

Kenneth R. Atkins

Physik

**Die Grundlagen des
physikalischen Weltbildes**

Übersetzt und bearbeitet von
Hans-Werner Sichting

2., durchgesehene und
erweiterte Auflage



Walter de Gruyter · Berlin · New York 1986

Inhalt

1	Was vor uns liegt	
1–1	Die Beschreibung unserer Umwelt	1
1–2	Ist es wahr?	4
1–3	Klassische Physik und moderne Physik	6
1–4	Die Grenzen dieses Buches	8
Teil A Teilchen in Bewegung		
2	Eine mathematische Beschreibung des Universums	
2–1	Körper im Raum	13
2–2	Das Universum als Ansammlung von Teilchen	13
2–3	Bestimmung der Lage der Teilchen	17
2–4	Masse, Länge und Zeit	19
3	Vektoren	
3–1	Das Wesen eines Vektors	26
3–2	Darstellung eines Vektors	26
3–3	Addition von Vektoren	29
3–4	Zerlegung eines Vektors in zwei zueinander rechtwinklige Komponenten	32
3–5	Bestimmung des resultierenden Vektors aus seinen zwei rechtwinkligen Komponenten	34
3–6	Zerlegung eines Vektors in drei zueinander rechtwinklige Komponenten	35
4	Bewegung entlang einer geraden Linie	
4–1	Geschwindigkeit entlang einer geraden Linie	41
4–2	Beschleunigung entlang einer geraden Linie	47
4–3	Geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung	49
4–4	Ein frei fallender Körper	52
5	Bewegung entlang einer gekrümmten Bahn	
5–1	Geschwindigkeit entlang einer gekrümmten Bahn	61
5–2	Beschleunigung entlang einer gekrümmten Bahn	62
5–3	Gleichförmige Kreisbewegung	63
5–4	Beschleunigung eines Körpers bei der gleichförmigen Kreisbewegung	66

XII Inhalt

5–5	Der horizontale Wurf	69
5–6	Der schiefe Wurf	72
Teil B Newtonsche Mechanik		
6	Die Bewegungsgesetze	
6–1	Das erste Newtonsche Bewegungsgesetz	81
6–2	Wechselwirkungen und Determinismus	82
6–3	Gravitation und schwere Masse	84
6–4	Elektromagnetismus und träge Masse	86
6–5	Kraft: Das zweite Newtonsche Gesetz	88
6–6	Das dritte Newtonsche Bewegungsgesetz	90
6–7	Interatomare Kräfte	93
6–8	Der intuitive Begriff von Masse	94
7	Einige Illustrationen zu den Bewegungsgesetzen	
7–1	Die Schwerkraft der Erde: Gewicht und Masse	100
7–2	Ein fallendes Buch und ein auf einem Tisch liegendes Buch	104
7–3	Ein sich beschleunigender Fahrstuhl: Scheinbares Gewicht	107
7–4	Ein Traktor, der einen Baumstamm zieht	109
7–5	Ein Satellit auf seiner Umlaufbahn	112
8	Impuls	
8–1	Impuls und Kraft	120
8–2	Die Impulserhaltung	121
8–3	Einfache Zusammenstöße	123
8–4	Etwas kompliziertere Zusammenstöße	126
8–5	Raketen	131
9	Energie	
9–1	Das Wesen der Energie	139
9–2	Kinetische Energie	140
9–3	Potentielle Gravitationsenergie	140
9–4	Energieerhaltung bei einem Teilchenpaar	141
9–5	Energieerhaltung bei einem Vielkörpersystem	147
9–6	Arbeit	149
9–7	Ein Körper in Nähe der Erdoberfläche	153
10	Rotation	
10–1	Das Drehmoment eines Kräftepaars	162
10–2	Rotation eines starren Körpers um eine feste Achse	163
10–3	Das Trägheitsmoment	166
10–4	Die kinetische Energie eines rotierenden Körpers	167
10–5	Der Drehimpuls	169
10–6	Rotation im Universum	178

10–7 Die Präzession eines Kreisels.....	182
10–8 Die Analogie zwischen der Rotation und der linearen Bewegung	186

Teil C Atome und Wärme

11 Das ideale, einatomige Gas	
11–1 Atome und Chemie	193
11–2 Versuche, Atome sichtbar zu machen	195
11–3 Atommassen und Loschmidt'sche Zahl	200
11–4 Das ideale, einatomige Gas	203
11–5 Die innere Energie eines idealen, einatomigen Gases	204
11–6 Der Druck eines idealen, einatomigen Gases	206
11–7 Die ideale Gasgleichung	211
11–8 Reale Gase	213
11–9 Temperaturen im Universum	217
12 Das Wesen der Wärme	
12–1 Durchschnittseigenschaften einer großen Anzahl von Atomen	226
12–2 Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik und der Temperaturbegriff	227
12–3 Fluktuationen	229
12–4 Temperatur	231
12–5 Wärme, Energie und Arbeit	233
12–6 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	238
12–7 Ordnung und Unordnung	240
12–8 Entropie; der zweite und dritte Hauptsatz der Thermodynamik	243
12–9 Die Richtung der Zeit und das Schicksal des Universums	247

Teil D Elektrizität und Magnetismus: Teilchen und Felder

13 Stationäre elektrische Ladungen	
13–1 Elektrizität	255
13–2 Das Coulombsche Gesetz	258
13–3 Die relativen Größenordnungen von Gravitationskräften und elektrostatischen Kräften	262
13–4 Elektrostatische potentielle Energie	267
14 Der Begriff des Feldes	
14–1 Ein neuer Blick auf das Universum	273
14–2 Die Analogie zu einem fließenden Strom	276
14–3 Das Gravitationsfeld	277
14–4 Das Gravitationspotential in einem Punkt	281
14–5 Das elektrische Feld	285
14–6 Das elektrische Potential	291
15 Elektrischer Strom	
15–1 Elektrische Ströme und Batterien	302

XIV Inhalt

15–2	Die quantitative Definition des elektrischen Stroms	305
15–3	Das Ohmsche Gesetz	307
15–4	Joulesche Wärme	309
15–5	Elektronen im Vakuum: Das Elektronenvolt	313
16	Sich bewegende Ladungen	
16–1	Kräfte zwischen sich bewegenden Ladungen	320
16–2	Das Feld der magnetischen Induktion einer sich bewegenden Ladung	323
16–3	Die Kraft auf eine sich im Magnetfeld bewegende Ladung	328
17	Magnetismus	
17–1	Magnetische Induktionsfelder infolge elektrischer Ströme	344
17–2	Die Kraft auf einen Strom in einem magnetischen Induktionsfeld . .	350
17–3	Die Definition des Ampere	353
17–4	Stromschleifen	354
17–5	Magnetische Stoffe	359
18	Zeitlich veränderliche Felder	
18–1	Sich ändernde Induktionsfelder	370
18–2	Das Faradaysche Gesetz der elektromagnetischen Induktion . . .	372
18–3	Die Lenzsche Regel	375
18–4	Stromkreise, die sich in einem stationären Induktionsfeld bewegen	379
18–5	Sich ändernde elektrische Felder	386
18–6	Die Maxwellsschen Gleichungen	390
18–7	Eine neue Einstellung und ein neuer Begriff	394

Teil E Wellen

19	Das Wesen von Wellen	
19–1	Die einfache harmonische Bewegung	405
19–2	Wellen als Kommunikationsmittel	411
19–3	Transversale Wellen	413
19–4	Longitudinale Wellen: Schall	415
20	Elektromagnetische Wellen	
20–1	Das Wesen einer elektromagnetischen Welle	424
20–2	Die Lichtgeschwindigkeit	426
20–3	Die verschiedenen Arten von elektromagnetischen Wellen	429
20–4	Energie und Impuls der elektromagnetischen Strahlung	434
21	Charakteristisches Verhalten von Wellen	
21–1	Durchgang einer Welle durch einen sehr engen Spalt	442
21–2	Durchgang einer Welle durch einen Doppelspalt: Interferenz . . .	447
21–3	Theorie des Doppelspaltexperiments	450

21–4	Durchgang einer Welle durch einen einzelnen Spalt beliebiger Breite: Beugung	456
21–5	Beugung und geradlinige Ausbreitung	462
21–6	Reflexion und Brechung	465
Teil F Relativitätstheorie		
22	Das Problem und seine Lösung	
22–1	Kommunikation zwischen verschiedenen Teilen des Universums	475
22–2	Zeit an entfernten Orten	477
22–3	Das Experiment von Michelson und Morley	479
22–4	Weitere Beweisstücke	483
22–5	Einstiens Lösung des Problems	486
22–6	Bezugssysteme	489
23	Zeit und Raum	
23–1	Vorurteile und Beobachtungen	499
23–2	Weiteres Vorgehen	501
23–3	Sich bewegende Uhren	506
23–4	Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft	513
23–5	Längenkontraktion eines sich bewegenden Gegenstandes	517
24	Relativistische Mechanik	
24–1	Die Addition von Geschwindigkeiten	528
24–2	Masse	534
24–3	Impuls und Kraft	536
24–4	Masse und Energie	537
25	Die allgemeine Relativitätstheorie	
25–1	Beschleunigte Bezugssysteme	545
25–2	Das Machsche Prinzip und die Bestätigung der Relativitätstheorie	549
25–3	Das Äquivalenzprinzip	553
25–4	Ablenkung eines Lichtstrahles	556
25–5	Nichteuklidische Geometrie	557
25–6	Die Gravitationsrotverschiebung	560
25–7	Schwarze Löcher	566
25–8	Der Radar-Test	569
25–9	Die Periheldrehung des Merkur	571
25–10	Das Zwillingsparadoxon	572
Teil G Quantenmechanik		
26	Die Geburt einer Revolution	
26–1	Ein Dilemma	579
26–2	Die Plancksche Quantentheorie der Strahlung eines schwarzen Körpers	581

XVI Inhalt

26–3	Hohlraumstrahlung als ein Photonengas	585
26–4	Der photoelektrische Effekt	587
26–5	Das kontinuierliche Röntgenspektrum	591
27	Teilchen und Wellen	
27–1	Der Compton-Effekt	596
27–2	Der Impuls eines Photons	598
27–3	Die Wellennatur der Materie	600
27–4	Die Verknüpfungsgleichungen zwischen Welleneigenschaften und Teilcheneigenschaften	602
28	Wahrscheinlichkeit und Unbestimmtheit	
28–1	Die Zusammenführung des Wellen- und des Teilchenstandpunktes	611
28–2	Die Rolle der Wahrscheinlichkeit	613
28–3	Die philosophischen Implikationen	616
28–4	Heisenbergs Unschärferelation	618
28–5	Ein Festkörper bei 0K	623
28–6	Lokalisierung eines Elektrons mit Hilfe eines Mikroskops	627
28–7	Wellenpakete	632
28–8	Die Heisenbergsche Unschärferelation für Energie und Zeit	636
29	Das Wesen eines Atoms	
29–1	Die Bohrsche Atomtheorie	640
29–2	Wahrscheinlichkeitswolken	645
29–3	Die physikalische Bedeutung der Quantenzahlen	649
29–4	Der Spin	652
29–5	Magnetische Eigenschaften eines Atoms	656
29–6	Das Paulische Ausschließungs-Prinzip und die Nichtunterscheidbarkeit	659
29–7	Das Periodensystem	660

Teil H Die Suche nach den elementarsten Bestandteilen

30	Der Kern	
30–1	Einige grundlegende Eigenschaften von Kernen	671
30–2	Kernkräfte	672
30–3	Der Massendefekt	675
30–4	Die Stabilität der Kerne	681
31	Kernumwandlungen	
31–1	Kernreaktion	689
31–2	Kernspaltung	692
31–3	Kernverschmelzung	697
31–4	Energie im Universum	700
31–5	Der Alpha-Zerfall	706
31–6	Die Halbwertszeit und das Wesen des radioaktiven Zerfalls	711

31–7	γ -Strahlen	713
32	Vielfalt von Teilchen und Prozessen	
32–1	Der β -Zerfall	717
32–2	Das Neutrino	720
32–3	Das Positron	724
32–4	Antimaterie	727
32–5	Die Klassifizierung der bekannten Elementarteilchen	731
32–6	Leptonen	733
32–7	Mesonen	734
32–8	Baryonen	739
33	Ausblicke	
33–1	Kräfte, Wechselwirkungen und Fundamentalprozesse	747
33–2	Kernkräfte	749
33–3	Das Wesen eines Nukleons	751
33–4	Bewegtes Chaos	752
33–5	Arten der Wechselwirkung	754
33–6	Strangeness oder Seltsamkeit	756
33–7	Isospin	757
33–8	Ein bißchen mehr Ordnung	761
34	Symmetrie	
34–1	Symmetrie und Erhaltungssätze	763
34–2	Eine Zusammenstellung von Symmetrieprinzipien und Erhaltungssätzen	766
34–3	Eingeschränkte Symmetrien	769
34–4	C, P und T	776

Mathematischer Anhang

A	Algebra	
A1	Grundlagen	781
A2	Negative Zahlen	783
A3	Exponenten	785
A4	Zehnerpotenzen	788
A5	Signifikante Stellen	792
A6	Algebraische Verfahren	794
A7	Näherungswerte	798
A8	Unendlich	803
B	Geometrie	
B1	Dreiecke	806
B2	Rechtwinklige Dreiecke und der Satz des Pythagoras	808
B3	Kreise	810
B4	Räumliche Geometrie	811

XVIII Inhalt

C Trigonometrie	
C1 Die Bedeutung von Sinus, Cosinus und Tangens	811
C2 Einfache Beziehungen zwischen trigonometrischen Funktionen	813
C3 Einige spezielle Winkel	815
C4 Winkel, die größer als 90° sind	818
D Größen, Einheiten und Einheitensysteme	
D1 Physikalische Größen und Größengleichungen	821
D2 Grundgrößen und abgeleitete Größen	824
D3 Das Internationale Einheitensystem (SI-System)	825
D4 Das CGS-System	827
E Lösungen der Aufgaben aus dem mathematischen Anhang	833

Tabellen

I Das griechische Alphabet	835
II Die Elemente	836
III Die metastabilen Elementarteilchen	838
IV Quantenzahlen der metastabilen Elementarteilchen	839
V Logarithmen zur Basis 10	840
VI Dreistellige Tabelle der Sinus-, Cosinus-, Tangens- und Cotangens-Funktionen	842
VII Periodensystem	844
VIII Dezimale Vorsatzsilben und Vorsatzzeichen	845
(a) Dezimale Vielfache	845
(b) Dezimale Teile	845
IX SI-Größen und Einheiten	846
 Vektorkodierung und Feldlinien	849
Lösungen der ungeradzahligen Aufgaben	850
Sachregister	861