

# Halliday Physik für natur- und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge

*David Halliday, Robert Resnick und Jearl Walker*

*Herausgeber der deutschen Übersetzung  
Stephan W. Koch*

Dritte, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

# Inhaltsverzeichnis

## 1

### Bewegung

1.1	Ort, Verschiebung und mittlere Geschwindigkeit .....	1
1.2	Momentangeschwindigkeit .....	4
1.3	Beschleunigung .....	5
1.4	Konstante Beschleunigung .....	8
1.5	Der freie Fall .....	12
1.6	Zwei und drei Raumdimensionen .....	14
1.7	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit .....	15
1.8	Durchschnittsbeschleunigung und Momentanbeschleunigung .....	18
1.9	Wurfbewegungen .....	19
1.10	Die gleichförmige Kreisbewegung .....	24
1.11	Relativbewegung in einer Dimension .....	26
1.12	Relativbewegung in zwei Dimensionen .....	28
1.13	Zusammenfassung .....	29
1.14	Fragen .....	31

## 2

### Kraft und Bewegung

2.1	Das erste und das zweite Newtonsche Gesetz .....	35
2.2	Einige besondere Kräfte .....	42
2.3	Die Newtonschen Gesetze in der Praxis .....	47
2.4	Reibung .....	50
2.5	Strömungswiderstand und Endgeschwindigkeit .....	54
2.6	Gleichförmige Kreisbewegung .....	56
2.7	Scheinkräfte .....	58
2.8	Zusammenfassung .....	61
2.9	Fragen .....	63

## 3

### Kinetische Energie und Arbeit

3.1	Energie .....	69
3.2	Arbeit und kinetische Energie .....	71
3.3	Von der Gravitationskraft verrichtete Arbeit .....	74

3.4	Von einer Federkraft verrichtete Arbeit ...	76
3.5	Von einer allgemeinen veränderlichen Kraft verrichtete Arbeit .....	80
3.6	Leistung .....	83
3.7	Zusammenfassung .....	85
3.8	Fragen .....	86

## 4

### Potenzielle Energie und Energieerhaltung

4.1	Potenzielle Energie .....	89
4.2	Der Energieerhaltungssatz der Mechanik ..	94
4.3	Grafische Darstellung der potenziellen Energie .....	98
4.4	Von einer äußeren Kraft an einem System verrichtete Arbeit .....	101
4.5	Energieerhaltung .....	104
4.6	Zusammenfassung .....	107
4.7	Fragen .....	109

## 5

### Systeme von Teilchen

5.1	Der Schwerpunkt .....	113
5.2	Das zweite Newtonsche Gesetz für ein Teilchensystem .....	116
5.3	Der Impuls .....	119
5.4	Stoßprozesse: Der Kraftstoß .....	121
5.5	Die Impulserhaltung .....	125
5.6	Inelastische eindimensionale Stöße .....	127
5.7	Elastische eindimensionale Stöße .....	129
5.8	Zweidimensionale Stöße .....	132
5.9	Systeme mit veränderlicher Masse: Eine Rakete .....	133
5.10	Äußere Kräfte und Änderungen der inneren Energie .....	136
5.11	Zusammenfassung .....	138
5.12	Fragen .....	139

## 6

### Die Rotation ausgedehnter Körper

6.1	Die Variablen der Rotation .....	143
-----	----------------------------------	-----

6.2	Rotation mit konstanter Winkelbeschleunigung .....	148
6.3	Beziehungen zwischen den Variablen für lineare Bewegung und Rotation .....	149
6.4	Die kinetische Energie der Rotation .....	152
6.5	Die Berechnung des Trägheitsmoments ...	154
6.6	Das Drehmoment .....	156
6.7	Das zweite Newtonsche Gesetz für die Rotation .....	158
6.8	Arbeit und kinetische Energie der Rotation .....	159
6.9	Zusammenfassung .....	162
6.10	Fragen .....	164

## 7

### Rollbewegung, Drehmoment und Drehimpuls

7.1	Die Rollbewegung .....	167
7.2	Kräfte und die kinetische Energie der Rollbewegung .....	169
7.3	Das Jo-Jo .....	172
7.4	Eine erweiterte Definition des Drehmoments .....	173
7.5	Der Drehimpuls .....	175
7.6	Das zweite Newtonsche Gesetz in Winkelschreibweise .....	177
7.7	Der Drehimpuls eines starren Körpers ...	179
7.8	Die Erhaltung des Drehimpulses .....	182
7.9	Die Präzession eines Kreisels .....	185
7.10	Zusammenfassung .....	187
7.11	Fragen .....	188

## 8

### Gleichgewicht und Elastizität

8.1	Gleichgewicht .....	191
8.2	Beispiele für statische Gleichgewichte ...	195
8.3	Elastizität .....	198
8.4	Zusammenfassung .....	203
8.5	Fragen .....	203

## 9

### Gravitation

9.1	Das Newtonsche Gravitationsgesetz .....	207
9.2	Gravitation und das Superpositionsprinzip .....	210
9.3	Die Gravitation in der Nähe der Erdoberfläche .....	211
9.4	Die Gravitation innerhalb der Erde .....	214
9.5	Die potenzielle Energie der Gravitation ...	216
9.6	Planeten und Satelliten: Die Keplerschen Gesetze .....	220
9.7	Satelliten: Umlaufbahnen und Energie ...	223
9.8	Einstein und die Gravitation .....	225
9.9	Zusammenfassung .....	227
9.10	Fragen .....	229

## 10

### Fluide

10.1	Fluide, Dichte und Druck .....	233
10.2	Ruhende Fluide .....	235
10.3	Druckmessung .....	238
10.4	Das Pascalsche Prinzip .....	240
10.5	Das archimedische Prinzip .....	241
10.6	Die Kontinuitätsgleichung .....	245
10.7	Die Bernoulli-Gleichung .....	248
10.8	Zusammenfassung .....	251
10.9	Fragen .....	252

## 11

### Schwingungen

11.1	Harmonische Schwingungen .....	255
11.2	Die Energie einer harmonischen Schwingung .....	260
11.3	Das Torsionspendel .....	262
11.4	Pendel und Kreisbewegungen .....	264
11.5	Gedämpfte harmonische Schwingungen ..	269
11.6	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	271
11.7	Das Foucaultsche Pendel .....	273
11.8	Zusammenfassung .....	274
11.9	Fragen .....	275

## 12

### Wellen - I

12.1	Transversalwellen .....	279
12.2	Die Wellengeschwindigkeit eines gespannten Seils .....	285
12.3	Energie und Leistung einer sich ausbreitenden Seilwelle .....	288
12.4	Die Wellengleichung .....	290
12.5	Die Interferenz von Wellen .....	293
12.6	Darstellung von Wellen durch Zeiger ...	297
12.7	Stehende Wellen und Resonanz .....	298
12.8	Zusammenfassung .....	304
12.9	Fragen .....	305

## 13

### Wellen - II

13.1	Die Schallgeschwindigkeit .....	307
13.2	Die Ausbreitung von Schallwellen .....	310
13.3	Interferenz .....	314
13.4	Schallintensität und Schallpegel .....	316
13.5	Musikalische Töne .....	319
13.6	Schwebungen .....	322
13.7	Der Doppler-Effekt .....	323
13.8	Überschallgeschwindigkeit und Stoßwellen .....	328
13.9	Zusammenfassung .....	329
13.10	Fragen .....	330

## 14

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

14.1	Temperatur	333
14.2	Die Celsius- und die Fahrenheit-Skala	336
14.3	Wärmeausdehnung	339
14.4	Die Absorption von Wärme	341
14.5	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	347
14.6	Mechanismen der Wärmeübertragung	353
14.7	Zusammenfassung	358
14.8	Fragen	359

## 15

### Die kinetische Gastheorie

15.1	Ein neuer Blick auf Gase	363
15.2	Ideale Gase	364
15.3	Druck, Temperatur und gemittelte Geschwindigkeiten	368
15.4	Kinetische Translationsenergie	371
15.5	Die mittlere freie Weglänge	372
15.6	Die Verteilungsfunktion der Molekülgeschwindigkeiten	374
15.7	Die molare Wärmekapazität idealer Gase	377
15.8	Freiheitsgrade und molare Wärmekapazität	382
15.9	Die adiabatische Expansion eines idealen Gases	385
15.10	Reale Gase	389
15.11	Zusammenfassung	392
15.12	Fragen	393

## 16

### Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

16.1	Entropie	397
16.2	Entropie in Aktion: Thermodynamische Maschinen	402
16.3	Kältemaschinen und reale Maschinen	407
16.4	Eine statistische Interpretation der Entropie	411
16.5	Zusammenfassung	414
16.6	Fragen	416

## 17

### Elektrische Ladung

17.1	Elektromagnetismus	419
17.2	Die elektrische Ladung ist quantisiert	426
17.3	Die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße	427
17.4	Zusammenfassung	429
17.5	Fragen	429

## 18

### Elektrische Felder

18.1	Das elektrische Feld	433
18.2	Das elektrische Feld einer Punktladung	436
18.3	Das elektrische Feld eines Dipols	438
18.4	Elektrisches Feld einer linearen Ladungsverteilung	440
18.5	Das elektrische Feld einer geladenen Scheibe	444
18.6	Punktladung im elektrischen Feld	446
18.7	Ein Dipol in einem elektrischen Feld	448
18.8	Zusammenfassung	451
18.9	Fragen	452

## 19

### Der Gaußsche Satz

19.1	Das Coulombsche Gesetz in neuem Licht	455
19.2	Der Gaußsche Satz	458
19.3	Eigenschaften eines geladenen, isolierten Leiters	462
19.4	Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Zylindersymmetrie	465
19.5	Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Ebene Symmetrie	466
19.6	Eine Anwendung des Gaußschen Satzes: Kugelsymmetrie	469
19.7	Zusammenfassung	471
19.8	Fragen	472

## 20

### Das elektrische Potenzial

20.1	Das elektrische Potenzial	475
20.2	Äquipotenzialflächen	479
20.3	Das Potenzial von Punktladungen	482
20.4	Das Potenzial eines elektrischen Dipols	485
20.5	Das Potenzial einer kontinuierlichen Ladungsverteilung	487
20.6	Die Berechnung des elektrischen Felds aus dem elektrischen Potenzial	490
20.7	Die elektrische potenzielle Energie eines Systems von Punktladungen	492
20.8	Das Potenzial eines geladenen, isolierten leitenden Körpers	493
20.9	Zusammenfassung	495
20.10	Fragen	497

## 21

### Kapazität

21.1	Kondensatoren und ihre Anwendungen	499
21.2	Die Berechnung der Kapazität	502
21.3	Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren	506

21.4	In einem elektrischen Feld gespeicherte Energie .....	511
21.5	Kondensator mit Dielektrikum .....	513
21.6	Dielektrika und Gaußscher Satz .....	517
21.7	Zusammenfassung .....	519
21.8	Fragen .....	520

## 22

### Elektrischer Strom und Widerstand

22.1	Ladung in Bewegung: Elektrischer Strom ..	523
22.2	Die Stromdichte .....	525
22.3	Widerstand und spezifischer Widerstand ..	528
22.4	Das Ohmsche Gesetz .....	532
22.5	Elektrische Leistung in Stromkreisen .....	536
22.6	Zusammenfassung .....	541
22.7	Fragen .....	542

## 23

### Stromkreise

23.1	Unverzweigte Stromkreise .....	545
23.2	Verzweigte Stromkreise .....	554
23.3	Amperemeter und Voltmeter .....	558
23.4	RC-Kreise .....	559
23.5	Zusammenfassung .....	563
23.6	Fragen .....	564

## 24

### Magnetfelder

24.1	Magnetfelder und die Definition von $\vec{B}$ ...	567
24.2	Gekreuzte Felder: Die Entdeckung des Elektrons .....	572
24.3	Gekreuzte Felder: Der Hall-Effekt .....	574
24.4	Geladene Teilchen auf einer Kreisbahn ...	576
24.5	Zyklotron und Synchrotron .....	580
24.6	Die magnetische Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht .....	582
24.7	Das Drehmoment auf eine stromdurchflossene Drahtschleife .....	584
24.8	Das magnetische Dipolmoment .....	587
24.9	Zusammenfassung .....	589
24.10	Fragen .....	590

## 25

### Magnetfelder aufgrund von Strömen

25.1	Das Magnetfeld um einen Strom .....	593
25.2	Die Kraft zwischen parallelen Strömen ...	598
25.3	Das Ampèresche Gesetz .....	599
25.4	Zylinder- und Ringspulen .....	603
25.5	Eine stromführende Spule als magnetischer Dipol .....	606
25.6	Zusammenfassung .....	609
25.7	Fragen .....	609

## 26

### Induktion und Induktivität

26.1	Das Faradaysche Gesetz und die Lenzsche Regel .....	613
26.2	Induktion und Energietransfer .....	619
26.3	Induzierte elektrische Felder .....	622
26.4	Induktivität .....	625
26.5	Selbstinduktion .....	627
26.6	RL-Kreise .....	629
26.7	Energiespeicherung im Magnetfeld .....	632
26.8	Die Energiedichte eines Magnetfelds .....	634
26.9	Gegeninduktion .....	635
26.10	Zusammenfassung .....	637
26.11	Fragen .....	638

## 27

### Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom

27.1	LC-Schwingungen .....	641
27.2	Gedämpfte Schwingungen in einem RLC-Kreis .....	647
27.3	Erzwungene Schwingungen .....	649
27.4	Der Reihen-RLC-Kreis .....	657
27.5	Leistung in Wechselstromkreisen .....	662
27.6	Transformatoren .....	664
27.7	Zusammenfassung .....	668
27.8	Fragen .....	669

## 28

### Magnetismus und Materie

28.1	Der Gaußsche Satz für Magnetfelder .....	671
28.2	Induzierte magnetische Felder .....	673
28.3	Der Verschiebungsstrom und die Maxwell-Gleichungen .....	675
28.4	Magnete .....	678
28.5	Der Magnetismus von Elektronen .....	680
28.6	Diamagnetismus .....	687
28.7	Paramagnetismus .....	688
28.8	Ferromagnetismus .....	691
28.9	Zusammenfassung .....	694
28.10	Fragen .....	696

## 29

### Elektromagnetische Wellen

29.1	Elektromagnetische Wellen .....	699
29.2	Energietransport und Poynting-Vektor ...	707
29.3	Der Strahlungsdruck .....	710
29.4	Polarisation .....	712
29.5	Reflexion und Brechung .....	716
29.6	Totalreflexion .....	721
29.7	Polarisation durch Reflexion .....	723
29.8	Zusammenfassung .....	724
29.9	Fragen .....	726

### 3

#### Abbildungen

30.1	Bilder und ebene Spiegel	729
30.2	Kugelspiegel	733
30.3	Sphärische brechende Flächen	738
30.4	Dünne Linsen	740
30.5	Optische Instrumente	747
30.6	Drei Herleitungen	751
30.7	Zusammenfassung	753
30.8	Fragen	754

### 3

#### Interferenz

31.1	Licht als Welle	757
31.2	Beugung am Doppelspalt	761
31.3	Interferenz und Intensität	766
31.4	Interferenz an dünnen Schichten	770
31.5	Das Michelson-Interferometer	776
31.6	Zusammenfassung	777
31.7	Fragen	778

### 3

#### Beugung

32.1	Beugung am Einzelspalt	781
32.2	Intensitäten bei der Beugung am Einzelspalt	785
32.3	Beugung an einer kreisrunden Öffnung	789
32.4	Beugung am Doppelspalt	792
32.5	Beugungsgitter	795
32.6	Beugungsgitter: Dispersion und Auflösungsvermögen	799
32.7	Röntgenbeugung	801
32.8	Zusammenfassung	804
32.9	Fragen	805

### 3

#### Relativitätstheorie

33.1	Gleichzeitigkeit und Zeitdilatation	807
33.2	Die Relativität der Länge	816
33.3	Die Lorentz-Transformation	818
33.4	Die Relativität der Geschwindigkeiten	822
33.5	Der Doppler-Effekt für Lichtwellen	823
33.6	Impuls und Energie	827
33.7	Zusammenfassung	833
33.8	Fragen	834

### 3

#### Photonen und Materiewellen

34.1	Das Photon: Teilchen des Lichts	837
34.2	Der photoelektrische Effekt	839
34.3	Photonenimpuls, Compton- Verschiebung und Lichtinterferenz	842
34.4	Die Geburtsstunde der Quantenphysik	848

34.5	Elektronen und Materiewellen	850
34.6	Die Schrödinger-Gleichung	854
34.7	Die Heisenbergsche Unschärferelation	857
34.8	Reflexion an einer Potenzienschwelle	858
34.9	Der Tunneleffekt	860
34.10	Zusammenfassung	863
34.11	Fragen	865

### 3

#### Mehr über Materiewellen

35.1	Die Energie eines Elektrons in einer Elektronenfalle	867
35.2	Die Wellenfunktionen eines Elektrons in einem Kastenpotenzial	871
35.3	Das eindimensionale endliche Kastenpotenzial	875
35.4	Zwei- und dreidimensionale Elektronenfallen	876
35.5	Das Wasserstoffatom	880
35.6	Zusammenfassung	891
35.7	Fragen	892

### 3

#### Atome

36.1	Eigenschaften von Atomen	895
36.2	Das Stern-Gerlach-Experiment	901
36.3	Kernspinresonanz	904
36.4	Das Pauli-Prinzip	906
36.5	Der Aufbau des Periodensystems	908
36.6	Röntgenstrahlung	911
36.7	Laser	915
36.8	Zusammenfassung	920
36.9	Fragen	921

### 3

#### Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern

37.1	Die elektrischen Eigenschaften von Metallen	923
37.2	Halbleiter und Dotierung	930
37.3	pn-Übergänge und Transistoren	935
37.4	Zusammenfassung	943
37.5	Fragen	944

## Anhang

A	Das Internationale Einheitensystem (SI)	948
B	Astronomische Daten	951
C	Umrechnungsfaktoren	952
D	Mathematische Formeln	954
E	Eigenschaften der Elemente	959
F	Antworten auf die Kontrollfragen und Fragen	962
G	Stichwortverzeichnis	970