

Physik

Bachelor-Edition

David Halliday
University of Pittsburgh

Robert Resnick
Rensselaer Polytechnic Institute

Jearl Walker
Cleveland State University

Herausgeber der deutschen Übersetzung

Stephan W. Koch
Universität Marburg



WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

1

Messung und Maßeinheiten

1-1	Dinge messen.....	2
1-2	Das internationale Einheitensystem SI ...	2
1-3	Einheiten umwandeln	3
1-4	Länge.....	5
1-5	Zeit.....	6
1-6	Masse.....	9
	Zusammenfassung	10

2

Geradlinige Bewegung

2-1	Bewegung	12
2-2	Ort und Verschiebung.....	12
2-3	Durchschnittsgeschwindigkeit.....	13
2-4	Momentangeschwindigkeit.....	16
2-5	Beschleunigung	19
2-6	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung: Ein Sonderfall.....	22
2-7	Ein weiterer Zugang zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung	25
2-8	Der freie Fall	25
	Zusammenfassung	29

3

Vektoren

3-1	Vektoren und Skalare	32
3-2	Geometrische Addition von Vektoren.....	32
3-3	Komponenten von Vektoren	34
3-4	Einheitsvektoren	39
3-5	Vektoren komponentenweise addieren... ..	40
3-6	Vektoren und physikalische Gesetze	42
3-7	Multiplikation von Vektoren.....	43
	Zusammenfassung	47

4

Bewegung in zwei und drei Dimensionen

4-1	Bewegung in zwei oder drei Dimensionen	50
4-2	Ort und Verschiebung.....	50
4-3	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit.....	52
4-4	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung	54
4-5	Wurfbewegungen	57
4-6	Analyse der Wurfbewegung.....	58
4-7	Die gleichförmige Kreisbewegung	65
4-8	Relativbewegung in einer Dimension	67
4-9	Relativbewegung in zwei Dimensionen ...	69
	Zusammenfassung	71

5

Kraft und Bewegung – I

5-1	Wodurch wird Beschleunigung verursacht?	74
5-2	Das erste newtonsche Gesetz	74
5-3	Kraft	75
5-4	Masse.....	76
5-5	Das zweite newtonsche Gesetz.....	77
5-6	Einige besondere Kräfte	83
5-7	Das dritte newtonsche Gesetz.....	88
5-8	Anwendung der newtonschen Gesetze ...	89
	Zusammenfassung	98

6

Kraft und Bewegung – II

6-1	Reibung	100
6-2	Eigenschaften der Reibung	101

6-3 Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit 106
 6-4 Gleichförmige Kreisbewegung 109
 Zusammenfassung 115

7

Kinetische Energie und Arbeit

7-1 Energie 118
 7-2 Arbeit 119
 7-3 Arbeit und kinetische Energie 120
 7-4 Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit 124
 7-5 Von einer Federkraft verrichtete Arbeit 130
 7-6 Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit 133
 7-7 Leistung 136
 Zusammenfassung 139

8

Potenzielle Energie und Energieerhaltung

8-1 Potenzielle Energie 142
 8-2 Wegunabhängigkeit von konservativen Kräften 143
 8-3 Berechnung der potenziellen Energie 145
 8-4 Der Energieerhaltungssatz der Mechanik 149
 8-5 Grafische Darstellung der potenziellen Energie 153
 8-6 Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit 156
 8-7 Energieerhaltung 160
 Zusammenfassung 164

9

Systeme von Teilchen

9-1 Ein besonderer Punkt 168
 9-2 Der Schwerpunkt 168
 9-3 Das zweite newtonsche Axiom für ein Teilchensystem 173
 9-4 Der Impuls eines Teilchens 177
 9-5 Der Impuls eines Teilchensystems 177
 9-6 Die Impulserhaltung 179
 9-7 Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete 183
 9-8 Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie 186
 Zusammenfassung 189

10

Stoßprozesse

10-1 Was ist ein Stoß? 192
 10-2 Kraftstoß und Impuls 193
 10-3 Impuls und kinetische Energie bei Stoßprozessen 196
 10-4 Inelastische, eindimensionale Stöße 197
 10-5 Elastische, eindimensionale Stöße 201
 10-6 Zweidimensionale Stöße 205
 Zusammenfassung 207

11

Die Rotation

11-1 Translation und Rotation 210
 11-2 Rotationsvariable 210
 11-3 Sind Winkelgrößen Vektoren? 214
 11-4 Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung 215
 11-5 Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation 217
 11-6 Die kinetische Energie der Rotation 220
 11-7 Berechnung des Trägheitsmoments 221
 11-8 Das Drehmoment 225
 11-9 Das zweite newtonsche Axiom für die Rotation 226
 11-10 Arbeit und kinetische Energie der Rotation 229
 Zusammenfassung 234

12

Rollen, Drehmoment und Drehimpuls

12-1 Rollen 238
 12-2 Die kinetische Energie der Rollbewegung 240
 12-3 Kräfte bei der Rollbewegung 241
 12-4 Ein Jo-Jo 243
 12-5 Eine erweiterte Definition des Drehmoments 244
 12-6 Der Drehimpuls 246
 12-7 Das zweite newtonsche Axiom in Winkelschreibweise 248
 12-8 Der Drehimpuls eines Teilchensystems ... 250
 12-9 Der Drehimpuls eines rotierenden starren Körpers 251
 12-10 Die Erhaltung des Drehimpulses 254
 Zusammenfassung 261

1

Gleichgewicht und Elastizität

13-1	Gleichgewicht	264
13-2	Bedingungen für das Gleichgewicht	265
13-3	Das Gravitationszentrum	266
13-4	Beispiele für statische Gleichgewichte ...	268
13-5	Unterbestimmte Strukturen	275
13-6	Elastizität	277
	Zusammenfassung	281

1

Gravitation

14-1	Die Gravitationskraft in unserem Kosmos	284
14-2	Das newtonsche Gravitationsgesetz	284
14-3	Gravitation und das Superpositionsprinzip	286
14-4	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche	289
14-5	Die Gravitation innerhalb der Erde	292
14-6	Die potenzielle Energie der Gravitation ..	293
14-7	Planeten und Satelliten: Die keplerschen Gesetze	298
14-8	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie ...	302
14-9	Einstein und die Gravitation	305
	Zusammenfassung	306

1

Fluide

15-1	Fluide in unserer Umgebung	310
15-2	Was ist ein Fluid?	310
15-3	Dichte und Druck	310
15-4	Ruhende Fluide	313
15-5	Druckmessung	316
15-6	Das pascalsche Prinzip	317
15-7	Das archimedische Prinzip	318
15-8	Ideale Fluide in Bewegung	322
15-9	Die Kontinuitätsgleichung	323
15-10	Die Bernoulli-Gleichung	326
	Zusammenfassung	330

1

Schwingungen

16-1	Schwingungen	332
16-2	Harmonische Schwingungen	332

16-3	Das Kraftgesetz der harmonischen Schwingung	335
16-4	Die Energie der harmonischen Schwingung	339
16-5	Das Torsionspendel	341
16-6	Pendel	342
16-7	Harmonische Schwingungen und die gleichförmige Kreisbewegung	347
16-8	Gedämpfte harmonische Schwingungen	348
16-9	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	351
	Zusammenfassung	354

1

Wellen – I

17-1	Wellen und Teilchen	358
17-2	Wellenarten	358
17-3	Transversale und longitudinale Wellen ...	359
17-4	Wellenlänge und Frequenz	360
17-5	Die Geschwindigkeit einer fortlaufenden Welle	362
17-6	Die Wellengeschwindigkeit für ein gespanntes Seil	366
17-7	Energie und Leistung einer fortlaufenden Seilwelle	368
17-8	Das Superpositionsprinzip für Wellen ...	371
17-9	Die Interferenz von Wellen	371
17-10	Darstellung einer Welle durch einen Vektor	375
17-11	Stehende Wellen	376
17-12	Stehende Wellen und Resonanz	379
	Zusammenfassung	381

1

Wellen – II

18-1	Schallwellen	384
18-2	Die Schallgeschwindigkeit	384
18-3	Ausbreitung von Schallwellen	387
18-4	Interferenz	390
18-5	Schallintensität und Schallpegel	392
18-6	Musikalische Töne	396
18-7	Schwebungen	399
18-8	Der Doppler-Effekt	400
18-9	Überschallgeschwindigkeiten und Schockwellen	405
	Zusammenfassung	406

1

Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

19-1	Thermodynamik	410
19-2	Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik	410
19-3	Temperaturmessung	411
19-4	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skalen ...	413
19-5	Wärmeausdehnung	415
19-6	Temperatur und Wärme	418
19-7	Die Wärmeaufnahme bei Festkörpern und Flüssigkeiten	419
19-8	Wärme und Arbeit: Eine ausführlichere Betrachtung	424
19-9	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	426
19-10	Einige Beispiele für den ersten Hauptsatz der Thermodynamik	427
	Zusammenfassung	429

2

Die kinetische Gastheorie

20-1	Gase unter einem neuen Blickwinkel	432
20-2	Die Avogadro-Zahl	432
20-3	Ideale Gase	433
20-4	Druck, Temperatur und mittlere Geschwindigkeit	436
20-5	Die kinetische Translationsenergie	439
20-6	Die mittlere freie Weglänge	440
20-7	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten	442
20-8	Die molaren spezifischen Wärmen idealer Gase	446
	Zusammenfassung	450

2

Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

21-1	Gerichtete Prozesse	454
21-2	Entropieänderungen	455
21-3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	459
21-4	Die Entropie in Aktion: Maschinen	460
21-5	Die Entropie in Aktion: Kältemaschinen ..	466
21-6	Die Wirkungsgrade realer Maschinen	467
21-7	Eine statistische Interpretation der Entropie	468
	Zusammenfassung	472

2

Elektrische Ladung

22-1	Elektromagnetismus	476
22-2	Elektrische Ladung	476
22-3	Leiter und Isolatoren	478
22-4	Das coulombsche Gesetz	479
	Zusammenfassung	487

2

Elektrische Felder

23-1	Ladungen und Kräfte – genauer betrachtet	490
23-2	Das elektrische Feld	490
23-3	Elektrische Feldlinien	491
23-4	Das elektrische Feld einer Punktladung ..	493
23-5	Das Feld eines elektrischen Dipols	495
23-6	Das elektrische Feld einer linearen Ladungsverteilung	496
23-7	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe	502
23-8	Verhalten einer Punktladung in einem elektrischen Feld	503
23-9	Verhalten eines Dipols in einem elektrischen Feld	505
	Zusammenfassung	508

2

Der gaußsche Satz

24-1	Das coulombsche Gesetz in neuem Licht	510
24-2	Fluss	510
24-3	Fluss eines elektrischen Felds	511
24-4	Der gaußsche Satz	515
24-5	Gaußscher Satz und coulombsches Gesetz	517
24-6	Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters	518
	Zusammenfassung	521

2

Elektrisches Potenzial

25-1	Elektrische potenzielle Energie	524
25-2	Elektrisches Potenzial	525
25-3	Äquipotenzialflächen	528
25-4	Berechnung des Potentials aus dem Feld	529
25-5	Potenzial einer Punktladung	531

25-6 Potenzial einer Gruppe von Punktladungen 532

25-7 Potenzial eines elektrischen Dipols 534

25-8 Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung 536

25-9 Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial 538

25-10 Elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen 540

25-11 Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers 541

Zusammenfassung 543

2

Kapazität

26-1 Kondensatoren und ihre Anwendungen .. 546

26-2 Kapazität 546

26-3 Berechnung der Kapazität 548

26-4 Parallelschaltungen und Reihenschaltungen von Kondensatoren 552

Zusammenfassung 555

2

Elektrischer Strom und Widerstand

27-1 Ladung in Bewegung: Elektrische Ströme 558

27-2 Elektrischer Strom 558

27-3 Stromdichte 561

27-4 Widerstand und spezifischer Widerstand 565

27-5 Ohmsches Gesetz 569

27-6 Das ohmsche Gesetz – mikroskopisch betrachtet 570

27-7 Elektrische Leistung in Stromkreisen 572

27-8 Halbleiter 574

27-9 Supraleiter 575

Zusammenfassung 576

2

Stromkreise

28-1 „Pumpen“ von Ladung 580

28-2 Arbeit, Energie und Spannung 580

28-3 Berechnung des Stroms in einem unverzweigten Stromkreis 582

28-4 Weitere unverzweigte Stromkreise 584

28-5 Potenzialdifferenzen 586

28-6 Verzweigte Stromkreise 589

28-7 Amperemeter und Voltmeter 597

28-8 RC-Kreise 597

Zusammenfassung 601

2

Magnetfelder

29-1 Das Magnetfeld 604

29-2 Definition von \vec{B} 604

29-3 Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons 609

29-4 Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt 610

29-5 Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn... 613

29-6 Zyklotron und Synchrotron 618

29-7 Magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht 620

29-8 Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife 622

29-9 Magnetisches Dipolmoment 625

Zusammenfassung 627

3

Magnetfelder aufgrund von Strömen

30-1 Das Magnetfeld eines Stroms 630

30-2 Die Kraft zwischen parallelen Strömen... 636

30-3 Das amperesche Gesetz 638

Zusammenfassung 641

3

Induktion und Induktivität

31-1 Zwei symmetrische Situationen 644

31-2 Zwei Experimente 644

31-3 Das faradaysche Induktionsgesetz 645

31-4 Die lenzsche Regel 648

31-5 Induktion und Energietransfer 651

31-6 Induzierte elektrische Felder 654

31-7 Induktivität 658

31-8 Selbstinduktion 659

Zusammenfassung 661

3

Magnetismus und Materie: Die maxwellschen Gleichungen

32-1 Magnete 664

32-2 Der gaußsche Satz für Magnetfelder 664

32-3 Der Erdmagnetismus 665

32-4	Der Magnetismus von Elektronen	666
32-5	Magnetische Materialien	670
32-6	Diamagnetismus	671
32-7	Paramagnetismus.....	672
32-8	Ferromagnetismus.....	674
32-9	Induzierte magnetische Felder	677
32-10	Der Verschiebungsstrom	680
32-11	Die maxwellschen Gleichungen	682
	Zusammenfassung	683

3

Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

33-1	Neue Physik – alte Mathematik.....	686
33-2	LC-Schwingungen: Eine qualitative Diskussion.....	686
33-3	Die Analogie: Elektrischer und mechanischer Schwingkreis	689
33-4	LC-Schwingungen: Eine quantitative Diskussion.....	690
33-5	Gedämpfte Schwingungen in einem RLC-Kreis	694
33-6	Wechselstrom.....	695
33-7	Erzwungene Schwingungen	696
	Zusammenfassung	697

3

Elektromagnetische Wellen

34-1	Maxwells Regenbogen	700
34-2	Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Qualitative Betrachtung	701
34-3	Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen: Quantitative Betrachtung	704
34-4	Energietransport und Poynting-Vektor ...	707
34-5	Der Strahlungsdruck	709
34-6	Polarisation	712
34-7	Reflexion und Brechung	716
34-8	Innere Totalreflexion	721
34-9	Polarisation durch Reflexion.....	723
	Zusammenfassung	724

3

Abbildungen

35-1	Zwei Arten von Bildern	728
35-2	Ebene Spiegel.....	729
35-3	Kugelspiegel	730
35-4	Abbildungen an Kugelspiegeln	732
35-5	Sphärische brechende Flächen	735
	Zusammenfassung	741

3

Interferenz

36-1	Interferenz	744
36-2	Licht als Welle	744
36-3	Beugung	748
36-4	Der Doppelspaltversuch von Young	749
36-5	Kohärenz	753
36-6	Intensitäten bei der Interferenz am Doppelspalt.....	753
36-7	Interferenz an dünnen Schichten.....	757
36-8	Das Michelson-Interferometer.....	764
	Zusammenfassung	765

3

Beugung

37-1	Beugung und die Wellentheorie des Lichts.....	768
37-2	Beugung am Einzelspalt: Lokalisierung der Minima	769
37-3	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – qualitative Betrachtung	772
37-4	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt – quantitative Betrachtung ..	773
37-5	Beugung an einer kreisrunden Öffnung ..	776
37-6	Beugung am Doppelspalt.....	779
37-7	Beugungsgitter	782
37-8	Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen.....	785
37-9	Röntgenbeugung.....	788
	Zusammenfassung	790

3

Relativitätstheorie

38-1	Womit beschäftigt sich die Relativitätstheorie?	792
38-2	Die Postulate.....	792
38-3	Messung von Ereignissen.....	794
38-4	Die Relativität der Gleichzeitigkeit	795
38-5	Die Relativität der Zeit.....	797
38-6	Die Relativität der Länge.....	802
38-7	Die Lorentz-Transformation.....	804
38-8	Einige Folgen aus den Lorentz-Gleichungen	806
	Zusammenfassung	809

3

Photonen und Materiefelder

39-1	Eine neue Welt.....	812
39-2	Das Photon: Teilchen des Lichts	812
39-3	Der photoelektrische Effekt.....	814
39-4	Photonen haben einen Impuls.....	818
39-5	Licht als Wahrscheinlichkeitswelle	821
39-6	Elektronen und Materiewellen.....	823
39-7	Die Schrödinger-Gleichung	826
39-8	Die heisenbergsche Unschärferelation ...	829
39-9	Der Tunneleffekt	830
	Zusammenfassung	833

4

Mehr über Materiewellen

40-1	Der Aufbau der Atome	836
40-2	Wellen auf einem Seil und Materiewellen.....	836
40-3	Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfalle	837
40-4	Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial.....	841
40-5	Ein Elektron in einem endlichen Kastenpotenzial	846
40-6	Weitere Elektronenfallen	848
40-7	Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen.....	850
40-8	Das Wasserstoffatom.....	852
	Zusammenfassung	861

4

Atome

41-1	Unser atomares Weltbild	864
41-2	Einige Eigenschaften von Atomen.....	864
41-3	Der Spin des Elektrons.....	866

41-4	Drehimpulse und magnetische Dipolmomente	867
41-5	Das Stern-Gerlach-Experiment.....	869
	Zusammenfassung	872

4

Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

42-1	Festkörper	874
42-2	Die elektrischen Eigenschaften von Festkörpern	874
42-3	Die Energieniveaus in einem kristallinen Festkörper	875
42-4	Nichtleiter	876
42-5	Metalle	877
42-6	Halbleiter	883
	Zusammenfassung	885

4

Kernphysik

43-1	Die Entdeckung des Atomkerns	888
43-2	Einige Eigenschaften von Atomkernen ...	889
43-3	Radioaktiver Zerfall	894
43-4	Der Alpha-Zerfall	896
43-5	Der Beta-Zerfall	897
43-6	Radiometrische Zeitmessung	900
	Zusammenfassung	901

ng

A	Das Internationale Einheitensystem (SI)	904
B	Wichtige physikalische Fundamentalkonstanten	906
C	Astronomische Daten.....	907
D	Umrechnungsfaktoren.....	908
E	Mathematische Formeln.....	910
F	Eigenschaften der Elemente	913
G	Periodensystem der Elemente	916
H	Bildquellenverzeichnis	917
I	Index	919
	Begleitmaterial	929