

Vorlesungsprogramm „Quantenmechanik I“ 2025/26

Prof. Michael Bonitz, ITAP, CAU

1. Einführung

- 1.1. Quantenmechanik in der modernen Physik
- 1.2. Grundgleichungen der klassischen Theorie der Teilchen und Felder
- 1.3. Unzulänglichkeiten und Grenzen der klassischen Physik. Quanteneffekte [1]
- 1.4. Entdeckung der Energiequantisierung durch Max Planck

2. Grundlagen der Quantenmechanik

- 2.1 Doppelspaltexperiment mit klassischen Teilchen
- 2.2 Mathematischer Einschub: Wahrscheinlichkeitstheorie
- 2.3 Doppelspaltexperiment mit Wellen
- 2.4 Doppelspaltexperiment mit Mikroteilchen [2]
- 2.5 Wahrscheinlichkeits-Amplitude und Unschärfe
- 2.6 Die Schrödinger-Gleichung
- 2.7 Zeitentwicklung eines freien Quantenteilchens
- 2.8 Teilchen im Kastenpotential. Diskretes und kontinuierliches Energiespektrum
- 2.9 Der harmonische Oszillator
- 2.10 Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren
- 2.11 Kohärente Zustände

3. Der Mathematische Apparat der Quantenmechanik. Zustandsraum. Observable. Messung

- 3.1 Zustandsvektoren. Hilbertraum
- 3.2 Dynamische Größen (Observable). Operatoren im Raum der Zustandsvektoren
- 3.3 Mathematischer Einschub: Operatoren im Hilbertraum
- 3.4 Quantenmechanische Zustandsmessung. Vollständige Observable
- 3.5 Der quantenmechanische Messprozess
- 3.6 Quantenmechanische Darstellungen. Transformationstheorie
- 3.7 Vertauschbarkeit von Operatoren. Messbarkeit. Unschärfe

4. Quantenmechanische Dynamik

- 4.1. Dynamik der Zustandsvektoren. Zeitverschiebungsoperator
- 4.2. Dynamik der Operatoren. Schrödinger- und Heisenbergbild
- 4.3. Heisenberg-Gleichung
- 4.4. Erhaltungsgrößen
- *4.5. Wechselwirkungs-(Dirac) Bild. S-Operator

5. Drehimpuls. Radiale Schrödingergleichung. Wasserstoffatom

- 5.1. Quantentheorie des Drehimpulses
 - 5.1.1 Bahn-Drehimpuls-Operator
 - 5.1.2 Eigenwertproblem des allgemeinen Drehimpulses
 - 5.1.3 Bahn-Drehimpuls-Operator in der Ortsdarstellung
- 5.2. Schrödingergleichung im radialsymmetrischen Potential
- 5.3. Coulombpotential. Wasserstoffatom.
- 5.4. Eigenschaften der Lösungen der Radialen Schrödinger-Gleichung
- 5.5. Messungen am Wasserstoffatom. Wechselwirkung mit Strahlung. Auswahlregeln

6. Der Spin der Elementarteilchen. Zeemaneffekt. Pauligleichung

- 6.1. Zusammenhang zwischen Drehimpuls und magnetischem Moment
- 6.2. Die Experimente von Einstein/DeHaas und Stern/Gerlach
- 6.3. Der Spin der Elementarteilchen

- 6.4. Zustände mit Spin. Pauli-Matrizen
- 6.5. Pauli-Gleichung. Zeeman-Effekt
- 6.6. Teilchen mit Spin im Magnetfeld. Landau-Niveaus
- *6.7. Elektroneninterferenz im Magnetfeld. Aharonov-Bohm-Effekt. Flussquantisierung
- 6.8. Dynamik des Spins. Spinpräzession

7. Näherungsverfahren der Quantenmechanik [3]

- 7.1. Stationäre Störungstheorie
- 7.2. Nichtstationäre Störungstheorie
 - 7.2.1. Konstante Störung
 - 7.2.2. Periodische Störung
 - *7.2.3. Übergänge im kontinuierlichen Spektrum
 - *7.2.4. Grundlagen der quantenmechanischen Streutheorie
- *7.3. Wechselwirkungsbild der Quantenmechanik. S-Operator. Dirac-Störungstheorie
- *7.4. Variationsverfahren

***8. Einführung in die relativistische Quantenmechanik [4]**

- 8.1. Anforderungen an eine relativistische Quantenmechanik
- 8.2. Relativistische Wellenmechanik (I). Klein-Gordon-Gleichung
- 8.3. Relativistische Wellenmechanik (II). Dirac-Gleichung
- 8.4. Lösung der Dirac-Gleichung für ein freies Teilchen. Materie und Antimaterie

***9. Einführung in die Quantentheorie von Vielteilchensystemen [4,9]**

- 9.1. Grenzen der quantenmechanischen Zustandsbeschreibung. Dichteoperator. Von Neumann-Gleichung
- 9.2. Pfadintegral-Darstellung der Quantenmechanik. Exakte Vielteilchen-Quantenmechanik mit Pfadintegral-Monte Carlo [10]
- 9.3. Grundlagen der Quantenstatistik. Symmetriepostulat. Fermi- und Bosestatistik

***10. Zur Interpretation der Quantenmechanik**

- 10.1. Kopenhagener Interpretation
- 10.2. Beeinflusst der Beobachter das Messergebnis? Messungen ohne Kollaps der Wellenfunktion
- 10.3. Dekohärenztheorie

* abhängig vom Vorlesungstempo oder Gegenstand von Zusatzübungen (optional)

Literatur-Empfehlungen

- [1] W. Greiner: „Theoretische Physik“, Bd. 4 („Quantenmechanik Teil 1“)
- [2] R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands: „Feynman-Vorlesungen zur Physik“, Bd. 3
- [3] L.D. Landau, E.M. Lifschitz: „Theoretische Physik“, Bd. 3
- [4] A. Messiah: „Quantenmechanik“
- [5] F. Schwabl: „Quantenmechanik“
- [6] C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe: „Quantum Mechanics“, Bd. 1
- [7] A.S. Davydov: „Quantenmechanik“
- [8] S. Flügge: „Rechenmethoden der Quantenmechanik“
- [9] M. Bonitz: „Quantum Kinetic Theory“, 2nd ed. Springer 2016
- [10] T. Dornheim, S. Groth, and M. Bonitz, Phys. Reports 744, 1-86 (2018)
- [11] D.J. Griffiths, „Quantenmechanik. Lehr- und Übungsbuch“, Pearson