

## Theoretische Physik in zwei Semestern II

### Testfragen zur Quantenmechanik

---

#### Kapitel 1: Welle-Teilchen-Dualismus

- 1.1 Welche experimentellen Tatsachen weisen auf den Teilchencharakter des Lichts hin?
- 1.2 Warum lässt sich die Position eines Elektrons mittels elektromagnetischer Strahlung nicht beliebig genau festlegen?
- 1.3 Warum wächst die Energie eines Quantenteilchens an, wenn man versucht, es in einem kleinen Raumbereich einzusperren?
- 1.4 Welche Intensitätsmuster ergeben sich hinter einem Doppelspalt, wenn man ihn (a) mit einem klassischen Teilchenstrahl bzw. (b) mit einem Photonenstrahl beleuchtet?
- 1.5 Wie löst die Quantenmechanik den konzeptionellen Widerspruch zwischen Teilchen- und Wellenbild auf?

#### Kapitel 2: Die Schrödinger-Gleichung

- 2.1 Wie lautet die Dispersionsrelation  $\omega(k)$  (a) für eine elektromagnetische Welle und (b) für ein nichtrelativistisches Teilchen der Masse  $m$ ? Wie konstruiert man aus der letzteren die freie Schrödinger-Gleichung?
- 2.2 Wie lässt sich die Erhaltung der Wahrscheinlichkeit aus der Schrödinger-Gleichung ableiten, und warum ist diese Eigenschaft wichtig?
- 2.3 Wie lautet die präzise mathematische Definition der Unschärfe von Ort und Impuls?
- 2.4 Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der zeitabhängigen und der stationären Schrödinger-Gleichung.
- 2.5 Geben Sie das Energiespektrum und die Eigenfunktionen eines Teilchens im eindimensionalen Kastenpotential mit unendlich hohen Wänden an.

#### Kapitel 3: Der quantenmechanische Formalismus

- 3.1 Welche Eigenschaften charakterisieren den Hilbertraum der quantenmechanischen Zustände?
- 3.2 Wie lautet die verallgemeinerte Wahrscheinlichkeitsinterpretation?
- 3.3 Welche Eigenschaft charakterisiert einen hermiteschen Operator?
- 3.4 Was lässt sich über die Ergebnisse der Messung einer Observablen  $\hat{A}$  sagen, wenn sich das System (a) in einem Eigenzustand von  $\hat{A}$  bzw. (b) in keinem Eigenzustand von  $\hat{A}$  befindet?
- 3.5 Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Vertauschbarkeit zweier Operatoren  $\hat{A}$  und  $\hat{B}$  und der gleichzeitigen scharfen Messbarkeit der zugehörigen Observablen?
- 3.6 Wie lautet die Unschärferelation für Ort und Impuls, und wie hängt sie mit dem Kommutator der beiden Größen zusammen?

## Kapitel 4: Eindimensionale Potentialprobleme

- 4.1 Wie tief kann ein quantenmechanisches Teilchen mit Masse  $m$  und Energie  $E$  in eine Potentialstufe der Höhe  $V_0 > E$  eindringen? Wie hängt die Wahrscheinlichkeit, eine rechteckige Potentialbarriere der Höhe  $V_0$  zu durchtunneln, von ihrer Breite ab? Sie können annehmen, dass die Breite viel grösser als die Eindringtiefe ist.
- 4.2 Ein quantenmechanisches Teilchen wird in einer Dimension an einem Potential gestreut, das nur im Bereich  $a < x < b$  von Null verschieden ist. Geben Sie die Form der Wellenfunktion für  $x < a$  und  $x > b$  an, und definieren Sie den Reflexions- und den Transmissionskoeffizienten.
- 4.3 Wie lautet das Energiespektrum des eindimensionalen harmonischen Oszillators?
- 4.4 Wie lauten die Vertauschungsrelationen für die Auf- und Absteigeoperatoren des eindimensionalen harmonischen Oszillators, und warum nennt man diese Operatoren auch Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren?
- 4.5 Wie lauten die Ehrenfest'schen Gleichungen für die Bewegung eines Teilchens in einem eindimensionalen Potential?

## Kapitel 5: Struktur der Atome

- 5.1 Wie lauten die Vertauschungsrelationen der drei Komponenten des Drehimpulsoperators  $\vec{L}$ ?
- 5.2 Welche Eigenwerte haben  $\vec{L}^2$  und  $L_z$ ? Warum ist der Eigenwert von  $L_z$  stets echt kleiner als die Wurzel des Eigenwertes von  $\vec{L}^2$ ?
- 5.3 Warum sind die Eigenwerte von  $L_z$  ganzzahlige Vielfache von  $\hbar$ ? In welchem physikalischen Kontext kommen halbzahlige Vielfache von  $\hbar$  vor?
- 5.4 Wie sieht das effektive Potential für die Radialbewegung des Elektrons im Wasserstoffatom aus?
- 5.5 Wie sieht das Energiespektrum des Wasserstoffatoms aus, und wie stark sind die verschiedenen Energie-Eigenwerte entartet?
- 5.6 Wie sieht die Wellenfunktion eines dreidimensionalen Streuzustandes ausserhalb der Potentialregion aus?

## Kapitel 6: Mehrteilchensysteme

- 6.1 Welche Konsequenz hat die grundsätzliche Ununterscheidbarkeit von Elementarteilchen für die Wellenfunktion eines Mehrteilchensystems?
- 6.2 Wodurch unterscheiden sich Fermionen und Bosonen? Welche Beispiele für die beiden Sorten von Elementarteilchen sind Ihnen bekannt?
- 6.3 Wie lautet das Pauli-Prinzip?
- 6.4 Erläutern Sie das Phänomen der statistischen Anziehung von Bosonen.
- 6.5 Beschreiben Sie das Gedankenexperiment von Einstein, Podolsky und Rosen in der Version von Bohm, und geben Sie eine Form der Bell'schen Ungleichung an.

## Kapitel 7: Relativistische Wellengleichungen

- 7.1 Welche relativistischen Wellengleichungen sind Ihnen bekannt?
- 7.2 Beschreiben Sie (qualitativ), in welcher Weise die Dirac-Gleichung der Existenz des Elektronenspins und des Positrons Rechnung trägt.