

Fach: Theoretische Physik		
PrüferIn: Shnirman		
<input checked="" type="radio"/> BP <input type="radio"/> NP <input type="radio"/> SF <input type="radio"/> EF <input type="radio"/> NF <input type="radio"/> LA	Datum: 25. Juli 2019	Fachsemester: 6
Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D, Theo E, Theo F		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Keine		

## Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -
Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
Verwendete Literatur/Skripte: Im Wesentlichen jeweils die Bände QM1 & QM2 von Schwabl, Nolting sowie Cohen-T. für Theo D und Theo E. Hilfreich für die relativistische QM sind außerdem die Skripte auf leech. Für Theo F der Vorlesungsmitschrieb von Prof. Mirlin, Schwabl "Statistische Mechanik" und Nolting "Statistische Physik". Vor allem die Bücher von Schwabl sind sehr empfehlenswert, da sie eine klare Notation verfolgen und man sich so schnell einen Überblick verschaffen kann.
Dauer der Vorbereitung: Sechs Wochen, im Schnitt fünf Tage pro Woche à sechs Stunden
Art der Vorbereitung: Themen identifiziert, die in nahezu allen Protokollen abgefragt werden. Dann in der Literatur spezifisch zu diesen Themen gelesen und Zusammenfassungen geschrieben. Dann aus dem Gedächtnis Themen (schriftlich) wiedergegeben und dazu erklärt, als ob ich in der Prüfung sitzen würde. In den letzten zwei Wochen ein paar Mal mit einem Kommilitonen getroffen, um Protokolle durchzugehen und die Prüfung zu simulieren.
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Auf Verständnis lernen, da ihm schnell auffällt, wenn man etwas nicht verstanden hat und er gegebenenfalls auch nachhakt. Ansonsten sind die Protokolle ein sehr guter Anhaltspunkt, was den Inhalt und Ablauf der Prüfung betrifft. Sicher sollte man bei seinen Standardproblemen sein (Stark-Effekt, Ls-Kopplung, Teilchen auf dem Ring mit B-Feld, ...) und die Lösung am besten auswendig kennen. Der Schwerpunkt der Vorbereitung sollte klar auf Theo F liegen, obwohl man sich auch in der QM (vor allem zeitabhängige Störungstheorie) gut auskennen muss.

## Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Sehr strukturiert: zunächst Theo D, dann Theo E und zum Schluss erst Theo Fa, dann Fb. Den Verlauf der Prüfung kann man eigentlich nicht durch Antworten beeinflussen. Sobald er merkt, dass man sicher in einem Thema ist, bricht er ab und stellt eine andere Frage.
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Er gibt Zeit zum Nachdenken und drückt die Frage wenn nötig anders aus. Wenn man ganz auf dem Schlauch steht, führt er einen Stück für Stück zur Antwort.
Kommentar zur Prüfung: Sehr angenehm, obwohl er bei manchen Themen immer wieder nachgehakt hat.
Kommentar zur Benotung: 1.0, trotz meines Aussetzers bei der Entartung der durch Ls-Kopplung gestörten Niveaus im H-Atom.

Die Schwierigkeit der Prüfung: Wie sieht die Entartung für  $n=2$  im H-Atom aus, wenn Ls-Kopplung berücksichtigt wird? (Hier stand ich absolut auf dem Schlauch, obwohl die Frage nicht schwierig ist. Er hat mich dann Schritt für Schritt auf die Lösung gebracht. Nach der Prüfung meinte er, dass man sich einen Aussetzer erlauben dürfe. Sehr großzügig!)  
Für welche Zeiten darf man Fermis Goldene Regel benutzen?

## Die Fragen

- zeitabhängige Schrödinger-Gl.: was ist  $H$ ,  $\Psi$ ? Was ist ein Hilbertraum und Beispiele?
- zeitunabhängige Schrödinger-Gl.: Entwicklung nach Eigenfunktionen, Zeitentwicklungsoperator. Bekommt man durch Lösen der zeitunabhängigen Gleichung alle Lösungen der zeitabhängigen?
- Wellenpakete: was können Sie dazu sagen? wie sieht es mathematisch aus? Wenn freies Teilchen zur Zeit  $t=0$  am Ort  $\vec{r}_0$  ist und sich mit Geschwindigkeit  $\vec{v}_0$  bewegt, wie hängen diese Größen mit den Größen im Integral zusammen? (Methode der stationären Phase) Was ist  $E(\vec{p})$  im klassischen und relativistischen Fall?
- Potentialstufe der Höhe  $V$  in 1D: was geschieht mit einem Wellenpaket, das auf diese Potentialstufe trifft in Abhängigkeit von seiner Energie? Hier war er nur an einer qualitativen Diskussion interessiert
- H-Atom: Hamiltonian in Relativkoordinaten? Warum ist es sinnvoll, Kugelkoordinaten zu wählen? Welche Erhaltungsgrößen und warum? Entartung? Vollständiges System kompatibler Observablen? Ist jede Komponente des Drehimpulses erhalten? Ja, aber man kann nicht mehr als eine scharf messen, da sie untereinander nicht vertauschen. Dass jede erhalten ist, sollte ich über die BGL im Heisenberg-Bild zeigen. Wie kann die Entartung im H-Atom aufgehoben werden?
- Ls-Kopplung als konkretes Beispiel für Aufhebung der Entartung: Wie sieht der Hamiltonian aus? Zur Lösung Basiswechsel in die  $\{j, m, l, s\}$  Basis. Dann die bereits erwähnte Frage, wie die Entartung für den  $n=2$  Fall aussieht.
- Drehimpulsalgebra: "Überzeugen Sie mich, dass eine Drehimpulsquantenzahl nur ganz- oder halbzahlige Werte annehmen kann!" Über Auf- und Absteiger gezeigt, bis er abgebrochen hat. Warum ist  $l$  im H-Atom dann nur ganzzahlig? Erklärt, dass man mathematisch gesehen einen Separationsansatz machen kann und für die Winkelabhängigkeit auf eine Legendre-DGL kommt, die nur ganzzahlige  $l$  zulässt. Das hat ihm gereicht. Keine Ahnung ob es eine gute physikalische Begründung gibt.
- Zeitabhängige Störungstheorie: Wechsel ins Ww-Bild, Dyson-Reihe. Als konkretes Beispiel sollte ich einen HO im Grundzustand betrachten mit Störung proportional  $x^3$ . Welche Endzustände kann man nach einer Zeit  $t$  in erster bzw. zweiter Ordnung Störungstheorie finden? Übergangsamplitude für Übergang in den ersten angeregten Zustand?
- Fermis Goldene Regel: grob Herleitung umrissen. Er wollte dann ganz genau wissen, wann die Goldene Regel anwendbar ist und wollte zunächst hören, dass dies nur, wenn die Zustände als quasikontinuierlich aufgefasst werden können, der Fall ist. Die delta-Funktion kann dann nämlich durch die Zustandsdichte ersetzt werden, was physikalisch sinnvoller ist. Unangenehm wurde es, als er wissen wollte, für welche Zeiten eigentlich diskrete Zustände als quasikontinuierlich aufgefasst werden können. Nach einigem Hin und Her bin ich darauf gekommen, dass die Zeit so groß sein muss, dass das Energieintervall, in dem die Zustände liegen, den Peaks von  $\sin^2(\omega/2 * t) / (\omega^2/4 * t)$  überdecken muss. Nur dann darf diese Funktion als delta-förmig angenähert werden. Andererseits darf die Zeit nicht so groß sein, dass der Peak der Funktion so scharf wird, dass er zwischen zwei diskreten Zuständen liegt. Allgemein sollte man sich bei der Goldenen Regel auch in solchen Details wirklich gut auskennen!
- Relativistische Quantenmechanik: Dirac-Gleichung in kovarianter Form? Was ist  $\Psi$ ? Hier legt er Wert darauf, dass  $\Psi$  ein Spinor ist (kein Vektor!), da Spinoren ein anderes Transformationsverhalten als Vektoren haben. Pauli-Gleichung? Wann ist sie gültig? Herleitung kurz umrissen. Für Antiteilchen?
- Großkanonische Dichtematrix: Über was läuft die Summation? (Mikrozustände, die Vielteilchenzustände sind)
- Großkanonische Zustandssumme: wie kommt man zu einer Darstellung, die für ein ideales Gas geeignet ist? Da keine Ww, kann man für jeden Einteilchenzustand über die Besetzungszahlen summieren und über alle Einteilchenzustände summieren.
- Van-der-Waals-Gas: Was ist Virialentwicklung und wann darf man sie benutzen? Wie macht man sie? Klassische Zustandssumme für zwei Teilchen?
- BEK: wovon hängt ab, ob BEK auftritt? Dispersionsrelation und Dimension. BEK tritt dann auf, wenn man in angeregten Zuständen für  $\mu$  gegen 0 eine begrenzte Anzahl Teilchen unterbringen kann. Somit muss das Integral über Produkt aus Zustandsdichte und  $n_B$  konvergieren. Wie sieht das chemische Potential  $\mu$  in Abhängigkeit von  $T$  aus? Ist  $\mu$  für  $T < T_c$  immer 0? Nein, nur im thermodynamischen Limes. Und für endliches Volumen? An der mittleren Dichte sieht man, dass der Grundzustand makroskopisch besetzt ist, wenn sich  $1-z$  wie  $1/V$  verhält. Für  $V$  endlich ist also  $z < 1$  und damit  $\mu < 0$  aber nahe bei 0. Ordnung

des Phasenübergangs? Welche Ordnung hat der Phasenübergang?

- Landau-Theorie: viel erklärt, wann sie anwendbar ist, was der Ordnungsparameter ist, wie das Landau-Feld aussieht, etc. Er wollte dann noch explizit den Term mit dem Gradienten sehen und hat gefragt, ob ich die Korrelationslänge herleiten könne. Das konnte ich leider nicht, da ich es mir überhaupt nicht angesehen hatte. Aber da diese Frage in keinem Altprotokoll, das ich angeschaut hatte, vorkam, war mir schon klar, dass es nicht so schlimm ist und die Prüfung ganz gut gelaufen sein muss. Wir haben dann noch qualitativ über Fluktuationen, die Mean Field Theorie und für welche Temperaturen und Dimensionen (Ginzburg-Landau) sie anwendbar ist, gesprochen. Hier wusst ich zum Glück wieder ganz gut Bescheid.

