



## Stichwortverzeichnis

3D-Harmonischer Oszillator  
187, 200

3D-Schrödinger-Gleichung  
176

### A

Adjungierter 62, 68

Alpha-Teilchen 244

Amplitude 25

Anti-hermitescher Operator  
70, 71

Antisymmetrische  
Wellenfunktion 236,  
243–245

Asymmetrische  
Wellenfunktion 245

Atom

mit vielen Elektronen 233

Pauli-Prinzip 248

Periodensystem 249

Schalenstruktur 249

Unterschalen 249  
zusammengesetzte Teilchen  
244

zweiatomiges Molekül  
149

Atommodell, Bohr-  
Sommerfeldsches 205

Austauschoperator 54, 235,  
237, 238

Austauschsymmetrie 235

### B

Bahndrehimpuls 193

Bahndrehimpulsquantenzahl  
164

Basisfreie Vektoren 63

Beschleunigung 120

Besetzungszahloperator  
49, 122

Bessel-Funktionen 196, 199

Bohr'scher Radius 93, 215, 217,  
225

Bohr-Sommerfeld'sches  
Atommodell 205

Born'sche Näherung 280

Boson 51, 54, 168, 172, 243

Bra-Ket-Schreibweise 43, 57,  
60

Bra-Vektor 62

### C

CERN 269

Compton-Effekt 31

Compton-Wellenlänge 32

### D

d-Zustand 249

Diagonalisierung 69, 76

Differenzialgleichung 47

Differenzialoperator 39

Differenzieller  
Wirkungsquerschnitt 270  
Born'sche Näherung 280  
Laborsystem 274  
Schwerpunktsystem 274

Dirac-Schreibweise 41,  
43, 48

Überblick 60

Bra-Vektor 62

Ket-Vektor 60

Doppelspaltanordnung 34

Drehimpuls 50, 141

Überblick 142

Eigenfunktionen 157, 158

Eigenwerte 163

Eigenzustände 144

einer rotierenden Scheibe  
142

Impulsoperatoren 143

Kommutatoren 143

Kugelkoordinaten 155

Matrixdarstellung 151

Orbital 222

Quantenzahl 44, 167, 227

Rotationsenergie 149

Spinoperator 168

Vernichtungsoperator 145

Zustandsgleichungen 147

Drehimpulsoperator 141

### E

Eigendrehimpuls 165

quantenmechanischer 44

Eigenfunktion 40

antisymmetrische 236

freie Teilchen 179

symmetrische 236

von  $L^2$  in Kugelkoordinaten  
158

von  $L_z$  in Kugelkoordinaten  
157

Eigenvektor

Bestimmung 77

Definition 74

eines Operators 76

entarteter

Hamilton-Operator 264  
und Eigenwerte 74

Eigenwert 40, 47

Bestimmung 77

Drehimpuls 144

Erzeugungsoperator 150

und Eigenvektoren 74

Vernichtungsoperator 150

Eigenwertgleichung 40

Eigenzustand

Energie von  $a, n$ ) 124

Energie von  $a^\dagger, n$ ) 124

erster angeregter Zustand  
122

Grundzustand 122

Ortsraum 126

zweiter angeregter Zustand  
122

Einfallende Stromdichte 99

Einfallender Fluss 270

Einfallendes Licht 26

Einfallendes Teilchen,  
kinetische Energie 283

Einheitsmatrix 77

Einheitsoperator 66

Einstein, Albert 29, 30, 33

Elektrisches Feld 257

harmonischer Oszillator im  
257

Wasserstoffatom im 264

Elektron 244

Compton-Wellenlänge 31

Orbital 223, 249

Periodensystem 249

Photoelektrischer Effekt 29



302 **Stichwortverzeichnis**

- Elektron  
Elektronenstöße 241  
Elektronenstrahl 34  
Elektrostatische potenzielle  
  Energie 207  
Endliche Potenzialtöpfe 97  
Energie 25, 31  
  geladener Oszillator 259  
  kinetische 39  
  potenzielle 39  
Energieeigenwert 44, 89, 226  
Energieentartung  
  3D-Oszillator 189  
  Grundzustand 186  
  Stark-Effekt 266  
  Wasserstoffatom 220  
Energieniveaus  
  Bestimmung 92  
  Entartung 220  
  im elektrischen Feld 258  
Entartete  
  Hamilton-Operatoren 262  
Entartung 90  
  3D-Oszillator 189  
  Austausch- 243  
  Grundzustand 186  
  Stark-Effekt 266  
  Wasserstoffatom 220  
Entartungsgrad 190  
Erhöhungsoperator 169  
Erhaltungsgröße 54  
Erster angeregter Zustand 122,  
  215  
Erwartungswert 42  
  eines Operators 66  
  Elektronenabstand 224  
Erzeugungsoperator  
  Drehimpuls 145, 163  
  Eigenwerte 146  
  Spin 169
- F**  
f-Zustand 249  
Fermion 51, 54, 168, 172, 243  
Freie Teilchen  
  Gesamtenergie 179  
  Gleichungen für  $x$ ,  $y$  und  $z$   
  179  
  im Dreidimensionalen  
  178  
  Kugelkoordinaten 196  
  Schrödinger-Gleichung 112  
  Wellenpaket 113, 180  
  Zeitabhängigkeit 180
- G**  
g-Zustand 249  
Gauß'sches Wellenpaket 114  
Gauß'sches Wellenpaket 180  
Gebundener Zustand 90  
Geladener Oszillator 257  
  Energie 259  
  Wellenfunktion 261  
Gesamtenergie 39, 177, 179,  
  233, 239, 246  
Gesamtspin 244  
Geschwindigkeit 271  
Gestreuete Wellenfunktion 277  
Gleichbleibender  
  Hamilton-Operator 243  
  Austauschentartung 243  
Gradientoperator 66  
Graviton 168  
Green'sche Funktion 279  
Grundzustandsenergie,  
  Wasserstoffatom 215
- H**  
h-Zustand 249  
Hamilton-Operator 39, 46,  
  119  
  3D 187  
  3D-Schrödinger-Gleichung  
  177  
  Definition 65  
  Energie von  $a^\dagger, n\rangle$  124  
  Energieniveaus 122  
  erster angeregter Zustand  
  122  
  harmonischer Oszillator  
  120  
  harmonischer Oszillator im  
  elektrischen Feld 257  
  Hermite-Polynome 130  
  Hermite-Polynome in 3D  
  188  
  im elektrischen Feld 257  
  im Ortsraum 126  
  isotroper 189, 200  
  klassischer 120  
  Matrizen 133  
  Näherung nullter Ordnung  
  262  
  Proton 132  
  Störungstheorie 252, 253,  
  257  
  Vielteilchensysteme 232  
  Wellenfunktion des  
  Grundzustands 128  
  zweiter angeregter Zustand  
  122  
Hauptquantenzahl 44, 214,  
  220, 227, 249  
Heisenberg'sche  
  Unschärferelation 35, 48, 71,  
  73  
Hermite-Polynome  
  3D 188  
Hermitesch Konjugierter 68  
Hermitescher Operator  
  Definition 69  
  Eigenwerte 74  
  Kommutator 69  
  unitäre Transformation 80  
Hilbert-Raum 41  
  Ortsvektoren 63  
  Vektoren 58  
  Zustandsvektor 60  
Hook'sches Gesetz 120
- I**  
Identische  
  nicht-wechselwirkende  
  Teilchen 246  
Identische Teilchen 54  
Impulsoperator 66,  
  73, 143  
Impulsvektor 25, 64, 142  
Interferenz von  
  Wellen 34  
Isotroper harmonischer  
  Oszillator 189, 200
- K**  
Kastenpotenzial 182, 187  
Ket-Vektoren  
  basislose Zustandsvektoren  
  63  
  normiert 63  
  orthogonal 64  
  orthonormal 65  
  Schwarz'sche Ungleichung 64  
  Zustandsvektoren als 60  
Kinetische Energie 39  
Mehrelektronenatom 234  
  radial 193



## Stichwortverzeichnis 303

- Rotationsenergie 193  
 Wasserstoffatom 206  
 Klassische Physik 26  
 Kommutator  
   Bestimmung von 69  
   unitäre Transformation 80  
   von Drehimpulsoperatoren 143  
   von Operatoren 69  
 Komplex konjugiert  
   adjungierte Operatoren 68  
   Definition 62  
   unitäre Operatoren 79  
 Komplexe Zahl 68  
 Kontinuierliche Darstellung 81  
 Korrekturen zweiter Ordnung 256  
 Korrekturterm zweiter Ordnung 253, 256  
 Kosmische Strahlung 33  
 Kreisfrequenz 257  
 Kugelflächenfunktion 226, 227  
 Kugelfunktionen 51, 157, 162  
 Kugelkoordinaten 51  
   Überblick 155  
   Definition 191  
   Eigenfunktion von  $L^2$  158  
   Eigenfunktion von  $L_z$  157  
   freie Teilchen in 3D 196  
   isotroper harmonischer Oszillator 200  
   Radiusvektor 192  
   Schrödinger-Gleichung 193  
   sphärische Bessel-Funktionen 196  
   sphärische Neumann-Funktionen 196  
   Zentralpotenzial 193
- L**
- $L^2$ -Operator 144  
 Laborsystem  
   Überblick 271  
   Streuwinkel 272  
   Teilchen gleicher Masse 275  
   und Schwerpunktsystem 271  
   Wirkungsquerschnitt 274  
 Laguerre-Polynome 218, 227, 265
- Laplace-Operator 66, 82, 176, 193  
   Wasserstoffatom 207, 208  
 Large Hadron Collider (LHC) 269  
 Leiteroperator 49, 123  
   Drehimpuls 145, 150, 163  
   Spin 169  
 Licht  
   als Teilchen 29  
   Frequenz 27  
   Lichtgeschwindigkeit 32  
   photoelektrischer Effekt 29  
   Photon 30, 33  
   Schwarzkörperstrahlung 26  
   Spektrum 26  
   Streuung 31  
   Wellenlängenshift 31  
 Lichtgeschwindigkeit 32  
 Lichtwellen 25, 28  
 Linearer Operator 68
- M**
- Magnetische Spinquantenzahl 165  
 Magnetquantenzahl 44, 164, 227  
 Masse 32, 120, 257  
   im Vielteilchensystem 233  
 Matrixdarstellung 80  
   Drehimpuls 151  
 Matrizen 57  
   harmonischer Oszillator 133  
   Pauli-Matrizen 170  
   Spin-1/2- 170  
 Matrizenmechanik 42, 80, 205  
 Messgröße 39  
 Mittelwert 42
- N**
- Näherung nullter Ordnung 262  
 Nebelkammer 33  
 Nebenquantenzahl 44, 164, 227  
 Neumann-Funktionen 196, 199  
 Neutron 243, 244  
 Nichtentartete Hamilton-Operatoren 252
- Normalverteilung 25, 57, 87, 119, 141, 191  
 Normierter Ket 63  
 Normierte Funktion 94  
 Normierung 47, 89
- O**
- Operator 39, 58  
   Besetzungszahloperator 49  
   Hamilton-Operator 39  
   Leiteroperator 49  
 Orbital 223, 227, 249  
 Orthogonal 64  
 Orthonormal 65  
 Ortsdarstellung 163  
 Ortsoperator 121, 143  
 Ortsvektor 63, 81
- P**
- p-Zustand 223, 249  
 Paarerzeugung 33  
 Paarvernichtung 33  
 Pauli-Matrizen 170, 172  
 Pauli-Prinzip 45, 248, 250  
 Periodensystem 249  
 Permutationsoperator 53, 247  
 Photoelektrischer Effekt 29  
 Photon 31–33, 243  
 Pi-Meson 243  
 Planck'sche Konstante 28–29, 32  
 Planck'sche Quantisierung 28  
 Planck'sches Gesetz 28  
 Planck'sches Wirkungsquantum 141  
 Potenzialbarriere 49  
   Überblick 105  
    $E < V_0$  108  
    $E > V_0$  106  
   Reflexionskoeffizient 110  
   Schrödinger-Gleichung 106  
   WKB-Methode 111  
 Potenzialstufe 49, 97  
   Nichtnull-Lösung 104  
   Reflexionskoeffizient 99, 104  
   Teilchen mit genügend Energie 98  
   Teilchen mit geringer Energie 102  
   Transmissionskoeffizient 99, 104





## 304 Stichwortverzeichnis

- Potenzialtopf 49, 89  
   Überblick 87  
   Teilchen einschließen 89  
 Potenzielle Energie 39, 193, 233  
   Mehrelektronensystem 231  
   unterscheidbare Teilchen 239  
   Wasserstoffatom 207  
 Potenzreihenansatz 212  
 Proton 132, 231, 243, 244  
 Proton/Elektron-System 207
- Q**
- Quaderpotenzial 187  
 Quantenmechanik, Definition 37  
 Quantenschwingung 120  
 Quantenzahl 44, 227  
   Drehimpuls 146, 148, 167, 216  
   Gesamtenergie eines Teilchens 184  
   Hauptquantenzahl 214, 220  
   Orbitale 223, 249  
   Periodensystem 249  
   quantisierte Zustände 93  
   radiale 214  
   Spin 165, 167  
   und Pauli-Prinzip 248  
 Quantisierungsbedingung 215
- R**
- Rückstellkraft 186, 201  
 Radiale kinetische Energie 193  
 Radiale Quantenzahl 214  
 Radiale  
   Schrödinger-Gleichung erlaubte Energien 215  
   Hauptquantenzahl 215  
   Lösung 216  
   radiale Quantenzahl 214  
 Radialgleichung 52, 195, 226  
 Radiusvektor 192  
 Randbedingung 40, 46, 88  
 Rayleigh-Jeans-Gesetz 28  
 Rechteckpotenzial 87  
 Rechtwinklige Koordinaten 51  
   3D-Schrödinger-Gleichung 176  
   Energieniveaus 184  
   freie Teilchen in 3D 178  
   Gesamtenergie 177
- Gleichungen für  $x$ ,  $y$  und  $z$  179  
 harmonischer 3D-Oszillator 187  
 Kastenpotenzial 182  
 würfelförmiges Potenzial 186  
 Wellenfunktion 177  
   Zeitabhängigkeit 180  
 Reduzierte Masse 53, 209  
 Reflexionskoeffizient 49, 99, 108, 110  
 Reihenentwicklung 212  
 Relativitätstheorie 32, 33  
 Rotationsenergie 149, 193  
 Rotationssymmetrie 191  
 Rydberg-Konstante 265
- S**
- s-Zustand 223, 249  
 $S^2$ -Operator 168  
 $S_z$ -Operator 168  
 Schrödinger-Gleichung 39, 58, 82, 205  
   3D 176  
   3D-Oszillator 187  
   allgemeine Form 46  
   freie Teilchen 112, 178  
   Lösung für  $\psi(\mathbf{R})$  210  
   Lösung für  $\psi(r)$  210  
   Lösung für große  $r$  211  
   Lösung für kleine  $r$  211  
   Potentialbarriere 109  
   Potentialstufe 102  
   radiale Quantenzahl 214  
   Separation 208  
   Teilchenenergie 98  
   Wasserstoffatom 206, 208, 209  
   Wellenmechanik 83  
   zeitabhängig 95, 176  
   zeitunabhängig 39  
 Schwarz'sche Ungleichung 64  
 Schwarzkörperstrahlung 26  
 Schwellenfrequenz 30  
 Schwerpunktsystem  
   Definition 271  
   Streuwinkel 271  
   und Laborsystem 271  
   Wirkungsquerschnitt 271  
 Separationsansatz 175, 225  
 Separierung 51
- Spaltenvektor 67  
 Sphärische Bessel-Funktionen 196, 199  
 Sphärische  
   Neumann-Funktion 196, 199  
 Sphärischer Laplace-Operator 193  
 Sphärisches Kastenpotenzial 198  
 Spin 44, 50, 165  
   Bosonen 168  
   Definition 167  
   down 167  
   Eigenzustände 167  
   Entdeckung 167  
   Fermionen 168  
   Pauli-Matrizen 172  
   Quantenzahlen 167 und Bahndrehimpuls 167  
   up 167  
 Spin-1/2-Matrizen 170  
 Spinlose Teilchen 276  
 Spinquantenzahl 44, 165  
 Störungstheorie 55, 251  
   Energie des ungestörten Systems 253  
   Energieniveaus 253  
   entarteter Hamilton-Operator 262  
   Gleichungen 254  
   Hamilton-Operator 252, 253  
   harmonischer Oszillator im elektrischen Feld 257  
   Koeffizienten von  $\lambda$  254  
   Korrekturen erster Ordnung 253, 254  
   Korrekturen zweiter Ordnung 253, 256  
   nichtentarteter Hamilton-Operator 252  
   Oszillator im elektrischen Feld 258  
   Wasserstoff in elektrischen Feldern 264  
   Wasserstoffatom 265  
 Stark-Effekt 266  
 Stern-Gerlach-Versuch 51, 166, 172



## Stichwortverzeichnis 305

- Stetigkeit 46  
 Streutheorie 55  
   Born'sche Näherung 280  
   differenzieller  
     Wirkungsquerschnitt 270  
   einfallender Fluss 270  
   kinetische Energie des  
     einfallenden Teilchens  
     283  
   Laborsystem 271  
   Schwerpunktsystem 271  
   spinlose Teilchen 276  
   Teilchen gleicher Masse 275  
   Wirkungsquerschnitte  
     umrechnen 274  
 Streuwinkel  
   Bezugssysteme 272  
   Compton-Effekt 31  
   Raumwinkelement 270  
   Schwerpunktsystem 283  
   Wirkungsquerschnitt 283  
 Stromdichte 270  
 Symmetriecharakter 54  
 Symmetrische Wellenfunktion  
   236, 243  
 Symmetrisierungspostulat 244
- T**  
 Teilchen 25, 33, 89, 120  
 Teilchenbeschleuniger 33  
 Totaler Wirkungsquerschnitt  
   271  
 Trägheitsmoment 150  
 Transmissionskoeffizient 49,  
   99, 104, 108, 110, 111
- U**  
 Ultraviolett-Katastrophe 28  
 Unendliche rechteckige  
   Potenzialtöpfe  
   Berechnung der  
     Wellenfunktionen 91  
   Energieniveaus 92  
   Normierung der  
     Wellenfunktionen 94  
   Teilchen einfangen 91  
   Zeitabhängigkeit der  
     Wellenfunktionen 95  
 Ungestörte Energie 252, 265  
 Ungestörtes System 252  
 Unitäre Operatoren 79  
 Unschärferelation 35, 58, 71
- Unterschalen 249  
 Unterscheidbare Teilchen 54
- V**  
 Vektor  
   als Ket 63  
   basisfrei 63  
   im Hilbert-Raum 58  
   Ortsvektor 63  
   Schwarz'sche Ungleichung  
     64  
   von Wahrscheinlichkeiten 66  
 Vernichtungsoperator  
   Drehimpuls 163  
   Eigenwerte 146, 150  
   Spin 169  
   harmonischer Oszillator 134  
 Vielteilchensysteme 231  
   Überblick 232  
   antisymmetrische  
     Wellenfunktionen 243,  
     245  
   Austauschentartung 243  
   Austauschoperator 235  
   Austauschsymmetrie 235  
   Gesamtenergie 233,  
     240, 246  
   gleichbleibender  
     Hamilton-Operator 243  
   identische  
     nicht-wechselwirkende  
     Teilchen 246  
   Identitätsverlust 241  
   Pauli-Prinzip 248  
   Periodensystem 249  
   Symmetrie 242  
   symmetrische  
     Wellenfunktionen 243,  
     245  
   Wellenfunktion 232  
   Zweiteilchensystem 246
- W**  
 Würfel 58  
 Würfelförmiges Potenzial 186  
   Energie des Grundzustands  
     186  
   Energieentartung 186  
   Wellenfunktion 186  
 Würfeloperator 67  
 Wahrscheinlichkeit 35,  
   41, 57
- Wahrscheinlichkeitsamplitude  
   36  
 Wahrscheinlichkeitsdichte 36,  
   41  
 Wasserstoffatom 44, 53, 205  
   Elektron im 206  
   Energie-Entartung 220  
   erlaubte Energien 215  
   kinetische Energie von  
     Proton und Elektron 207  
   Orbitale 223  
   Quantenzustände 221  
   radiale  
     Schrödinger-Gleichung  
     211  
   Schrödinger-Gleichung 206,  
     209  
   Schwerpunkt 206  
   Spin 221  
   Wellenfunktionen 218  
 Welle 25, 34  
 Welle-Teilchen-Dualismus 25,  
   29, 33  
 Wellenfunktion 40, 44  
   3D-Kastenpotenzial 185  
   antisymmetrische 236, 243  
   asymmetrische 245  
   eines oszillierenden Protons  
     133  
   eines Zustandsvektors 82  
   Elektronenspin 221  
   geladener Oszillator 261  
   gestreute 277  
   Grundzustand 186  
   in Kugelkoordinaten 196  
   Intensität 36  
   Normierung 93, 101, 185  
   Radialteil 216  
   Störungstheorie 253  
   symmetrische 236,  
     237, 243  
   Vielteilchensystem 232, 246,  
     247  
   Wasserstoffatom 218  
   zeitabhängig 95  
   zeitunabhängig 181  
   Zweiteilchensystem 246  
 Wellenlänge 25, 31, 33  
 Wellenlängenshift 31  
 Wellenmechanik 42, 82, 205  
 Wellenpaket 181  
 Wellenvektor 25, 33



## 306 Stichwortverzeichnis

Wien'sches  
  Verschiebungsgesetz 28  
Wirkungsquerschnitt  
  differenzieller 270  
  totaler 271  
WKB-Methode 111

### Z

Zeilenvektor 66  
Zeitabhängige  
  Schrödinger-Gleichung  
  95, 176  
Zentralpotenzial 52,  
  192, 206  
  Definition 192  
  radialer Teil der  
  Wellenfunktion 194  
  Schrödinger-Gleichung  
  193

Zielscheiben-Analogie 271  
Zusammengesetzte Teilchen  
  244  
Zustand 41  
Zustandsgleichung  
   $\beta_{max}$  147  
   $\beta_{min}$  147  
  Drehimpuls 146  
Zustandsvektor 57  
  Adjungierter 68  
  anti-hermitesche  
  Operatoren 70  
  basislos 63  
  Dirac-Schreibweise 60  
  Eigenvektoren 74  
  Eigenwerte 74  
  Erwartungswert 66  
  im Hilbert-Raum 61

Ket-Vektor 60  
Kommutator 69  
kontinuierliche Darstellung  
  81  
  lineare Vektoren 68  
  Matrixdarstellung 80  
  Multiplikation von Bras und  
  Kets 62  
  Operatoren 65  
  Schwarz'sche Ungleichung  
  64  
  unitäre Operatoren 79  
  Unschärferelation 71  
  Wellenfunktion 82  
Zweiatomiges Molekül,  
  Rotationsenergie 149  
Zweiteilchensysteme 246  
Zweiter angeregter Zustand  
  215

