

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1	Klassische Mechanik	3
1.1	Newton'sche Mechanik	4
1.1.1	Raum und Zeit	4
1.1.2	Masse, Kraft und Trägheit	7
1.1.3	Axiome	11
1.1.4	Die Axiome verstehen	12
1.1.5	Kräfte	18
1.1.6	Die Axiome anwenden	20
1.2	Energie und Hamilton'sche Mechanik	22
1.2.1	Kinetische und potenzielle Energie	23
1.2.2	Hamilton'sche Mechanik	25
1.2.3	Erhaltungssätze	26
1.2.4	Relativistische Mechanik	27
1.3	Anwendungen in der Chemie	28
1.3.1	Relativkoordinaten für zweiatomige Moleküle	29
1.3.2	Translation	31
1.3.3	Moleküldimere als starre Rotoren	32
1.3.4	Moleküldimer als harmonischer Oszillator	35
1.3.5	Das Wasserstoffatom als Coulomb-Problem	37
1.4	Zusammenfassung	39
2	Wellen	41
2.1	Wellen	42
2.1.1	Wellengleichungen	44
2.1.2	Wellenfunktion	45
2.1.3	Eigenschaften der Wellengleichung	46
2.1.4	Wellenpakete	47
2.2	Eigenschaften: Unbestimmtheit, Dispersion, Interferenz und Randbedingungen	50
2.2.1	Unbestimmtheit	50
2.2.2	Dispersion	51

2.2.3	Interferenz	52
2.2.4	Randbedingungen: stehende Wellen	54
2.3	Elektromagnetische Wellen	55
2.3.1	Wellengleichungen.	55
2.3.2	Interferenz und Dispersion.	56
2.3.3	Energie einer Welle	56
2.4	Statistische Beschreibung von Materie: Diffusion.	58
2.5	Zusammenfassung und Fragen.	60
3	Grundlegende Experimente	63
3.1	Quanteneigenschaften des Lichts.	64
3.1.1	Geschichte und Konzepte.	64
3.1.2	Energieportionen	66
3.1.3	Impuls des Photons: Compton-Effekt	73
3.1.4	Drehimpuls des Photons.	75
3.1.5	Stehende Wellen.	76
3.2	Welleneigenschaften von Teilchen.	76
3.2.1	Teilchenmodelle des Atoms	77
3.2.2	Materie als Welle	80
3.3	Vertiefung: Was ist Licht?	84
3.3.1	Modelle des Lichts.	87
3.3.2	Semi-klassische Beschreibung: Wellenpakete	88
3.3.3	Besteht Licht aus Photonen?	89
3.4	Zusammenfassung	92
3.5	Zur Vertiefung: Herleitung der Strahlungsformeln aus der Thermodynamik.	94
4	Die Schrödinger-Gleichung	97
4.1	Eine Wellengleichung für Materie	98
4.1.1	Wellengleichung, Dispersionsrelation und Teilchenenergie	98
4.1.2	Die freie Schrödinger-Gleichung.	101
4.1.3	Schrödinger-Gleichung mit Potenzial	103
4.2	Teilchen in einer Wellenbeschreibung	105
4.2.1	Eigenschaften der Materiewellen: Quantenphänome.	105
4.2.2	Was schwingt?	108
4.2.3	Wahrscheinlichkeiten	111
4.2.4	Die Born'sche Regel	114
4.3	Zustand, Operatoren, Observable und Erwartungswerte	118
4.3.1	Der Zustand	118
4.3.2	Ortserwartungswerte	119
4.3.3	Impulserwartungswerte	121
4.3.4	Operatoren, Observable und Erwartungswerte	122
4.4	Zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung	124
4.5	Zusammenfassung	125
4.6	Anhang: Verteilungen und Mittelwerte	126

5	Formalismus I	129
5.1	Axiome und Rechenregeln	130
5.1.1	Axiome	130
5.1.2	Bedeutung	131
5.1.3	Formale Eigenschaften	132
5.1.4	Eigenwerte und Erwartungswerte	133
5.1.5	Keine Eigenfunktionen	136
5.1.6	Zwei Typen von Observablen	138
5.1.7	Zustand, Observable und Eigenschaften der Systeme	138
5.2	Statistik, Ensemble, Präparation	140
5.2.1	Ensemble und Präparation	142
5.2.2	Klassische Statistik: Ignoranz und vorliegende Eigenschaften	147
5.2.3	Quantenmechanik und Determinismus	150
5.3	Zusammenfassung	152
6	Interpretation I	155
6.1	Interpretation: Bild der Natur	156
6.1.1	Klassische Theorien	158
6.1.2	Abbild der Natur und wissenschaftlicher Realismus	160
6.2	Was beschreibt die Quantenmechanik?	162
6.2.1	Instrumentalismus, Einteilchen- und Ensembleinterpretation	163
6.2.2	Die ganze Welt oder immer nur Teile?	173
6.2.3	Orthodoxe Quantenmechanik und erweiterte Theorien	175
6.3	Status der Wellenfunktion	176
6.3.1	Die epistemische Interpretation	177
6.3.2	Argumente für eine ontologische Interpretation	181
6.4	Erklärung und Beschreibung	181
6.4.1	Beschreibung	182
6.4.2	Erklärung der Quanteneigenschaften?	184
6.5	Zusammenfassung und Fragen	187

Teil II Modellpotenziale

7	Kastenpotenziale	197
7.1	Freies Teilchen und Rechteckpotenziale	197
7.1.1	Freies Teilchen	197
7.1.2	Rechteckpotenziale	199
7.2	Der unendlich tiefe Potenzialtopf	201
7.2.1	Energie und Wellenfunktion	202
7.2.2	Aufenthaltswahrscheinlichkeit	204
7.2.3	Anwendung	205

7.3	Endlich tiefer Potenzialtopf	206
7.4	Barriere: Der Tunneleffekt	211
7.4.1	Wellenfunktion und Transmission	212
7.4.2	Anwendung	214
7.5	Zusammenfassung und Fragen	214
8	Der harmonische Oszillator	217
8.1	Der Hamilton-Operator und Schrödinger-Gleichung	218
8.2	Ansatz für die Wellenfunktion	219
8.2.1	Koordinatentransformation	219
8.2.2	Ansatz für die Wellenfunktion	220
8.3	Lösung der Differentialgleichung	221
8.3.1	Rekursionsformel	222
8.3.2	Quantisierungsbedingung und Energie	222
8.3.3	Lösungen	223
8.3.4	Normierung	224
8.4	Eigenfunktionen und Eigenwerte	225
8.4.1	Die Lösungen der Schrödinger-Gleichung	225
8.4.2	Aufenthaltswahrscheinlichkeit	228
8.4.3	Vergleich mit dem klassischen Oszillator	229
8.4.4	Anwendung	229
8.5	Zusammenfassung und Fragen	230
9	Rotationsbewegung in der Ebene	233
9.1	Drehbewegung – Drehimpuls	233
9.1.1	Drehimpuls klassisch	233
9.1.2	De Broglie und der Drehimpuls	234
9.2	Drehbewegung in zwei Dimensionen	236
9.2.1	Hamilton-Operator und Schrödinger-Gleichung	236
9.2.2	Lösung der Schrödinger-Gleichung	238
9.2.3	Eigenfunktionen und Eigenwerte	240
9.3	Drehimpuls	242
9.4	Zusammenfassung und Fragen	244
9.5	Anhang: Polarkoordinaten	245
10	Kastenpotenzial und Rotationsbewegung in zwei und drei Dimensionen	249
10.1	Kastenpotenzial und Separationsansatz	250
10.1.1	Zweidimensionales Kastenpotenzial	251
10.1.2	Dreidimensionales Kastenpotenzial	255
10.2	Die Drehbewegung in drei Dimensionen	255
10.2.1	Hamilton-Operator und Schrödinger-Gleichung	257
10.2.2	Lösung der Differentialgleichung	259
10.2.3	Eigenfunktionen und Eigenwerte	262
10.3	Der Drehimpuls in der Quantenmechanik	265
10.3.1	Quadrat des Drehimpulsoperators	265

10.3.2	Komponenten des Drehimpulses	266
10.3.3	Grafische Darstellung des Drehimpulsvektors.	268
10.3.4	Anwendung	271
10.4	Zusammenfassung und Fragen.	271
10.5	Anhang: Kugelkoordinaten	272
11	Das Wasserstoffatom.	275
11.1	Hamilton-Operator und radiale Schrödinger-Gleichung	278
11.1.1	Hamilton-Operator in Kugelkoordinaten.	278
11.1.2	Separationsansatz.	279
11.1.3	Effektive Schrödinger-Gleichung.	281
11.2	Ansatz für die Wellenfunktion	281
11.3	Lösung der Differentialgleichung	283
11.3.1	Atomare Einheiten	284
11.3.2	Rekursionsformel: Zugeordnete Laguerre-Polynome	285
11.3.3	Energiequantisierung	287
11.3.4	Normierung der Wellenfunktion	288
11.4	Energie und radiale Wellenfunktion.	289
11.4.1	Energieeigenwerte	290
11.4.2	Radiale Wellenfunktion	291
11.4.3	Radiale Aufenthaltswahrscheinlichkeit	292
11.5	Wellenfunktion des Wasserstoffatoms	294
11.5.1	Grafische Darstellung der Orbitale	295
11.5.2	Gemeinsame Eigenfunktionen.	296
11.5.3	Anwendung	298
11.6	Zusammenfassung und Fragen.	298
11.7	Anhang.	299
11.7.1	Motivation des Separationsansatzes.	299
11.7.2	Beweise	300
12	Formalismus II	303
12.1	Superpositionen	304
12.1.1	Vollständige Orthonormalsysteme (VONS).	304
12.1.2	Zustand und Erwartungswerte II: Superpositionen	307
12.2	Gemeinsame Eigenfunktionen und Kommutator.	313
12.2.1	Der Kommutator	314
12.2.2	Nicht-kommutierende Operatoren: Erwartungswerte und Standardabweichungen.	315
12.3	Beispiele.	317
12.3.1	Wellenpakete	317
12.3.2	Teilchen im Kastenpotenzial	321
12.3.3	Drehimpuls und Atomorbitale	325
12.3.4	Unbestimmtheit und Grundzustand	328
12.4	Zusammenfassung	329
12.5	Anhang.	331

13 Interpretation II	333
13.1 Superpositionen und Interferenzterme	334
13.1.1 Wellenpakete	337
13.1.2 Kastenpotenzial	342
13.1.3 Superpositionen im Doppelspalt	345
13.1.4 Schrödingers Katze	351
13.1.5 Superpositionen als qualitativ neue Zustände?	355
13.2 Was machen die Elektronen in den Orbitalen?	358
13.2.1 Einteilcheninterpretationen und klassische Ensemblevorstellungen	359
13.2.2 Haben Moleküle ein Dipolmoment?	362
13.2.3 Das Problem klassischer Interpretationsmodelle	366
13.3 Die Unbestimmtheitsrelation (UR)	367
13.3.1 Messung = Störung	368
13.3.2 ‚Objektive‘ Unbestimmtheit	372
13.4 Zusammenfassung	373

Teil III Chemische Konzepte

14 Kastenpotenzial: Ideales Gas und π-Elektronensysteme	383
14.1 Formen der Anregung	385
14.1.1 Ideales Gas: thermische Anregung	386
14.1.2 Anregung durch elektromagnetische Strahlung	388
14.2 Absorptionsspektren von π -Elektronensystemen	389
14.2.1 Polyene	391
14.2.2 Cyanine	392
14.2.3 Elektronengas und metallische Leitung	393
14.3 Zusammenfassung und Fragen	394
15 Moleküldimer als harmonischer Oszillator und starrer Rotor	397
15.1 Dimere als Einteilchenproblem	398
15.2 Harmonische Schwingungen zweiatomiger Moleküle	400
15.3 Spektrum des zweiatomigen Rotors	402
15.3.1 Energie und Spektrum des starren Rotors	402
15.3.2 Thermische Effekte	404
15.4 Vergleich von Kastenpotenzial, Rotation und Schwingung	406
15.5 Zusammenfassung und Fragen	408
16 Zwei Coulomb-Potenziale: Modell der chemischen Bindung	411
16.1 Hamilton-Operator und Variationsprinzip	412
16.1.1 Der Hamilton-Operator	412
16.1.2 Das Variationsprinzip	413
16.2 Der Ansatz für die Wellenfunktion	413
16.2.1 Der LCAO-Ansatz	414
16.2.2 Normierung	415

16.2.3	Die Energie.	417
16.2.4	Variationsprinzip: Orbitale bei minimaler Energie	417
16.2.5	Energie: Bindende und antibindende Zustände	418
16.3	Die Energie: Chemische Bindung	420
16.3.1	Die Gesamtenergie.	420
16.3.2	Born-Oppenheimer-Näherung und Potenzialenergiekurven	421
16.4	Vertiefung: Integrale und Wesen der chemischen Bindung	422
16.4.1	Die Integrale.	422
16.4.2	Interpretation der Integrale.	424
16.4.3	Diskussion der Gesamtenergie.	426
16.5	Zusammenfassung und Fragen.	427
17	Potenzialbarrieren: Tunneln in der Physik und Chemie.	431
17.1	α -Zerfall	432
17.2	Elektronentransfer	432
17.3	Chemische Reaktionen.	435
17.3.1	Protonentransfer.	436
17.3.2	Tunneln schwerer Elemente.	439
17.4	Zusammenfassung und Fragen.	440
 Teil IV Magnetfeld und Spin		
18	Der Spin	445
18.1	Drehimpuls und magnetisches Moment.	446
18.1.1	Magnetisches Moment.	446
18.1.2	Homogenes und inhomogenes Magnetfeld	447
18.1.3	Magnetisches Moment in der Quantenmechanik.	448
18.2	Der Stern-Gerlach-Versuch	449
18.2.1	Der Elektronenspin	450
18.2.2	Spinquantenzahl.	452
18.2.3	Wellenfunktion mit Spin	452
18.2.4	Interpretation	455
18.3	Zusammenfassung und Fragen.	456
19	Wechselwirkung von magnetischen Momenten mit Magnetfeldern	459
19.1	Die Störungstheorie	459
19.1.1	Kleine Störungen der Energie	460
19.1.2	Vertiefung: Reihenentwicklung der Energie und Wellenfunktion.	461
19.2	Energie des Wasserstoffatoms im Magnetfeld.	462
19.3	Kopplung von Bahndrehimpuls und Spin: Feinstruktur	464
19.3.1	Wechselwirkung magnetischer Momente	464
19.3.2	Klassische Kopplung von Drehimpulsen.	465
19.3.3	Quantenmechanische Beschreibung.	467
19.3.4	Der Gesamtdrehimpuls J	469

19.3.5	<i>LS</i> -Kopplung: Werte von j	472
19.3.6	Wechselwirkungsenergie	474
19.4	Zusammenfassung und Fragen.	475
19.5	Anhang: Störungstheorie	476
20	Formalismus III.	479
20.1	Messung	480
20.1.1	Quantenmechanische Beschreibung des Spins	480
20.1.2	Spin-Messung.	482
20.1.3	Messung: Kollaps der Wellenfunktion.	484
20.1.4	Messung nicht-kommutierender Observabler	488
20.1.5	Zwei Dynamiken	490
20.2	Zeit-(Un-)Abhängigkeit.	492
20.2.1	Zeitabhängigkeit der Wellenfunktion.	493
20.2.2	Zeitliche Änderung der Erwartungswerte	495
20.2.3	Zeit-Energie-Unschärferelation	497
20.3	Beispiele.	498
20.3.1	Freies Teilchen	498
20.3.2	Bewegung in Kastenpotenzialen	500
20.3.3	Harmonischer Oszillator	502
20.3.4	Wasserstoffatom.	504
20.3.5	Spinpräzession	507
20.4	Zusammenfassung	511
21	Interpretation III.	513
21.1	Spinmessungen	513
21.1.1	Messung und Kollaps.	513
21.1.2	Wann und wie geschieht der Kollaps?	516
21.1.3	Unwissen und Interferenzterme	519
21.1.4	Superpositionen und ihr Kollaps	520
21.1.5	Präparation und Messung.	522
21.2	Das Messproblem.	523
21.2.1	Problem I: gemessenes System	523
21.2.2	Problem II: Messgerät	524
21.2.3	Problem III: Was genau ist Messung?	525
21.2.4	Interpretationen	525
21.3	Dynamiken in Quantensystemen	527
21.3.1	Determinismus und Indeterminismus der Quantenmechanik.	527
21.3.2	Energieeigenfunktionen und Superpositionen	529
21.3.3	Wellenpakete	529
21.3.4	Wasserstoffatom.	532
21.3.5	Spinpräzession	536
21.4	Zusammenfassung	540

Teil V Atome und Moleküle

22	Zwei Elektronen: Produktansatz für die Wellenfunktion	547
22.1	Der Hamilton-Operator	548
22.2	Produktansatz	548
22.3	Störungstheorie	551
22.4	Variationsansatz	551
22.5	Energie und Elektronendichte: Hartree-Methode	552
22.6	Zusammenfassung und Fragen	556
23	Ansätze für die Vielelektronenwellenfunktion	559
23.1	Pauli-Verbot und Hartree-Fock	560
23.1.1	Pauli-Prinzip und Antisymmetrie	560
23.1.2	Antisymmetrische Wellenfunktionen	562
23.1.3	Slater-Determinanten	565
23.1.4	Berechnung der Gesamtenergie	566
23.1.5	Die Hartree-Fock-Methode	569
23.1.6	Effektive Schrödinger-Gleichung	570
23.2	Addition von Drehimpulsen	573
23.2.1	Addition von Bahndrehimpulsen	573
23.2.2	Spin: Singulett und Triplett	574
23.2.3	Vertiefung: Spinwellenfunktionen und deren Eigenwerte	576
23.2.4	Gesamtdrehimpuls J	578
23.3	Zusammenfassung und Fragen	578
24	Elektronenstruktur der Atome	583
24.1	Energien der Orbitale und elektronischer Aufbau	584
24.1.1	Atomorbitale und Orbitalenergien	584
24.1.2	Slater-Determinanten	585
24.1.3	Abschirmung	585
24.1.4	Elektronischer Aufbau	587
24.1.5	Atomradien, Ionisierungsenergien und Elektronenaffinitäten	588
24.2	Kopplung von Drehimpulsen	591
24.2.1	Russel-Saunders: L - S -Kopplung	592
24.2.2	J - J -Kopplung	595
24.3	Zusammenfassung und Fragen	595
25	Zweiatomige Moleküle	599
25.1	Methodik: Effektive Schrödinger-Gleichung und Molekülorbitale	600
25.1.1	Effektive Schrödinger-Gleichung und Molekülorbitale	600
25.1.2	LCAO-Ansatz	601
25.1.3	Lineare Gleichungssysteme	602

25.2	Elektronischer Aufbau von Dimeren	603
25.2.1	Das H ₂ -Molekül	603
25.2.2	Die Dimere He ₂ bis Ne ₂	604
25.2.3	Heteronukleare zweiatomige Moleküle	609
25.3	Charakterisierung der Molekülorbitale	611
25.4	Charakterisierung der Gesamtwellenfunktion	614
25.4.1	Gesamtenergie und Vielteilchenwellenfunktion	614
25.4.2	Spektroskopische Symbole	614
25.5	Zusammenfassung und Fragen.	617
26	Methoden der Quantenchemie.	619
26.1	Das LCAO-Verfahren.	619
26.2	Valenzbindungstheorie (VB)	620
26.2.1	Ansatz und Bindung.	620
26.2.2	Hybridisierung	621
26.3	Kovalente und ionische Zustände	622
26.4	Konfigurationswechselwirkung und Dichtefunktionaltheorie	624
26.5	Zusammenfassung und Fragen.	626
27	Näherungen für mehratomige Moleküle	629
27.1	Valenz-Elektronen-Näherung.	629
27.1.1	Pseudopotenziale	630
27.1.2	Effektive Valenzelektronen-Methoden.	632
27.2	Das Hückel-Verfahren	633
27.3	Zusammenfassung	637
28	Formalismus IV.	639
28.1	Ununterscheidbarkeit	640
28.1.1	Antisymmetrie und Unterscheidbarkeit	640
28.1.2	Unwissen und Unbestimmtheit	642
28.2	Separabilität und Verschränkung	644
28.3	Kollaps und Nicht-Lokalität	646
28.4	Orbitale und Potenziale	648
28.4.1	Pauli-Prinzip.	650
28.4.2	Orbitale.	651
28.4.3	Korrelation	652
28.5	Zusammenfassung	654
29	Interpretation IV.	655
29.1	Antisymmetrie, Ununterscheidbarkeit und Identität	656
29.1.1	Identität und Unterscheidbarkeit in der klassischen Physik	657
29.1.2	Identität und Unterscheidbarkeit in der Quantenmechanik I	660
29.1.3	Identität und Unterscheidbarkeit in der Quantenmechanik II.	662

29.2	Verschränkung, Korrelation und Nicht-Lokalität.	665
29.2.1	Einstein, Podolsky und Rosen (EPR).	666
29.2.2	Spins, Bell und Aspect.	667
29.2.3	Orsay-Experimente und quantenmechanische Vorhersagen	671
29.2.4	Konsequenzen	672
29.3	Welcher-Weg-Experimente	675
29.3.1	Mathematische Formulierung	677
29.3.2	Verschränkung von Weg und Messgerät	679
29.3.3	Quantum-eraser-Experimente und Messproblem	681
29.4	Dekohärenz	682
29.4.1	Ein weiteres Welcher-Weg-Experiment	683
29.4.2	Modell für Streuung im Doppelspaltexperiment	684
29.4.3	Modelle der Dekohärenz	687
29.4.4	Ist das Messproblem damit gelöst?	688
29.5	Zusammenfassung	690

Teil VI Spektroskopie

30	Absorption und Linienbreite	695
30.1	Absorption und Emission.	696
30.1.1	Lambert-Beer-Gesetz	698
30.1.2	Ratengleichungen.	699
30.1.3	Auswahlregeln	702
30.2	Linienverbreiterung	703
30.2.1	Dopplerverbreiterung	703
30.2.2	Natürliche Linienbreite	704
30.2.3	Stoßverbreiterung.	707
30.3	Vertiefung: Semi-klassisches Modell der Emission.	708
30.4	Zusammenfassung und Fragen.	713
30.5	Anhang: Vertiefung	714
31	Rotations- und Schwingungsspektroskopie	717
31.1	Anharmonischer Oszillator	717
31.2	Rotationsschwingungsspektren zweiatomiger Moleküle.	720
31.3	Mehratomige Moleküle	722
31.3.1	Rotation	722
31.3.2	Schwingungsmoden in mehratomigen Molekülen. . . .	723
31.4	Zusammenfassung und Fragen.	725
32	IR- und Raman-Spektroskopie	727
32.1	Moleküle in elektrischen Feldern.	728
32.1.1	Grundlagen.	728
32.1.2	Anregung von Schwingung und Rotation	730

32.2	Quantenmechanische Beschreibung von Infrarot- und Raman-Spektren.	732
32.2.1	Absorptionsspektroskopie	735
32.2.2	Raman-Spektroskopie	738
32.3	Klassische Beschreibung von Infrarot- und Raman-Spektren.	743
32.3.1	Dipolmoment und Polarisierbarkeit.	743
32.3.2	Kräfte	745
32.3.3	Absorptionsspektroskopie	746
32.3.4	Raman-Spektroskopie	747
32.4	Zusammenfassung und Fragen.	750
32.5	Anhang.	751
32.5.1	Anhang: Zeitabhängige Störungstheorie	751
32.5.2	Anhang Raman.	752
33	Elektronische Spektren von Molekülen	755
33.1	Grundlegendes	755
33.2	Anregungen elektronischer Zustände.	757
33.2.1	Potenzialenergieflächen	757
33.2.2	Born-Oppenheimer-Näherung	758
33.2.3	Absorptionsspektren.	759
33.3	Emission.	762
33.3.1	Strahlende Übergänge: Fluoreszenz und Phosphoreszenz	762
33.3.2	Strahlungslose Übergänge	765
33.4	Zusammenfassung und Fragen.	767
33.5	Anhang: Orbitale und Wellenfunktionen	768
34	Kernspinresonanzspektroskopie	773
34.1	Spin, magnetisches Moment und Magnetfelder.	773
34.2	Der Kernspin	774
34.3	Verwendung in der Spektroskopie	776
34.3.1	Magnetresonanz	777
34.3.2	Technische Realisierung.	778
34.4	Anwendung in der Strukturaufklärung	779
34.4.1	Chemische Verschiebung	779
34.4.2	Spin-Spin-Kopplung und Feinstruktur	782
34.4.3	Mechanismen der Kopplung	785
34.5	Pulse in der NMR.	786
34.5.1	Dynamik der Spin-Erwartungswerte in Magnetfeldern	788
34.5.2	Relaxation und Messung	792
34.5.3	Vektormodell in der NMR und klassische Erklärungen	793
34.6	Zusammenfassung und Fragen.	797

35 Interpretation V	801
35.1 Modelle und genaue Lösungen	802
35.2 Realismus.....	805
35.2.1 Modelle des Mikrokosmos.....	805
35.2.2 Neue Terminologie und Quantenrealismus	807
35.3 Eigenzustände, Eigenwerte und Erwartungswerte.....	812
35.3.1 Elemente der Realität, typische und mittlere Eigenschaften.....	813
35.3.2 ‚Fuzzy‘ Eigenschaften	816
35.4 Und was können wir nicht berechnen?	817
35.4.1 Modifikationen der Dynamik.....	819
35.5 Zusammenfassung	823
 Literatur	 827
 Stichwortverzeichnis	 831