie	554
			15.2.7	Die Sternentstehung	556
			15.2.8	Endstadien der Sterne	558
			15.3	Die Entwicklung des Universums	562

16 PHYSIK UND WISSENSCHAFTSTHEORIE

16.1	Theorie – Hypothese – Gesetz – Modell	564
16.2	Philosophische Strömungen der Erkenntnisgewinnung	566

AUFGABEN ZUR ABITURVORBEREITUNG

Aufgaben zur Abiturvorbereitung	568
--	------------