Fach: Theoretische Physik		
PrüferIn: Shnirman		
⊗ BP ◯ NP ◯ SF ◯ EF ◯ NF ◯ LA	Datum: 08. März 2017	Fachsemester: 7
Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D,E,F		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? keine		

Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: keine
Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: keine
Verwendete Literatur/Skripte: Theo D/E: Messiah (kann ich aber nur bedingt empfehlen zum Nachschlagen), Cohen-Tannoudji, Sakurai, Skript Steinhauser Theo E WS 12/13 Theo F: Schwabl (sehr zu empfehlen, aber ausführlich), Fließbach, Skript SS14 Schmalian, SS09 Folien Shnirman
Dauer der Vorbereitung: 6 Wochen mit Pausen, effektiv wohl 4 Wochen mit ca. 4 Stunden pro Tag
Art der Vorbereitung: allein, gegen Ende viel abfragen lassen
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Verständnis ist wichtig, dazu hilft es, "Schlüsselprobleme" (z. B. Feinstruktur, Bose/Fermi-Statistik selber durchzurechnen, um konkrete Nachfragen beantworten zu können. In Theo D/E kommen häufig seine Standardprobleme mit Störungen (Wasserstoff-Atom, Teilchen auf Kreisbahn + Aharonov-Bohm-Effekt, Störung x^3 oder p^3 zum harm. Oszillator), in Theo F kann auch mal eine Zustandssumme für ein neues System drankommen.

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Angenehme Atmosphäre, er ist relativ schnell zu weiterführenden Fragen übergegangen, als er gemerkt hat, dass die Grundlagen sitzen. Dadurch konnte ich manchmal nicht direkt antworten, ihm ist aber bewusst, welche Fragen er gerade stellt und wie er sie benoten sollte.
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Versucht, Hinweise und Lösungsansätze zu geben. Wenn er merkt, dass eine Antwort kommt, die er nicht hören wollte, bricht er ab und versucht, die Frage umzuformulieren.
Kommentar zur Prüfung: Empfehlenswert, wenn Theo F gut sitzt und man allgemein guten Überblick hat (so dass man versteht, wo seine Fragen hinzielen)
Kommentar zur Benotung: 1,0, obwohl ich bei seinen weiterführenden Fragen nicht immer gut/direkt antworten konnte
Die Schwierigkeit der Prüfung: Verstehen, auf welchen Aspekt er gerade heraus will; konkret: In welchen Dimensionen tritt Bose-Einstein-Kondensation auf?

Die Fragen

Ich gebe immer den Themenbereich und seine konkreten Nachfragen an, damit man sich ein Bild machen kann, auf welche Details man vorbereitet sein sollte:
F Fragen
A Antworten
F: Wie sieht die zeitabhängige Schrödingergleichung aus? Was ist H?
A: Hamiltonoperator, stellt Energie dar.
F: Kann H zeitabhängig sein? Stellt er dann immer noch die Energie dar?
A: Ja und ja, Energie ist aber nicht mehr erhalten.
F: Was ist Psi?
A: Zustandsvektor, beschreibt den Zustand im Hilbertraum.
F: Was ist ein Hilbertraum? Welche Hilberträume kennen sie?
A: Raum mit Skalarprodukt, vollständig bzgl. induzierter Norm. Spin, freies Teilchen, harm. Oszillator.. wollte explizit auf den Hilbertraum des freien Teilchens (Raum der quadratintegrablen Funktionen) hinaus
F: Folgt aus dieser Gleichung jetzt die gesamte Quantenmechanik?
A: Nein, man muss noch festlegen, was und wie gemessen wird. (dann habe ich das Postulat mit Observable -> hermit. Operator, Messwerten und Entwicklung in Eigenfunktionen (möglich wg. Vollständigkeit) erklärt
F: Ja, aber wie sieht jetzt die Wahrscheinlichkeit aus, z. B. einen bestimmten Impulswert zu messen?
A: w(p) = Betragsquadrat von <p|psi>.
F: Das ist jetzt eine kontinuierliche Größe, können sie das bitte mathematisch etwas sauberer fassen.
A: links dp ergänzt, dann hat er schon abgebrochen.
F: Wie sieht der Zeitentwicklungsoperator für einen zeitabhängigen Hamiltonoperator auf?
A: Lösung mit Zeitordnungsoperator + Exponentialfunktion hingeschrieben (hier war zuerst nicht klar, ob er eine Herleitung sehen wollte, wollte er nicht)
F: Warum brauchen sie den Zeitordnungsoperator?
A: Habe kurz die Herleitung mit Integration über Dreieck -> Symmetrisierung mit Zeitordnungsoperator -> Exponentialreihe mit 1/n! skizziert, er wollte aber nur hören, dass H zu unterschiedlichen Zeiten nicht unbedingt miteinander vertauscht.
F: Und was mache ich mit der Schrödingergleichung, wenn H zeitunabhängig ist?
A: Separationsansatz führt auf stationäre Schrödingergleichung, Eigenwertgleichung von H.
F: Wie entwickelt sich dann die Lösung zeitlich?
A: für Eigenfunktion aufgeschrieben, darauf hingewiesen, dass das eben der Spezialfall des Zeitentwickl für zeitunabhängigen H ist.
F: Gibt mir das alle Lösungen?
A: Nein, ich kann Superpositionen bilden, unterschiedliche Frequenzen in der Zeitentwicklung.
F: Was hat das mit Wellenpaketen zu tun?
A: stationäre Lösungen des freien Hamiltonoperators nicht quadratintegrabel, deshalb Superpositionen -> Integral mit g(k) hingeschrieben und erwähnt, dass g(k) quadratintegrabel sein muss.
F: Wie finde ich jetzt heraus, wo dieses Wellenpaket zur Zeit t=0 ist?
A: (habe es allgemein für alle Zeiten gemacht) Stationäre Phase, beim Maximum von |g(k)| müssen sich Amplituden konstruktiv überlagern -> Phase muss stationär sein. Bedingung mit Nabla(Phase(g(k)) + kr + w(k)*t) = 0 hingeschrieben.
F: Stellen wir uns vor, wir haben ein Elektron auf einer Kreisbahn, innerhalb derer ein magnetischer Fluss auftritt, wobei das Magnetfeld auf der Kreisbahn aber null ist. Wie sehen die Lösungen aus?
A: Lösungen wie exp(2*\pi*i*m \phi) mit m ganzzahlig, aber Energieverschiebung aufgrund von magnetischer Fluss. Hamiltonoperator hingeschrieben, erklärt, wie man auf das Vektorpotential kommt (magnetischer Fluss + Satz von Stokes) und p mit d/(d\phi) geschrieben (ich hatte ein 1/r^2 vergesen, da hat er mich dann drauf hingewiesen, dass p so nicht stimmt). Danach hat er dann abgebrochen.
F: Hamiltonoperator des Wasserstoffatoms?
A: angesetzt, auf seinen Einwand hin direkt nur den Relativhamiltonian.
F: Was sagt uns das Noethertheorem über Erhaltungsgrößen in diesem System?
A: Rotationssymmetrie -> Drehimpuls; Zeittranslation -> Energie.
F: Alle Komponenten vom Drehimpuls?
A: Ja, für die Charakterisierung der Eigenfunktionen muss ich aber eine auswählen, weil die nicht untere vertauschen.
F: Was ist also hier das vSkO?
A: L^2,L_z und H.
F: Warum brauche ich das?
A: Weil dann die Eigenfunktionen durch deren Eigenwerte vollständig festgelegt sind, hier wollte er explizit das Stichwort "Entartung" hören.
F: Wie sieht das Spektrum auf?
A: Rydberg-Formel hingeschrieben.
F: Im He+-Ion? Warum?
A: Faktor 4 in Rydberg-Energie. Ich habe ihm halbklassisch abgeschätzt, dass die Rydberg-Energie proport zu Z^2 sein muss, er wollte eigentlich nur hören, dass die proportional zu e^4 ist und nicht warum.

F: Entartung? Mit Spin?
A: n^2 bzw. 2*n^2.
F: Wie kann ich die Entartung aufheben?
Feinstruktur, elektrisches oder magnetisches Feld (Zeeman/Stark). Er hat dann explizit noch nachgefragt, bis "Lamb-Shift" kam, mich dann gefragt, ob ich schon TTP gehört hätte (nein) und dann davon abgelassen (zum Glück).
F: Also machen wir mal den Stark-Effekt für n=2. Was passiert?
A: entartete Störungstheorie, Störmatrix aufgeschrieben, dabei Auswahlregeln für die Matrixelemente erwähnt. Er wollte explizit das Stichwort "Parität" hören (für l-l' ungerade) und hat dann gefragt, wo l=l' +- 1 dann herkommt. Ich habe gesagt, aus [L^2,z], er meinte dann, dass das so wahrscheinlich folgt, sonst könnte man z in Kugelflächenfunktionen entwickeln. Dann habe ich die neuen Eigenzustände (200 und 210 mischen) aufgeschrieben und gesagt, dass der eine nach oben und der andere nach unten verschoben wird.
F: Und wenn ich jetzt das E-Feld nicht in z-Richtung lege?
A: Dann drehe ich mein Koordinatensystem.
F: Wenn ich jetzt am Anfang im Zustand 200 bin und plötzlich dieses E-Feld einschalte, mit welcher Wahrscheinlichkeit bin ich dann später noch in diesem Zustand?
A: oszilliert (F: mit welcher Frequenz?) mit Energieverschiebung/h.
F: Hätte ich das auch mit Fermis goldener Regel/zeitabhängiger Störungstheorie bekommen?
A: Nein, dort hätte ich nur den ersten Term der Taylorentwicklung (proportional zu t^2) bekommen.
F: Wie sähe denn zeitabhängige Störungstheorie überhaupt aus?
A: Wechsel ins Wechselwirkungsbild mit Zeitentwicklung (siehe oben), er wollte explizit die Transformati für Operatoren sehen, Integration der Gleichung und iterative Lösung.
F: Gut, jetzt nehmen wir mal einen harmonischen Oszillator im Grundzustand und schalten eine Störung proportional zu x^3 ein. Was liefert die zeitabhängige Störungstheorie in welcher Ordnung für Übergänge?
A: (hier habe ich etwas zeitabhängige und unabhängige Störungstheorie durcheinander gebracht, deshalb hat die Antwort etwas länger gedauert). Als ich dann aber mal sauber in die Integralgleichung eingesetzt habe, kam es richtig raus: In erster Ordnung nur Übergänge in |1> und |3> (wg. x^3 mit Auf- und Absteige In zweiter Ordnung Übergänge in gerade Zustände, da habe ich die Reihe bis zur zweiten Ordnung ausgeschr (auf die Reihenfolge der V(t) achten, das hat er überprüft!), damit mir das wirklich klar wurde. Währenc dem ganzen Gefummel hatte ich dann auch die Zustandskorrektur in zeitunabhängiger Störungstheorie stehen gehabt, daran hat er dann angeknüpft.
F: Das ist ja richtig, dass sie das auch in zeitunabhängiger Störungstheorie hätten machen können, die Störung ist schließlich im Prinzip konstant. Wie finde ich jetzt diesen Nenner (E_n-E_m) in der zeitabhängigen Störungstheorie wieder?
A: Hier habe ich gehangen und er musste mir auf die Sprünge helfen -> kommt aus der Integration des Exponentialfaktors im WW-Bild.
F: Okay, dann schreiben sie bitte mal die Diracgleichung in kovarianter Form auf.
A: gemacht, erläutert, was Psi hier ist und wie die gamma-Matrizen antikommutieren müssen, und woher das kommt (rel. Energie-Impuls-Beziehung bzw. Klein-Gordon-Gleichung).
F: mit elektromagnetischem Feld?
A: hingeschrieben, minimale Kopplung.
F: Energiespektrum?
A: E=E(p) hingeschrieben, mit +- vor der Wurzel.
F: Und für welche von diesen Energien gilt jetzt die Pauligleichung?
A: pc « mc^2, außerdem (nach Nachfrage von ihm) nur für die positive Lösung.
F: Und für negative Lösung?
A: dann drehen sich alle Massen um, da ich die andere Zeitentwicklung abspalte (F: negative Massen sind doch irgendwie schlecht), dass löse ich, indem ich anstattdessen die Ladung umdrehe -> Antiteilchen
F: Was war Diracs große Leistung mit der Pauligleichung?
A: Landé-Faktor des Elektrons.
F: Welche Ordnung in v/c hat die Pauli-Gleichung?
A: Hier habe ich mich geirrt, weil ich die Entwicklung der Energieimpulsbeziehung gedacht habe, wo ungerade Terme verschwinden. Richtig ist 1. Ordnung, in 2. Ordnung bekomme ich die Feinstruktur.
F: Welche Terme in der Feinstruktur?
A: rel. Korrektur aus Taylorreihe, Darwinterm wie Laplace-V, Spin-Bahnkopplung L*S.
F: Okay, nun zur Thermodynamik: Geben Sie mir eine thermodynamische und eine statistische Definition der Entropie.
A: hingeschrieben als dQ/T|_reversibel und -k Tr(p ln p).
F: großkanonische Dichtematrix?
A: hingeschrieben, gesagt, wo da die Zustandssumme steht.
F: Nehmen wir ein System aus 2 Spin-1/2-Teilchen mit Heisenbergkopplung. Sie wollen die magnetische Suszeptibilität ausrechnen, wie machen sie das?

A: (hier war meine Antwort nicht so glatt, im Prinzip alles richtig, aber etwas umständlich/unstrukturie
Ich stelle die Zustandssumme auf (F: welche? A: kanonische wg. konstanter Teilchenzahl), habe dann erstmal den Hamiltonoperator H = J*S1*S2 hingeschrieben, ins System mit Gesamtspin gewechselt (wie Spin-Bahn-Kopplung), Hamilton-Matrix hingeschrieben (nach seinem Hinweis auch vierdimensional wegen der 3 S=1-Zustände)
F: So kriegen sie vielleicht die Wärmekapazität, aber nicht die Suszeptibilität.
A: Feldterm im Hamiltonoperator ergänzt, da hat er nochmal den Witz gemacht, dass er sein Feld gerne schräg zur z-Achse legen wolle, dann dachte ich zuerst, H sei nun nicht mehr diagonal in der Gesamtspinb (ist er aber natürlich...) und ich habe die entsprechenden Terme in der Matrix ergänzt. Dann die Zustanc ausgeschrieben, da hat er dann abgebrochen.
F: Gut, nehmen wir mal an, sie haben jetzt die Zustandssumme, was machen Sie dann?
A: F= -kT* log(Z), wollte dann zuerst die Energie ausrechnen (er: nein, ich will ja keine Wärmekapazität und dann einfach dF/dh (er: das ist aber noch nicht die Suszeptibilität) gibt die Magnetisierung und die nächste Ableitung die Suszeptibilität.
F: Bose-Einstein-Kondensation. Wie kriegen Sie denn im Bosegas das chemische Potential und woran merken Sie dann, dass BEK auftritt?
A: großkanonisch rechnen, N ausrechnen und nach z(N) auflösen (Fugazität). Die Bose-Statistik fordert z<=1, das gibt eine maximale Dichte -> Bose-Einstein-Kondensation, da ich den Grundzustand nicht im Integral behandeln kann.
F: Tritt Bose-Einstein-Kondensation immer auf? Also bei allen Dichten, Dimensionen, Dispersionsrelationen
A: Hier wusste ich die Antwort (für d<3 gibt es keine BEK), aber nicht die Begründung. Mit seiner Hilfe habe ich dann das Integral mit der Zustandsdichte hingeschrieben (für z=1) und gesagt, dass das entweder divergiert oder eben nicht (F: und wann kriege ich jetzt BEK?), dann zuerst das Falsche gesagt (richtig ist: BEK gibt es, wenn das Integral nicht divergiert, da dann N_0 nicht vernachlässigbar ist) und bei der Begründung aber auf das Richtige bekommen. Dann habe ich einfach mal gesagt, dass das für d>=3 der Fall ist, da wollte er aber schon wieder das Thema wechseln. Hier habe ich allgemein am meisten Hilfestellung gebraucht und bin auch nicht immer ganz mitgekommen.
F: Leiten Sie mir mal in der Landau-Theorie einen kritischen Exponenten Ihrer Wahl her.
A: Dann nehme ich den für den Ordnungsparameter. Ich habe das Landau-Funktional aufgestellt, gesagt, dass ich dass dann minimiere und den Minimalwert des Ordnungsparameters hingeschrieben (für beide Tempe und daraus sofort den kritischen Exponenten (1/2) abgelesen.
Damit war die Prüfung dann beendet, er hat mich rausgeschickt und dann aber fast sofort wieder zur Note reingerufen und gesagt, es sei alles gut gewesen (obwohl ich insbesondere bei der BEK nicht nur Gutes gesagt habe).