

Modulprüfung

Fortgeschrittene Theoretische Physik / Theoretische Physik II

Ablauf der Prüfung

In der Regel dauert die Prüfung 45 Minuten. Ich beginne immer mit dem Thema *Bewegung eines materiellen Teilchens* in der Quantentheorie (s. Punkt 1 unten). Danach prüfe ich zwei weitere Themen, in der Regel je ein aus der *Quantentheorie* (Punkte 2 bis 4) und ein aus der *Statistischen Physik* (Punkte 5 bis 7).

Prüfungsthemen

- 1. Bewegung eines materiellen Teilchens:** Postulate der Quantenmechanik, Quantenzustand, Observable, Orts- und Impulsoperator, Eigenwerte und Eigenfunktionen, Orts- und Impulsdarstellung, Wellenfunktion, Fourier-Transformation, Wellenpaket, statistische Interpretation, Erwartungswert und Standardabweichung, Reduktion des Zustands im Messprozess, Messung von kommutierenden und nicht-kommutierenden Observablen, Heisenberg-Unschärferelation, Korrespondenzprinzip, Hamilton-Operator, Drehimpulsoperator, Zeitentwicklungsoperator, Schrödinger-Gleichung, geladenes Teilchen im elektromagnetischen Feld, Wahrscheinlichkeitsstromdichte, Kontinuitätsgleichung, Ehrenfest-Theorem, stationäre Zustände, Eigenwertgleichung (stationäre Schrödinger-Gl.), Entwicklung nach stationären Zuständen, Zeitentwicklung des Wellenpakets eines freien Teilchens, Gauss-Wellenpaket, Heisenberg-Bild, klassischer Grenzfall
- 2. Drehimpuls:** Korrespondenzprinzip, Bahndrehimpulsoperator, Kugelfunktionen, Spin $\frac{1}{2}$, Stern-Gerlach-Experiment, Spinor, Spinoperatoren und Pauli-Matrizen, Drehimpulsalgebra, Leiteroperatoren, Eigenwerte des Drehimpulsoperators, Addition von Drehimpulsen, elektronische Quantenzustände, Zwei-Spin-System, Singulett, Triplett
- 3. Harmonischer Oszillator:** Hermite-Funktionen, Eigenenergien und Eigenzustände, Leiteroperatoren, algebraische Lösung, Zeitentwicklung, Ehrenfest-Theorem, kohärente Zustände, Dynamik der kohärenten Zuständen, (anisotroper) dreidimensionaler Oszillator
- 4. Zentralpotential und Wasserstoffatom:** Schwerpunktkoordinaten und relative Koordinaten, Eigenwertgleichung der relativen Koordinaten, Separation der Variablen, Kugelflächenfunktionen, Zentrifugalpotential, radiale Schrödinger-Gleichung, Streuung und gebundene Zustände, freies Teilchen, isotroper harmonischer Oszillator, Eigenenergien des Wasserstoffatoms, stationäre Störungstheorie, Zeeman-Effekt, Stark-Effekt
- 5. Thermodynamik:** Variablen und Zustand, Gleichgewicht, Wärme, adiabatische und reversible Prozesse, Zustandsgleichung, die 4 Hauptsätze der Thermodynamik, empirische und absolute Temperatur, Kreisprozess, Carnot-Maschine, Carnot-Satz, Entropie, thermodynamische Potentiale, Legendre-Transformation, Antwortfunktionen, spezifische Wärme, Kompressibilität und Suszeptibilität, ideales Gas

6. **Grundlagen der Statistischen Physik:** Quantenvielteilchensysteme, Dichteoperator, Gemisch, von Neumann-Gleichung, Zeitmittelung und Ensemblemittelung, reduzierte Dichtematrix, mikroskopische Definition der Entropie, Zentrales Postulat, Variationsrechnung, Minimierung unter Nebenbedingungen, statistische Gesamtheit, mikrokanonisches, kanonisches und großkanonisches Ensemble, klassischer Grenzfall, Systeme von harmonischen Oszillatoren und von nicht-wechselwirkenden Spins.
7. **Ideale Quantengase:** Identische Teilchen, Bosonen und Fermionen, Fock-Raum, Besetzungszahldarstellung, Bose-Einstein- und Fermi-Dirac-Verteilungsfunktionen, Einteilchen-Zustandsdichte, Photonengas, freies Bose-Gas und freies Fermi-Gas, klassischer Limes, Fermi-Temperatur und Fermi-Energie, Bose-Einstein-Kondensation, Debye- und Einstein-Phononen

Empfohlene Bücher

- F. Schwabl, *Quantenmechanik I*, Springer.
- W. Nolting, *Grundkurs Theoretische Physik 5/1, Quantenmechanik - Grundlagen*, Springer.
- W. Nolting, *Grundkurs Theoretische Physik 5/2, Quantenmechanik - Methoden und Anwendungen*, Springer.
- F. Schwabl, *Statistische Mechanik*, Springer.
- W. Nolting, *Grundkurs Theoretische Physik 4, Thermodynamik*, Springer.
- W. Nolting, *Grundkurs Theoretische Physik 6, Statistische Physik*, Springer.

Einführung in die Quantentheorie – SoSe 2010

Inhalt

- Der mathematische Formalismus und die Grundlagen der Quantentheorie
- Die nicht-relativistische Quantenmechanik materieller Teilchen

Die Vorlesung lehnt sich an folgende Lehrbücher an

- F. Schwabl, *Quantenmechanik*, Springer.
- W. Nolting, *Grundkurs Theoretische Physik 5/1, Quantenmechanik – Grundlagen*, Springer.
- W. Nolting, *Grundkurs Theoretische Physik 5/2, Quantenmechanik – Methoden und Anwendung*, Springer.

Vorlesungen (je 2 akademische Stunden)

[Sx.y \equiv Schwabl Kap. x.y, Nx.y \equiv Nolting Kapitel x.y]

1. Einführung [S1 und S2.1, N1 und N2.1]
2. Wellenfunktionen und Observablen [S2, N2]
3. Schrödinger-Gleichung [S2, N2]
4. Der Spin $\frac{1}{2}$ [S9, N5.2]
5. Mathematischer Formalismus I (Hilbert-Raum, Dirac-Notation, Basis und Darstellung) [S8, N3.2]
6. Mathematischer Formalismus II (Basis und Darstellung, Lineare Operatoren, Eigensystem) [S4 und S8, N3.2]
7. Grundlagen der Quantentheorie I (Zustände, Observablen und Messungen) [S4 und S8, N3.1, N3.3, N3.5]
8. Grundlagen der Quantentheorie II (Dynamik) [S4 und S8, N3.4 und N3.5]
9. Stationäre Zustände [S2.8]
10. Quantenmechanik eines Punktteilchens [S2, N2, N4.1 und N7.4.1]
11. Gebundene Zustände und Streuzustände, Tunneleffekt [S3.2 bis 3.7, S19, N4.1 bis 4.3]
12. Der harmonische Oszillator [S3.1, N4.4]
13. Algebraische Lösung des harmonischen Oszillators [S3.1, N4.4]
14. Bahndrehimpuls [N5.1, S5]
15. Zentralpotential [N6, S6, (S17)]
16. Drehimpulsalgebra [N5.1, S5]
17. Zusammengesetzte Systeme (Produktraum und Mehrteilchensysteme) [N8.1]
18. Identische Teilchen [N8.2, S10]
19. Addition von Drehimpulsen [N5.4, S10]
20. Geladenes Teilchen im elektromagnetischen Feld [S7]
21. Spin-Bahn-Kopplung [N5.3, S9, S12]
22. Variationsmethode [N7.1, N8.4, S11.2, S13.2, S15.3]
23. Stationäre Störungstheorie [N7.2, S11.1]

Statistische Physik - WS 2015/16

Die Vorlesung lehnt sich an das Lehrbuch *Statistische Mechanik* (2. Auflage, Springer) von F. Schwabl an. Für bestimmte Themen werden ergänzend die Lehrbücher *Grundkurs Theoretische Physik 4 – Thermodynamik* (7. Auflage, Springer) und *Grundkurs Theoretische Physik 6 – Statistische Physik* (5. Auflage, Springer) von W. Nolting hinzugezogen.

Gliederung

I. Grundlagen der Statistischen Physik

01. Vorlesung: Einführung und Wahrscheinlichkeitstheorie (Kap. 1.1,1.2 und 1.5.1)
02. Vorlesung: Klassische Statistik und Quantenstatistik (Kap. 1.3, 1.4, 1.5.2)
03. Vorlesung: Entropie und Ensembles (Kap. 2.1 bis 2.5)
04. Vorlesung: Mikrokanonisches Ensemble (Kap. 2.1 bis 2.5)
05. Vorlesung: Kanonisches Ensemble (Kap. 2.6)
06. Vorlesung: Großkanonisches Ensemble (Kap. 2.7)
07. Vorlesung: Klassische Statistische Physik (Kap. 2 + Nolting, Band 6, Kap. 1)
08. Vorlesung: Klassische Statistische Physik (Kap. 2 + Nolting, Band 6, Kap. 1)
und Thermodynamik I: 0. Hauptsatz (Kap. 3 + Nolting, Band 4, Teil 2, Kap. 1-3)
09. Vorlesung: Thermodynamik II: 1. Hauptsatz (Kap. 3 + Nolting, Band 4, Teil 2, Kap. 1-3)
10. Vorlesung: Thermodynamik III: 2. und 3. Hauptsatz (Kap. 3 + Nolting, Band 4, Teil 2, Kap. 1-3)
11. Vorlesung: Thermodynamik IV: Thermodynamische Potentiale und Antwortfunktionen
(Kap. 3 + Nolting, Band 4, Teil 2, Kap. 1-3)

Nicht behandelte Themen

- Phasen von Einstoffsystemen (Kap. 3.8)
- Gleichgewicht von mehrkomponentigen Systemen (Kap. 3.9)

II. Anwendungen und Rechenmethoden

1. Reale Gase und Flüssigkeiten

12. Vorlesung: Ideales Molekülgas (Kap. 5.1)
13. Vorlesung: Reales klassisches Gas I: Virialentwicklung (Kap. 5.3)
14. Vorlesung: Reales klassisches Gas II: Van der Waals-Zustandsgleichung (Kap. 5.4)

2. Ideale Quantengase

15. Vorlesung: Fermi-Dirac- und Bose-Einstein-Verteilungen (Kap. 4.1)
16. Vorlesung: Zustandsdichte / Photonengas (Kap. 4.1, 4.5)
17. Vorlesung: Bose-Einstein-Kondensation (Kap. 4.2, 4.4)
18. Vorlesung: Freies Fermi-Gas (Kap. 4.2, 4.3)

3. Magnetismus

19. Vorlesung: Magnetismus und Ising-Modell (Kap. 6.1-6.5)
20. Vorlesung: Transfermatrix-Methode (Anhang F)
21. Vorlesung: Molekularfeldnäherung (Kap. 6.5)

4. Phasenübergänge und kritische Phänomene

22. Vorlesung: Phasenübergänge und kritische Phänomene (Kap. 7.1, 7.2, 7.4)

Nur in den Übungen behandelt

- Phononen in Festkörpern (Kap. 4.6)

Nicht behandelte Themen

- Phononen und Rotonen in He II (Kap. 4.7)
- Gemisch von idealen Molekülgasen (Kap. 5.2)
- Verdünnte Lösungen (Kap. 5.5)
- Dipolwechselwirkung (Kap. 6.6)
- Verwandte Phänomene (Kap. 6.7)
- Renormierungsgruppe (Kap. 7.3)
- Perkolation (Kap. 7.5)

III. Systeme außerhalb des Gleichgewichtes

Stochastische Bewegungsgleichungen

- 23. Langevin-Gleichung und Brownsche Bewegung (Kap. 8.1)
- 24. Fokker-Planck-Gleichung (Kap. 8.2 und 8.3.1)

Kinetische Gastheorie

- 25. Boltzmann-Gleichung (Kap. 9.1, 9.2)
- 26. H-Theorem und lokale Maxwell-Boltzmann-Verteilung (Kap. 9.3)

Irreversibilität und Streben ins Gleichgewicht

- 27. Wiederkehrzeit und Dissipation (Kap. 10.1 - 10.3, 10.7)

Nur in den Übungen behandelt

- Relaxationszeitnäherung (Kap. 9.5.1)

Nicht behandelte Themen

- Beispiele und Anwendungen (Kap. 8.3.2 bis 8.3.4)
- Linearisierte Boltzmann-Gleichung (Kap. 9.4)
- Berechnung von W (Kap. 9.5.2)
- Mastergleichung und Irreversibilität in der Quantenmechanik (Kap. 10.4)
- Wahrscheinlichkeit und Phasenraumvolumen (Kap. 10.5)
- Gibbsche und Boltzmannsche Entropie und deren Zeitverhalten (Kap. 10.6)
- Entropietod (Kap. 10.8)

Anhänge

Nur Anhang F (Transfermatrix-Methode) wurde behandelt.