

LEHRBUCH
DER THEORETISCHEN PHYSIK

VON

DR. PHIL. DR. H. C. SIEGFRIED FLÜGGE
ORDENTLICHER PROFESSOR
AN DER UNIVERSITÄT FREIBURG/BREISGAU

IN FÜNF BÄNDEN

BAND II · KLASSISCHE PHYSIK I
MECHANIK GEORDNETER
UND UNGEORDNETER BEWEGUNGEN

MIT 64 ABBILDUNGEN



SPRINGER-VERLAG
BERLIN · HEIDELBERG · NEW YORK
1967

ISBN 978-3-642-49232-7
DOI 10.1007/978-3-642-49231-0

ISBN 978-3-642-49231-0 (eBook)

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen. © by Springer-Verlag Berlin-Heidelberg 1967. Library of Congress Catalog Card Number 62-1712.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1967

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen

Titel Nr. 0243

Vorwort

Mit dem vorliegenden zweiten Band des Gesamtwerks schlieÙe ich die noch bestehende Lücke in der Darstellung der klassischen Physik. Es bleibt nunmehr nur der fünfte Band, der die Quantentheorie der Felder zum Gegenstand haben soll.

Die Prinzipien, auf denen das Gesamtwerk aufgebaut ist, habe ich in den Vorworten der früher erschienenen Bände eingehend dargelegt, so daß es ihrer Wiederholung hier nicht mehr bedarf. Auch im vorliegenden Band ist manches Altgewohnte weggelassen und manches andere, das im normalen Lehrbuchstoff nicht oder nur am Rande auftritt, hinzugefügt worden. Die Vorbereitung der Atomphysik ist in der etwas breiteren Ausführung der linearen Kette als Anwendungsbeispiel für die Konstruktion von Normalkoordinaten, in der Darstellung der Poisson-Klammern, in der Behandlung des schwingenden Tropfens, besonders aber in den Ausführungen des statistischen Kapitels stark in den Vordergrund gerückt. Die mathematische Ähnlichkeit von Problemen der Kontinuumsmechanik zu solchen der im dritten Band behandelten elektromagnetischen Erscheinungen ist durch eine große Zahl von Hinweisen betont. Sie mag auch den kleinen Abschnitt über Erdbebenwellen rechtfertigen. Die klassische Thermodynamik ist hinter die Statistik gesetzt, weil dies ein besseres physikalisches Verständnis und eine Eingliederung in die Gesamtphysik erlaubt, in der die Thermodynamik sonst leicht als Fremdkörper verbleibt, den man im Unterricht nur zu gern dem Physikochemiker überläßt. Die für die Kreisprozesse eingeführten Blockdiagramme scheinen mir das Verständnis zu erleichtern — jedenfalls habe ich mir selbst vor Jahrzehnten die Vorgänge auf diesem Wege klar gemacht.

Der Wunsch, die Atomphysik vorzubereiten, tritt noch stärker hervor als im dritten Band. Der systematische Aufbau der klassischen Physik wird dadurch gewiß unterbrochen, besonders bei der Statistik. Dies entspricht aber, wie mir scheint, durchaus der wirklichen Lage: Wir denken heute bei jeder klassischen Betrachtung ihre quantentheoretische Begrenztheit und Bedingtheit stets mehr oder weniger deutlich mit. Es wäre daher wohl keine gute Pädagogik, wollte man den Studenten erst ganz in klassischen Betrachtungen aufziehen und ihm dann in mittleren Semestern einen quantentheoretischen Schock versetzen. Davon abgesehen, scheint mir aber auch generell ein Übermaß an Systematik

angesichts der vielfachen Verzweigtheit der Physik wenig angemessen. R. W. POHL beginnt den ersten Band seiner bekannten Lehrbücher mit dem Satz: „Die physikalischen Erkenntnisse lassen sich nicht wie die Perlen einer Kette in einer einzigen Reihe anordnen, sie fügen sich zu einem ausgedehnten Netzwerk zusammen.“ Ich muß bekennen, daß ich gerade hierin ein gutes Stück des Reizes der Physik, aber auch der Schwierigkeiten ihrer Darstellung sehe.

Freiburg, im Juli 1967

Der Verfasser

Inhaltsverzeichnis

I. Mechanik eines Systems von Massenpunkten	1
§ 1. Grundbegriffe	1
a) Schwerpunkt. Impuls	2
b) Kinetische Energie. Leistung	4
c) Drehimpuls. Drehmoment	5
d) Abgeschlossenes System. Erhaltungssätze	7
§ 2. Massenpunktsystem mit Nebenbedingungen (Lagrangesche Gleichungen erster Art)	11
a) Pendel. Atwoodsche Fallmaschine	12
b) Bewegung eines Massenpunktes auf einer Fläche	14
c) Systeme aus mehreren Massenpunkten mit Nebenbedingungen	19
d) Vorläufiges über starre Körper	22
§ 3. Rotierendes Koordinatensystem	27
a) Massenpunkt in einem um die z -Achse rotierenden Koordinatensystem	28
b) Vektorielle Behandlung bei beliebiger Orientierung der Rotationsachse	30
c) Bewegungen auf der rotierenden Erdkugel	32
d) Foucaultsches Pendel	37
§ 4. Mechanik des starren Körpers	38
a) Drehung um eine feste Achse	39
b) Kräftefreie Bewegung eines starren Körpers um einen festen Punkt	44
§ 5. Lagrangesche Gleichungen zweiter Art	51
a) Das d'Alembertsche Prinzip	52
b) Einführung geeigneter Koordinaten	54
c) Beispiele	56
d) Potentielle Energie. Lagrangefunktion	59
e) Das Hamiltonsche Variationsprinzip	61
f) Das Zykloidenpendel als Beispiel	63
g) Das Kugelpendel als Beispiel	66
§ 6. Die kanonischen Gleichungen	68
a) Generalisierte Impulse. Kanonische Gleichungen	68
b) Beispiele zu den kanonischen Gleichungen	71
§ 7. Kanonische Transformationen	76
a) Allgemeine Theorie	76
b) Anwendungsbeispiele	80
§ 8. Kanonische Punkttransformationen. Normalkoordinaten	84
a) Allgemeine Theorie	84
b) Die lineare Kette als Beispiel	86
§ 9. Kanonische Invarianten	94
a) Die kanonische Gruppe	94
b) Die Poisson-Klammern	98

c)	Behandlung einer Zentralkraft mit Hilfe der Poisson-Klammern	101
d)	Die kanonische Invarianz der Poisson-Klammern	104
II.	Mechanik der Kontinua	106
§ 10.	Deformationstensor und Spannungstensor	106
a)	Der Deformationszustand	106
b)	Der Spannungszustand	109
c)	Das allgemeine Hookesche Gesetz	111
d)	Elastische Konstanten eines isotropen Materials	113
e)	Elastische Konstanten des kubischen Gitters	117
§ 11.	Statik und Dynamik elastischer Körper	119
a)	Kräfte und Momente. Gleichgewicht	119
b)	Formänderungsarbeit	121
c)	Dynamik elastischer Körper	124
§ 12.	Elastische Wellen	127
a)	Longitudinale und transversale Wellen	127
b)	Randbedingungen an einer freien Oberfläche	129
c)	Oberflächenwellen	133
d)	Erdbebenwellen	136
§ 13.	Feldtheoretische Formulierung der Elastizitätstheorie	140
a)	Hamiltonsches Prinzip. Feldgleichungen	140
b)	Hamiltonfunktion. Kanonische Gleichungen. Energiesatz	143
§ 14.	Hydrodynamik zäher Flüssigkeiten	146
a)	Allgemeine Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik	146
b)	Die Navier-Stokessche Gleichung	149
c)	Die Widerstandsformel von Stokes	153
§ 15.	Hydrodynamik vollkommener Flüssigkeiten	159
a)	Allgemeine Theorie. Eulersche Gleichung	159
b)	Potentialströmung	162
c)	Zweidimensionale Potentialströmung	166
§ 16.	Freie Flüssigkeitsoberflächen	173
a)	Randbedingungen	173
b)	Wellen auf einer horizontalen Wasserfläche	174
c)	Schwingender Tropfen	178
§ 17.	Erweiterungen des Hookeschen Gesetzes	182
III.	Einführung in die statistische Methode	187
§ 18.	Makro- und Mikrozustände. Wahrscheinlichkeit eines Makrozustandes	187
§ 19.	Entropie. Stirlingsche Formel	189
§ 20.	Ideales Gas	194
a)	Gleichgewichtszustand	194
b)	Schwankungen um den Mittelwert	202
c)	Freie Weglänge. Transporterscheinungen	205
§ 21.	Ideales Gas aus zweiatomigen Molekülen	215
a)	Vibrationswärme	217
b)	Rotationswärme	219
§ 22.	Hohlraumstrahlung	223
a)	Klassische Entropie	223
b)	Quantentheorie	228

§ 23. Spezifische Wärme fester Körper	233
§ 24. Übergangswahrscheinlichkeiten. H-Theorem	240
§ 25. Die Boltzmannsche Stoßgleichung	243
§ 26. Aufbau der kinetischen Gastheorie auf die Boltzmann-Gleichung	249
§ 27. Abweichungen vom Gleichgewicht. Die erste Näherung von CHAP- MAN und ENSKOG	260
§ 28. Die Metallelektronen als Gas	266
§ 29. Grundlagen der Quantenstatistik	271
a) Grundlagen der Bose-Einstein-Statistik	271
b) Grundlagen der Fermi-Dirac-Statistik	275
c) Methode der Übergangswahrscheinlichkeiten	277
§ 30. Quantenstatistik einatomiger Gase	280
a) Allgemeines Formelschema	280
b) Hohe Temperaturen	282
c) Tiefe Temperaturen.	286
IV. Klassische Thermodynamik	291
§ 31. Der erste Hauptsatz (Energiesatz)	293
a) Innere Energie. Arbeit. Enthalpie	293
b) Kreisprozeß. Wärmekraftmaschine	295
c) Isotherm-isochorer Kreisprozeß. Irreversibilität	297
d) Spezifische Wärme. Adiabatischer Prozeß	300
e) Der Carnotsche Kreisprozeß	302
§ 32. Der zweite Hauptsatz (Entropiesatz)	305
a) Formulierung des zweiten Hauptsatzes	305
b) Die Kelvinsche absolute Temperaturskala	307
c) Entropie	308
§ 33. Anwendungen des zweiten Hauptsatzes.	314
a) Spezifische Wärmen	314
b) Thermodynamische Potentiale	317
c) Einfache Beispiele	320
§ 34. Das van der Waalssche Modell der reellen Gase	323
a) Die Zustandsgleichung	323
b) Thermodynamische Beziehungen	329
c) Joule-Thomson-Effekt	331
§ 35. Gasmischung	333
a) Reversible Gasmischung.	333
b) Irreversible Gasmischung	337
§ 36. Phasenumwandlungen	339
a) Allgemeine Theorie	339
b) Gleichgewicht zweier Phasen. Clausius-Clapeyronsche Gleichung	341
c) Beispiele: Verdampfen und Schmelzen	344
d) Phasenumwandlungen zweiter Ordnung	348
§ 37. Thermochemie	350
a) Reaktionsgleichgewicht	350
b) Die Gleichgewichtskonstante	354
c) Berechnung der Gleichgewichtskonstanten	357
d) Durchführung eines Beispiels	362
Sachverzeichnis	366