

Anhang A 1 Komplexe Zahlen; Beschreibung der ebenen Welle

a) Komplexe Zahlen

Komplexe Zahlen werden in der Quantenmechanik außerordentlich häufig gebraucht. Daher seien einige Grundformeln hier zusammengestellt. Komplexe Zahlen lassen sich als Vektoren in der Gaußschen Zahlenebene darstellen (s. Fig. 133). Eine komplexe Zahl z ist gegeben durch

$$\begin{aligned} z &= a + ib, \\ a &= \operatorname{Re} z, \quad b = \operatorname{Im} z. \end{aligned} \quad (\text{A 1.1})$$

Die konjugiert komplexe Zahl z^* ist definiert durch

$$z^* = a - ib. \quad (\text{A 1.2})$$

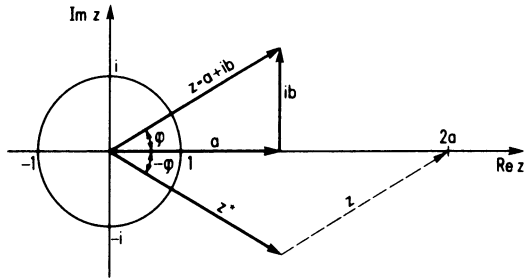


Fig. 133 Komplexe Zahlenebene

Die Länge des Vektors in der Zahlenebene heißt **B e t r a g** der komplexen Zahl. Aus der Figur ergibt sich

$$|z|^2 = a^2 + b^2.$$

Es ist daher

$$|z|^2 = zz^* = (a + ib)(a - ib) = a^2 + b^2 \quad (\text{A 1.3})$$

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2} \equiv r. \quad (\text{A 1.4})$$

Wir haben für die Länge des Vektors hier zusätzlich die Bezeichnung r eingeführt. Weiter gilt offenbar

$$z + z^* = 2a, \quad z - z^* = 2ib. \quad (\text{A 1.5})$$

Wichtig ist der Zusammenhang mit den trigonometrischen Funktionen. Vergleich der Reihenentwicklungen

$$e^\varphi = 1 + \varphi + \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^3}{3!} + \dots \quad (\text{A 1.6})$$

$$\cos \varphi = 1 - \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^4}{4!} - \dots \quad (\text{A 1.7})$$

$$\sin \varphi = \varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!} - \dots \quad (\text{A 1.8})$$

zeigt, daß gilt

$$\begin{aligned} e^{i\varphi} &= \cos \varphi + i \sin \varphi \\ e^{-i\varphi} &= \cos \varphi - i \sin \varphi. \end{aligned} \tag{A 1.9}$$

Daher läßt sich z darstellen als

$$z = r(\cos \varphi + i \sin \varphi) = r e^{i\varphi}, \tag{A 1.10}$$

da nach Figur a $a = r \cos \varphi$ und $b = r \sin \varphi$ ist. Für z^* gilt

$$z^* = r(\cos \varphi - i \sin \varphi) = r e^{-i\varphi} \tag{A 1.11}$$

Natürlich ist wieder

$$|z|^2 = z z^* = r^2 e^{i\varphi} e^{-i\varphi} = r^2.$$

Aus (A 1.9) ergeben sich unmittelbar die wichtigen Eulerschen Formeln

$$\cos \varphi = \frac{1}{2} (e^{i\varphi} + e^{-i\varphi}), \quad \sin \varphi = \frac{1}{2i} (e^{i\varphi} - e^{-i\varphi}). \tag{A 1.12}$$

Durch Einsetzen der entsprechenden Werte für φ ergeben sich weiter aus (A 1.9) Ausdrücke der Art

$$e^{i\pi} = -1, \quad e^{2i\pi} = 1, \quad e^{\frac{i\pi}{2}} = i, \quad e^{\frac{3i\pi}{2}} = -i \text{ usw.} \tag{A 1.13}$$

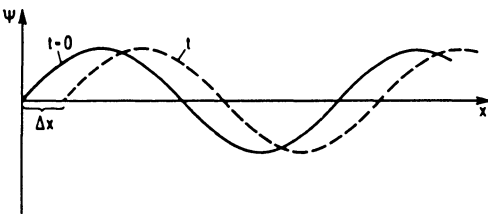
Die Bildung des Betrages von Größen, die reelle und komplexe Anteile enthalten, erfolgt sinngemäß. Z. B. ist

$$|1 - z|^2 = (1 - a - ib)(1 - a + ib) = 1 - 2a + a^2 + b^2 = 1 - 2 \operatorname{Re} z + |z|^2. \tag{A 1.14}$$

b) Beschreibung der ebenen Welle

Die durchgezogene Kurve in Fig. 134 stellt die „Momentaufnahme“ einer Wellenbewegung zu einer Zeit $t=0$ dar. Die Amplitude ändert sich periodisch mit der Ortskoordinate x . Es gilt

$$\psi(x) = A \cos \frac{2\pi}{\lambda} x = A \cos kx = A \operatorname{Re} e^{ikx} \tag{A 1.15}$$



mit der Wellenzahl

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \tag{A 1.16}$$

Fig. 134 Fortschreitende ebene Welle

Zu einem späteren Zeitpunkt t sei die Welle in x -Richtung um Δx fortgeschritten (gestrichelt in Fig. 134. Jetzt soll $\psi(x, t)$ von Orts- und Zeitkoordinate abhängen. Für $t = 0$ war

$$\psi(x, 0) = A \cos kx.$$

Wie die Figur zeigt, gilt für $\psi(x, t)$ dann

$$\psi(x, t) = \psi(x - \Delta x, 0) = A \cos k(x - \Delta x) = A \cos k(x - v_\varphi t), \quad (\text{A 1.17})$$

worin
$$v_\varphi = \frac{\Delta x}{t} \quad (\text{A 1.18})$$

gesetzt wurde. Die Geschwindigkeit v_φ , mit der die Welle fortschreitet, heißt *Phase*-*geschwindigkeit*. Da

$$v_\varphi = \lambda \nu = \frac{\lambda}{T} \quad (T \text{ Schwingungsdauer}) \quad (\text{A 1.19})$$

ist, gilt

$$k v_\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{T} = \omega \quad v_\varphi = \frac{\omega}{k}, \quad (\text{A 1.20})$$

so daß wir schreiben können

$$\psi(x, t) = A \cos(kx - \omega t) = \text{Re } e^{i(kx - \omega t)}. \quad (\text{A 1.21})$$

Als Lösung von Wellengleichungen erhält man oft $\psi \sim \exp i(kx - \omega t)$, so daß die Beschränkung auf den Realteil entfällt.

Das Ergebnis läßt sich leicht auf eine räumliche ebene Welle in drei Dimensionen verallgemeinern.

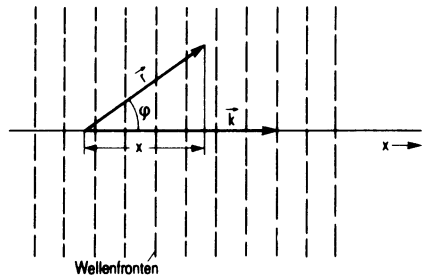


Fig. 135
Zur räumlichen ebenen Welle

Wir führen den Wellenvektor \vec{k} ein, der in Richtung der Normalen zur Wellenfront stehe und die Länge k habe. Wie Fig. 135, bei der wir \vec{k} in x -Richtung gelegt haben, zeigt, gilt für einen beliebigen Punkt der Wellenfront beim Radiusvektor \vec{r}

$$\vec{k} \cdot \vec{r} = kr \cos \varphi = kr \frac{x}{r} = kx.$$

Statt (A 1.21) können wir daher schreiben

$$\psi(\vec{r}, t) = A e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}. \quad (\text{A 1.22})$$

Anhang A 2 Vergleich verschiedener Darstellungsformen quantenmechanischer Größen

In diesem Buch wird für quantenmechanische Größen hauptsächlich die Schreibweise mit Wellenfunktionen $\psi(x, t)$ benutzt. Daneben ist jedoch auch die Schreibweise mit Zustandsvektoren $|\psi\rangle$ üblich. Diese Darstellung soll anhand von Tab. 7 erläutert werden.

Tab. 7

a Wellenfunktionen	b gewöhnliche Vektoren	c Quantenmechanische Zustandsvektoren
1 $\psi(x) = \sum_{\lambda} a_{\lambda} u_{\lambda}(x)$	$\vec{A} = \sum_{\lambda} a_{\lambda} \vec{e}_{\lambda}$	
2 $a_{\lambda} = \int u_{\lambda}^* \psi dx$	$a_{\lambda} = \vec{e}_{\lambda} \cdot \vec{A}$	$a_{\lambda} = \langle u_{\lambda} \psi \rangle$
3 $\psi = \sum_{\lambda} u_{\lambda} \int u_{\lambda}^* \psi dx$	$\vec{A} = \sum_{\lambda} \vec{e}_{\lambda} (\vec{e}_{\lambda} \cdot \vec{A})$	$\psi = \sum_{\lambda} u_{\lambda} \langle u_{\lambda} \psi \rangle$
$\int \phi^* \psi dx =$ 4 $\int (\sum_{\lambda} b_{\lambda} u_{\lambda})^* (\sum_{\mu} a_{\mu} u_{\mu}) dx$ $= \sum_{\lambda} b_{\lambda}^* a_{\lambda}$	$\vec{B} \cdot \vec{A} =$ $\sum_{\lambda} (\vec{B} \cdot \vec{e}_{\lambda}) (\vec{e}_{\lambda} \cdot \vec{A})$ $= \sum_{\lambda} b_{\lambda} a_{\lambda}$	$\langle \phi \psi \rangle =$ $\sum_{\lambda} \langle \phi u_{\lambda} \rangle \langle u_{\lambda} \psi \rangle$ $= \sum_{\lambda} b_{\lambda}^* a_{\lambda}$
5	$\vec{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ $\vec{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ $\vec{A} \cdot \vec{B} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n$	$ \psi\rangle = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix}$ $\langle \psi = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*)$ $\langle \phi = (b_1^*, b_2^*, \dots, b_n^*)$ $\langle \phi \psi \rangle = b_1^* a_1 + b_2^* a_2 + \dots + b_n^* a_n$
6	$\vec{A} = \sum_{\lambda} \vec{e}_{\lambda} (\vec{e}_{\lambda} \cdot \vec{A})$	$ \psi\rangle = \sum_{\lambda} u_{\lambda}\rangle \langle u_{\lambda} \psi \rangle$ $= \sum_{\lambda} u_{\lambda}\rangle a_{\lambda}$
7 $\int u_{\lambda}^* u_{\mu} dx = \delta_{\lambda\mu}$	$\vec{e}_{\lambda} \cdot \vec{e}_{\mu} = \delta_{\lambda\mu}$	$\langle u_{\lambda} u_{\mu} \rangle = \delta_{\lambda\mu}$

Dabei vergleichen wir Wellenfunktionen (Spalte a) mit gewöhnlichen Vektoren (Spalte b) und quantenmechanischen Zustandsvektoren (Spalte c). Wir gehen aus vom Entwicklungssatz (2.76), der unter 1a in der Tabelle aufgeführt ist. Unter 1b ist ein gewöhnlicher Vektor \vec{A} als Summe seiner Komponenten unter Benutzung der Einheitsvektoren \vec{e}_{λ} angeschrieben. Offensichtlich haben die Koeffizienten a_{λ} in beiden Fällen ähnliche Bedeutung. Sie charakterisieren die Zerlegung einer Größe in ihre Komponenten. Beim Vektor \vec{A} sind die a_{λ} reelle Zahlen und die \vec{e}_{λ} Basisvektoren. Bei ψ sind dagegen die a_{λ} komplex und an Stelle der Basisvektoren treten die Basisfunktionen u_{λ} . In 2a steht der

Ausdruck (2.77) für die quantenmechanischen a_λ , daneben unter 2b der analoge Vektorausdruck. Unter 2c findet sich die durch Definition eingeführte Kurzschreibweise für den Ausdruck 2a (vgl. Gl. 2.79). Eintragen von a_λ aus Zeile 2 in die jeweiligen Gleichungen von Zeile 1 liefert Zeile 3. Der Ausdruck in der Schreibweise 3c zeigt deutlich eine zu 3b analoge Struktur. Wir bilden nun in 4a das Skalarprodukt von ψ mit einer zweiten Wellenfunktion ϕ , die nach den gleichen Basisfunktionen mit Koeffizienten b_λ entwickelt sei, also $\phi = \sum b_\lambda u_\lambda$. Das Resultat, das sich unter Beachtung der Orthogonalität ergibt, ist bei der Kurzschreibweise unter 4c wiederholt. Es ist mit dem Vektorausdruck 4b zu vergleichen. Der Unterschied besteht hauptsächlich darin, daß beim quantenmechanischen Skalarprodukt die konjugiert komplexen Koeffizienten b^* auftreten. Wir können aber leicht 2 Vektorgrößen $|\psi\rangle$ und $\langle\phi|$ in der unter 5c gezeigten Art definieren, die, nach den Regeln der Matrixmultiplikation miteinander multipliziert, das richtige quantenmechanische Skalarprodukt ergeben. Es ist $|\psi\rangle$ ein Spaltenvektor, der die Entwicklungskoeffizienten a_λ nach der Basis u_λ enthält. Daneben werden Zeilenvektoren $\langle\psi|$ benötigt mit den konjugiert komplexen Komponenten. Bei dieser von Dirac eingeführten Notation bezeichnet man oft die Größen $\langle\psi|$ als **B r a - V e k t o r e n** und die Größen $|\psi\rangle$ als **K e t - V e k t o r e n**. Dies ist vom englischen Wort **Bra**-cket (Klammer) abgeleitet. Die Vektorschreibweise kommt dem mathematischen Charakter der quantenmechanischen Zustandsgrößen sehr entgegen. Die $|\psi\rangle$ sind Vektoren in einem linearen Raum. Da sie komplexe Komponenten haben, sind sie nicht im normalen Ortsraum sondern im sogenannten **H i l b e r t - R a u m** definiert.

Da Gl. 4b für jeden Vektor \vec{B} gilt, können wir uns \vec{B} aus der Gleichung fortgelassen denken. Dann entsteht wieder 3b. Das gleiche gilt hinsichtlich $\langle\phi|$ bei 4c. Läßt man es weg, so entsteht die „offene“ Gleichung 6c in Zeile 6. Dies ist der Entwicklungssatz in Vektorschreibweise. Man kann natürlich nun auch $|\psi\rangle$ fortlassen und einfach schreiben

$$1 = \sum_{\lambda} |u_{\lambda}\rangle\langle u_{\lambda}|. \tag{A 2.1}$$

Diese ebenfalls von Dirac herrührende Kurzform besagt, daß man die Gleichungen 4c bzw. 6c erhält, wenn man von links mit $\langle\phi|$ bzw. von rechts mit $|\psi\rangle$ multipliziert. In Zeile 7 sind noch die Orthogonalitäts- und Normierungsbedingungen für die drei betrachteten Fälle a, b, c aufgeführt. Der Basisvektor $|u_{\lambda}\rangle$ ist ein Spaltenvektor mit dem Entwicklungskoeffizienten

$$\langle u_{\mu} | u_{\lambda} \rangle = \delta_{\mu\nu}$$

$$|u_1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad |u_2\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \text{ usw.} \tag{A 2.2}$$

Ein Operator A erzeugt aus einem Zustand $|\psi\rangle$ einen neuen Zustand $|\psi'\rangle = A|\psi\rangle$. Wenn ein System von Basisvektoren $|u_{\lambda}\rangle$ gegeben ist, so ist A völlig definiert durch alle Zahlen

$$\langle u_{\lambda} | A | u_{\mu} \rangle = \langle u_{\lambda} | u'_{\mu} \rangle = A_{\lambda\mu}. \tag{A 2.3}$$

Der Operator wird daher durch die Matrix $(A_{\lambda\mu})$ repräsentiert. Sei nun u_α eine Eigenfunktion von A mit dem Eigenwert α , so ist

$$\begin{aligned} A|u_\alpha\rangle &= \alpha|u_\alpha\rangle \\ \langle u_\alpha|A|u_\alpha\rangle &= \alpha\langle u_\alpha|u_\alpha\rangle = \alpha. \end{aligned} \quad (\text{A 2.4})$$

Benutzt man daher als Basis zur Darstellung von A ein System von Eigenfunktionen zu A , so gilt

$$\langle u_\lambda|A|u_\mu\rangle = \alpha_\mu\langle u_\lambda|u_\mu\rangle = \alpha_\mu\delta_{\lambda\mu} \quad (\text{A 2.5})$$

und die Matrix wird diagonal

$$(A_{\lambda\mu}) = \begin{pmatrix} \alpha_1 & & & 0 \\ & \alpha_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \alpha_n \end{pmatrix} \quad (\text{A 2.6})$$

Man kann daher die Eigenwerte bestimmen, wenn man die Matrix durch eine geeignete Transformation auf Diagonalgestalt bringt.

Wir betrachten jetzt noch die Schrödinger-Gleichung für eine nicht-zeitabhängige Hamilton-Funktion

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = H\psi.$$

Durch die Entwicklung $\psi = \sum a_\lambda u_\lambda$ wird hieraus

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \sum_\lambda a_\lambda u_\lambda = \sum_\lambda a_\lambda H u_\lambda. \quad (\text{A 2.7})$$

Bildung des Skalarprodukts mit $\int u_\mu^* \dots dx$ führt zu

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \sum_\lambda \int u_\mu^* u_\lambda a_\lambda dx = \sum_\lambda a_\lambda \int u_\mu^* H u_\lambda dx$$

$$\text{oder} \quad i\hbar \frac{\partial}{\partial t} a_\lambda = \sum_\mu a_\mu \langle u_\mu | H | u_\lambda \rangle = \sum_\mu a_\mu H_{\mu\lambda}. \quad (\text{A 2.8})$$

Die Matrix $H_{\mu\lambda}$ heißt **H a m i l t o n - M a t r i x**. Dieses lineare Gleichungssystem können wir an Stelle der Schrödinger-Gleichung benutzen. Unsere Darstellung hat sich auf den Fall diskreter Eigenwerte beschränkt. Die Beschreibung von Kontinuumszuständen ungebundener Teilchen erfordert eine Ergänzung durch entsprechende Integralausdrücke.

Literaturverzeichnis

Auswahl ergänzender und weiterführender Bücher

Lehrbücher allgemeinen Charakters

Alonso, M.; Finn, E. J.: Fundamental University Physics, Vol. III: Quantum and Statistical Physics. Reading 1972. Deutsche Ausgabe: Quantenphysik und statistische Physik. Amsterdam 1974

Berkeley Physik Kurs, Bd. 4: Wichmann, H.: Quantenphysik. Braunschweig 1975

Eisberg, R.; Resnick, R.: Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles. New York 1974

Lehrbücher der Atomphysik

Bethge, K.: Quantenphysik. Mannheim 1978

Döring, W.: Atomphysik und Quantenmechanik. Band I: Grundlagen. Berlin 1973. Band II: Die allgemeinen Gesetze. Berlin 1976

Edlén, B.: Atomic Spectra, in: Handbuch der Physik (Hrsg. S. Flüge) 27, S. 80. Berlin 1957

Engel, H. A.; Wehr, M. R.; Richards, J. A.: Introduction to Atomic Physics. Reading 1973

Fano, U.; Fano, L.: Physics of Atoms and Molecules. Chicago 1972

Finkelburg, W.: Einführung in die Atomphysik. 11. u. 12. Aufl. Berlin 1967

Haken, H.; Wolf, H. C.: Atom- und Quantenphysik. Berlin 1980

Hellwege, K. H.: Einführung in die Physik der Atome. 4. Aufl. Berlin 1974

Heckmann, P. H.; Träbert, E.: Einführung in die Spektroskopie der Atomhülle. Braunschweig 1980

Herzberg, G.: Atomic Spectra and Atomic Structure. New York 1944

Hindmarsh, W. R.: Atomspektren. Berlin 1972 (Enthält Abdrucke fundamentaler Originalarbeiten).

Kuhn, H. G.: Atomic Spectra. 3. Aufl. London 1964

Schpolski, E. W.: Atomphysik, Teil I, 15. Aufl., Teil II, 8. Aufl. Berlin 1973/1979

Shore, B. W.; Menzel, D. H.: Principles of Atomic Spectra. New York 1968

Sobelman, I. I.: Introduction to the Theory of Atomic Spectra. Oxford 1972

Wehr, M. R.; Richards, J. A.: Physics of the Atom. Reading 1970

White, H. E.: Introduction to Atomic Spectra. New York 1934

Willmott, J. C.: Atomic Physics. London 1975

Speziellere Werke

Condon, E. U.; Shortley, G. H.: The Theory of Atomic Spectra. Cambridge 1964

Kopfermann, H.: Kernmomente. Frankfurt 1956

Zimmermann, P.: Einführung in die Theorie der Atomspektren. Mannheim 1976

Sachverzeichnis

- Absorptionskanten 178f
- Alkaliatome 168, 170
- Ångström 16
- Anregungsenergien 10
- antibindend 248
- antikommutativ 92
- antisymmetrische Wellenfunktion 146
- äquivalente Elektronen 185
- atomare Masseneinheit 13, 16
- Atom|gewicht 13
 - , hadronisches 236
 - , myonisches 232f
 - radien 16
 - –, mittlere 163
- Atomic Time 208
- Atomstrahl-Resonanz 207
- Auflösevermögen 23
- Auger-Effekt 180
- Austausch|entartung 145
 - integral 161
 - kraft 111, 241
 - operator 145
 - – für Ort und Spin 150
- Auswahlregeln für Dipolstrahlung 118, 128, 190
 - , bei HFS-Übergängen 208
- Avogadro-Konstante 13, 15
- Azimutalgleichung 62

- Back-Goudsmit-Effekt 204
- Bahndrehimpuls 26, 66, 75
- Bahnradius 28, 67, 78
- Balmerserie 20, 21
- Bandenstruktur 255
- Bandstruktur 258
- Basiszustände 57
- Benzolmolekül 251
- Berylliumatom 171
- Besetzungs|inversion 219
 - temperatur 219
 - wahrscheinlichkeit 130
- Bohrscher Radius 28, 39
- Born-Mayer-Potential 244
- Born-Oppenheimer-Näherung 247
- Bose-Einstein-Statistik 149
- Boson 148f, 210ff
- Bragg-Bedingung 176
- Bra-Vektor 227, 265
- Breit-Rabi-Formel 205f

- Casimir-Formel 197
- Coulomb-Gesetz 111
 - -Potential 26
- Compton-Effekt 111
 - -Wellenlänge 112
- C-Parität 228

- Daltonsches Gesetz 12
- de Broglie-Wellenlänge 33
- Dipol-|Dipol-Kräfte 242
 - Strahlung 253
 - Wechselwirkung 107
 - matrixelement 134, 138
 - moment, magnetisches 84
 - strahlung 137
- Dirac-Gleichung 95
- Dopplerverbreiterung 142
- Drehimpuls 71
 - , Erhaltung 74
 - des Lichts 118ff
 - , resultierender 99
 - , Vertauschungsrelationen 73
- Druckverbreiterung 143
- Dualismus 111
- Dubletts 96

- Edelgaskonfiguration 172
- effektives Potential 164
- Eigenparität 228
- Eigenwerte 41
- Einheiten 4
 - , praktische 33
- Einstein-Koeffizienten 136f, 218
- Einteilchen-Wellenfunktion 164
- Einzelmessung 46
- Elektronen|beugung 29f
 - dichtevertellung 78, 81, 166
 - gas 241, 258
 - -Interferenz 34
 - konfiguration 170
 - masse 17f
 - , quasifreie 241
- elektrostatische Wechselwirkung 194f
- Elementar|ladung 15
 - teilchen 9
 - zelle 256
- Entartung 68
- Erhaltung der Symmetrie 147
- Erhaltungsgröße 74

- Erwartungswert 44f
 - des Spins 94
- Eulersche Formeln 224
- exotische Atome 12

- Fabry-Pérot-Interferometer 23
- Faraday-Gesetz 15
 - -Konstante 15
- Feinstruktur 96, 100ff
 - -Konstante 27, 105
 - des Wasserstoffspektrums 106
- Fermi-Dirac-Statistik 149
 - -Energie 163
- Fermi|-Dirac-Gas-Modell 162
 - Gas-Modell 258
- Fermion 148f
- Feynman-Graph 111
- Fluoreszenzausbeute 180
- Franck-Hertz-Versuch 22
- Frank-Condon-Prinzip 256
- Frequenzstandard 208
- Fullerene 251

- g-Faktor 86
 - - des Elektrons 80
 - -, anomaler 112f
 - - des Kerns 193
 - -, Landéscher 123
 - - des Protons 107
- Gesamtdrehimpuls F 108, 192
- Gitterspektrograph 22
- goldene Regel 133
- Graph 111
- Gruppengeschwindigkeit 36

- H_α-Linie 116, 258
- Halbleiter 258
 - Detektor 176f
- Halbwertbreite 142
- Halogene 171
- Hamilton-Matrix 228
 - -Operator 42
- harmonischer Oszillator 57ff
- Hartree-Fock-Verfahren 166
- Hartree-Verfahren 165
- Hauptquantenzahl 68
- Heliumatom 155ff
 - , Bindungsenergie 156
 - , Spektrum 82
 - , Termschema 159
- Helium, myonisches 231
- hermitesche Polynome 58

- heteropolar 241
- Hilbert-Raum 227, 265
- homöopolare Bindung 241
- Hundsche Regeln 171, 185
- Hyperfeinstruktur-Aufspaltung 109, 193
 - - im Magnetfeld 203
 - -Effekte 234

- induzierte Emission 136
- Interferenzanordnung 23
- Interkombinationsverbot 160
- intermediäre Kopplung 188
- Intervall|faktor 109, 187, 193
 - regel 187, 193
- Ionen|bindung 240, 242
 - , heteropolare 241
 - kristalle 241
- Isolatoren 258
- Isomerieverschiebung 235
- Isotonieverschiebung 235
- Isotopie 18
 - verschiebung 198, 235
- Ionisationsenergien 174

- jj-Kopplung 188ff

- Kayser 21
- Kern|deformation 197
 - drehimpuls 208
 - g-Faktor 193
 - magneton 86
 - quadrupolmoment 196f
 - radius 19
- Ket 227, 265
- kinetische Energie 26, 41
- Klein-Gordon-Gleichung 95, 237
- Klein-Nishina-Formel 112
- Kohlenstoffatom, Grundzustand 171
 - , Termschema 186
- Kombinationsprinzip 21
- komplexe Zahlen 223
- Konfiguration 157, 183ff
- Konstante der Bewegung 74
- Koordinationszahl 241
- Korpuskeln 31
- Korrespondenzprinzip 85
- kovalente Bindung 241, 245
- Kronig-Penney-Modell-Potential 257, 259

- LCAO 248
- Ladungsdichteverteilung des Wasserstoffatoms 77

- Laguerresche Polynome 68
- Lamb-Shift 114ff
- Lambda-Viertel-Plättchen 126
- Landésche Intervallregel 187
- Landéscher-Faktor 123
- Laplace-Operator 60
- Larmor-Frequenz 87, 230f
- Laser 221f
 - Spektroskopie 23
- LEAR 239
- Lebensdauer, mittlere 140
- Legendre-Polynome 63f
- Legendresche Differentialgleichung 63
- Leichtelektron 182
- Leitungsband 258
- Linienbreite 138ff
 - , natürliche 141
- Lithiumatom, Bindungsenergie 169
 - , Termschema 117
- Löcher 173
- Loschmidt-Zahl 13
- Lorentz-Kurve 141
- Lösungsfunktionen der Schrödinger-Gleichung 49
- LS-Kopplung 158, 182
 - –, Termfolge 184

- Madelung-Konstante 244
- magnetisches Moment 86
 - – des Elektrons 89
- magnetische Quantenzahl 63
- Magneton 86
 - , Bohrsches 86
- Masse eines Atoms 13
 - – Elektrons 17
- Masseneinheit u 16
 - , atomare 16
- Massenspektrometer 18
- Maßsystem 4
- Maser 219f
- Matrix 228
- Matrixelement 131
 - für elektrische Dipolübergänge 138
- Maxwell-Verteilung 142
 - -Boltzmann-Statistik 149
- metallische Bindung 241
- Millikan-Versuch 15
- mittlere Lebensdauer 140
- Modell unabhängiger Teilchen 144, 162
- Modelle 10
- Mol 13
- Molekülspektrum 255

- Monopolterm 194
- Monopolwechselwirkung 234
- Morse-Potential 254
- Moseley-Diagramm 180
- multiple Proportionen 13
- Multiplizität 159
 - , alternierende 190
- Multipolordnung 138
 - strahlung 138
- μ -Magneton 230
- Myon 229
- Myonium 226

- Natriumatom, Grundzustand 171
- natürliche Linienbreite 139, 142
- Nichtunterscheidbarkeit 145
- Normierung 44
- Nullpunktsenergie 58

- Oktupolstrahlung 138
- Oktett-Regel 243
- Operator 45ff
 - , hermitischer 46
 - , selbstkonjugierter 46
 - , vertauschbarer 47
- optisches Pumpen 221
- Orbitale 249
- Orthogonalität 55
- Orthohelium 158, 160
- Orthopositronium 227
- Oszillatorpotential 70
 - , gedämpfter 139f

- Parahelium 158, 160
- Parapositronium 227
- Parität 50
 - , Auswahlregel 191
 - , – bei Bahndrehimpuls 65
 - , Erhaltung 74
 - , Quantenzahl 74
- Paschen-Back-Effekt 200
- Pauli-Matrizen 93
 - -Prinzip 155
- Phasengeschwindigkeit 35, 225
- Photoeffekt 20
- Photon, virtuelles 111
- π -Elektron 251
- Pi-Meson 236
- Plancksche Konstante 20
- Polargleichung 62
- Polarisation des Lichts 125f
- Polarkoordinaten 60

- Positronium 227f
 potentielle Energie 26
 Prismenspektrograph 22
 Protonium 239
- quadratintegrierbar 44
 Quadrupol|energie 195, 235
 – moment 196f
 Quantenelektrodynamik 111, 234
 Quantenzahl 53
 –, Bahndrehimpuls 66
 –, magnetische 63
 –, Parität 74
 –, radiale 77
 Quarks 9
- Rabi-Apparatur 207
 Radial|gleichung 62
 – quantenzahl 77
 Rayleigh-Jeans-Gesetz 215
 Rechteckpotential 52, 162
 –, Wellenfunktion 54
 Restwechselwirkungen 163
 Richardson-Einstein-de Haas-Effekt 88
 Ritzsches Prinzip 21
 Röntgen|interferenzen 176
 – spektrale 177
 – termschema 178
 Rotations|energie 253
 – zustände 253
 Rubinlaser 221f
 Russell-Saunders-Kopplung 182
 – – -Notation 159
 Rutherford-Experiment 19
 Rydberg (Einheit) 28
 – -Atom 225
 – -Konstante 21
- Schale 175
 Schalenmodell 172
 Schalenabschluß 172
 Schrödinger-Gleichung 42
 schwaches Feld 121, 199
 Sechspolfeld 220
 selbstkonsistentes Potential 165
 Separationskonstante 43, 61
 σ -Elektron 251
 Singulett-Zustand 152f
 Skalarprodukt 56
 schwarzer Körper 217
 Slater-Determinante 155
- Spektralapparat 22
 spektrale Energiedichte 135, 213ff
 Spektralserien 20
 spektroskopischer Verschiebungssatz 190
 spezifische Ladung 16f
 Spin 88
 –, Erwartungswert 94
 – des Photons 118ff
 – -Matrizen 93
 – -Operator 91
 Spin-Bahn-Kopplung 98
 – – –, Energie 104
 Spinfunktion 90
 –, von zwei Fermionen 153
 –, Symmetrie 150ff
 spontane Emission 136
 Stark-Effekt 208f
 – –, quadratischer 209
 starkes Feld 199ff
 stationäres System 48
 Stefan-Boltzmann-Gesetz 216
 Stern-Gerlach-Versuch 87
 Stetigkeitsbedingungen 51
 Stickstoffatom, Grundzustand 171
 –, Termschema 191
 Störungsrechnung, stationäre 101
 –, zeitabhängige 129ff
 Stoßverbreiterung 143
 symmetrische Wellenfunktion 146
 Symmetriecharakter 147
 superschwere Elemente 174
- Teilchengeschwindigkeit 36
 Term 22
 Termschema für Alkaliatome 168
 – – Helium 159
 – – Kohlenstoff 186
 – – Lithium 117
 – – Röntgenspektren 178f
 – – Wasserstoff 21
 Thomas-Fermi-Modell 163
 Thomas-Präzession 98
 Triplett-System 152f, 159
- Übergangsrate 133
 Übergang, strahlungsloser 232
 Ultraviolett-Katastrophe 215
 unabhängige Teilchen 144
 Unschärferelation 37
 Unterschale 173f
 Uranatom, Röntgen-Termschema 179
 –, Isotopieverschiebung 82

Vakuumpolarisation 112, 234

Valenz|elektron 174, 242

- kristalle 251

verbotener Übergang 137

Van der Waals-Kräfte 241

Verschiebungssatz 190

Vertauschbarkeit 47

- und Erhaltungsgröße 74

Vertauschungsklammer 47

Vibrationszustände 254

Wahrscheinlichkeitsamplitude 32

Wasserstoff|-Maser 220

- molekül 245

Wechselwirkung, hadronische 225

-, starke 236

Wellenfunktion 41ff

-, antisymmetrische 146

- des harmonischen Oszillators 59

- des Wasserstoffatoms 69, 76f

Wellenfunktion im Rechteckpotential 54

-, symmetrische 146

-, Skalarprodukt 56

Wellen|gruppen 35

- paket 36, 38

- zahl 20, 33, 224, 262

Wiensches Verschiebungsgesetz 216

Wirkungsquantum 20

Zeeman-Effekt 119ff

- - beim Natrium 124

- -, quadratischer 201

Zentralpotential 62

Zentrifugalpotential 66

Zerstrahlungsprozeß 227

Zeit-Energie-Unschärfe 38, 142

Zirkularpolarisation 126

Zustandsdichte 133

Zustandsvektor 57, 226

Zyklotronfrequenz 113

Teubner Studienbücher

Physik

- Mahnke/Schmelzer/Röpke: **Nichtlineare Phänomene und Selbstorganisation.**
DM 27,80 / ÖS 217,- / SFr 27,80
- Mayer-Kuckuk: **Atomphysik.** 4. Aufl. DM 36,80 / ÖS 287,- / SFr 36,80
- Mayer-Kuckuk: **Kernphysik.** 5. Aufl. DM 42,- / ÖS 328,- / SFr 42,-
- Mommsen: **Archäometrie.** DM 38,- / ÖS 297,- / SFr 38,-
- Neuert: **Atomare Stoßprozesse.** DM 28,80 / ÖS 225,- / SFr 28,80
- Nolting: **Quantentheorie des Magnetismus.**
Teil 1: Grundlagen, DM 38,- / ÖS 297,- / SFr 38,-
Teil 2: Modelle, DM 38,- / ÖS 297,- / SFr 38,-
- Raeder u. a.: **Kontrollierte Kernfusion.** DM 42,- / ÖS 328,- / SFr 42,-
- Renk: **Meßdatenerfassung in der Kern- und Teilchenphysik.**
DM 24,80 / ÖS 194,- / SFr 24,80
- Rohe: **Elektronik für Physiker.** 3. Aufl. DM 29,80 / ÖS 233,- / SFr 29,80
- Rohe/Kamke: **Digitalelektronik.** DM 28,80 / ÖS 225,- / SFr 28,80
- Schatz/Weidinger: **Nukleare Festkörperphysik.** 2. Aufl. DM 34,80 / ÖS 272,- / SFr 34,80
- Schlachetzki: **Halbleiter-Elektronik.** DM 44,80 / ÖS 350,- / SFr 44,80
- Schmidt: **Meßelektronik in der Kernphysik.** DM 28,80 / ÖS 225,- / SFr 28,80
- Spatschek: **Theoretische Plasmaphysik.** DM 44,80 / ÖS 350,- / SFr 44,80
- Theis: **Grundzüge der Quantentheorie.** DM 34,- / ÖS 265,- / SFr 34,-
- Walcher: **Praktikum der Physik.** 7. Aufl. DM 39,80 / ÖS 311,- / SFr 39,80
- Wegener: **Physik für Hochschulanfänger.** 3. Aufl. DM 48,- / ÖS 375,- / SFr 48,-
- Wiesemann: **Einführung in die Gaselektronik.** DM 34,- / ÖS 265,- / SFr 34,-
- Wille: **Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen.**
DM 34,80 / ÖS 265,- / SFr 34,80

Preisänderungen vorbehalten.

B. G. Teubner Stuttgart

