

Kenneth R. Atkins
Physik

**Die Grundlagen des
physikalischen Weltbildes**

Übersetzt und bearbeitet von
Hans-Werner Sicking

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 Kräftepaares	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 Kreisel	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 Loschmidtsche 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 Maxwellschen 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	Einsteins 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 Nichtunter- scheidbarkeit	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