

Fach: Theoretische Physik

PrüferIn: Shnirman

BP NP SF EF NF LA Datum: 05. September 2016 Fachsemester: 6

Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D, E, F

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Theo F

Zur Vorbereitung

Abgabe mit PrüferIn über folgende Themengebiete: keine

Abgabe mit PrüferIn über Literatur/Skripte: keine

Verwendete Literatur/Skripte: Schwabl I, II, Fließbach, Folien von Prof. Shnirman zu Theo F

Dauer der Vorbereitung: 18 Tage, im Durchschnitt etwa 5-6 Stunden am Tag (riskant, aber #gutgegangen, siehe unten!)

Art der Vorbereitung: Zunächst einige Protokolle überflogen, dann ca. 10 Tage alleine die relevant erscheinenden Themen wiederholt, in der letzten Woche mit einem Kommilitonen Protokolle durchgegangen bzw. gegenseitig abgefragt.

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Nehmt euch mehr Zeit! Das knappe Timing hat bei meinem Kumpel und mir nur funktioniert, weil wir von den drei Semestern schon sehr viel Wissen mitgenommen haben. Im Nachhinein wäre es am wichtigsten gewesen, möglichst frühzeitig die Prüfungssituation ernsthaft mit Kommilitonen zu simulieren, sodass man lernt "auf Kommando" Rechnungen souverän aufzuschreiben. (Wir haben uns erst an den letzten Tagen insgesamt vielleicht 2 oder 3 Protokolle komplett realistisch abgefragt und sind vorher die meisten nur nach dem Motto "Jajaja, das macht man dann so und so, oder?" zusammen durchgegangen. Nicht empfehlenswert und rückblickend ziemlich unverständlich.)

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Klassischer Shnirman-Einstieg, klassischer Shnirman-Aufbau. Große Nervosität am Anfang, weil ich zwei leichte Einzeiler (auf die ich eigentlich vorbereitet war) nicht einfach hinschreiben konnte. Dachte schon das wars...dann bin ich krampfhaft und unter vollkommener geistiger Abwesenheit irgendwie zur Lösung gekommen. Wie oben erwähnt, wäre das bei mehr Prüfungssimulationen im Vorfeld vermutlich nicht passiert. Anschließender abrupter Wechsel zum Wasserstoff-Atom hat komischerweise geholfen. Wenn ich mit dem vergleiche, was mein Kommilitone eine Stunde zuvor abgefragt wurde, scheint man zumindest minimal Einfluss auf die Themen der Prüfung nehmen zu können, je nachdem, welche Begriffe man erwähnt. Insgesamt kommen überhaupt nicht so erschreckend viele Themen in der Prüfung dran, wie man meinen könnte...

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Wenn die Frage eigentlich leicht war und er gemerkt hat, dass man nur gerade auf dem Schlauch steht, hat er einem prinzipiell Zeit gelassen. Dabei hat er allerdings bisweilen hektisch sein Handy in die Hand genommen, um auf die Uhr zu schauen. Das sorgte zwar für zusätzlichen Druck, irgendwie war ich aber so fokussiert, dass es mir erst hinterher aufgefallen ist. Es ist von ihm definitiv nicht böse gemeint, versucht es also zu ignorieren und euch zu konzentrieren. Bei spezielleren Fragen, d.h. wenn er auf etwas Bestimmtes hinaus will, gibt er mehr und mehr Hilfestellungen, um einen zum Ziel zu führen. Ich hatte an drei Stellen keinerlei Ahnung, was er genau hören möchte, dann hat er mir Tipps gegeben und irgendwann hatte ich irgendwas gesagt und er war zufrieden.

Kommentar zur Prüfung: Trotz den obigen Hinweisen verlief die Prüfung viel angenehmer als gedacht. Wichtig ist ihm glaube ich, dass die Basics sitzen und man sich mit den "komplizierteren" Themen in einer Weise beschäftigt hat, dass man darüber diskutieren kann, unabhängig davon, ob man nun gleich auf das kommt, was er hören will.

Kommentar zur Benotung: 1,0

(Ich hatte nach meinem stockenden Einstieg nur noch auf eine 1 vor dem Komma gehofft, aber nach der Prüfung war ich 10 Sekunden draußen, dann hat er mich reingeholt und ohne weitere Erläuterung "Ja gut äh, sie haben 1,0!" gesagt...100% dankbar!)

Die Schwierigkeit der Prüfung: Unter Druck eigentlich einfache Fragestellungen präzise zu beantworten.

Die Fragen

- P: Prüfer
 I: Ich
 P: Ich möchte mit der zeitabhängigen Schrödingergleichung beginnen...
 I: Hingeschrieben...
 P: Was ist Psi?
 I: Wellenfunktion, die Zustand des Teilchens beschreibt...
 P: In welchem Raum liegt Psi?
 I: Im Raum der quadratintegrablen Funktionen.
 P: Hmm...naaah, nicht unbedingt...(Er wollte letztlich irgendwie Hilbertraum hören? Hab ich jedenfalls erwähnt.)
 P: Was ist ein Hilbertraum? Welchen kennen Sie noch?
 I: Ein abstrakter Vektorraum mit blabla...(siehe Wiki). Gibt z.B. noch den Hilbertraum für den Spin...
 P: Wie viele Dimensionen hat der?
 I: 2
 P: Allgemein?
 I: $2s+1$
 P: Was ist H? Eigenschaften?
 I: Hamiltonoperator, hermitesch und wie jeder Operator in der QM linear.
 P: Was heißt hermitesch?
 I: Dazu sollte man erst den adjungierten Operator definieren...(Def. im Ortsraum hingeschrieben, falls er wollte das man p hermitesch zeigt)...und hermitesch ist dann $0^\dagger=0$
 P: Ah Sie bestehen darauf, dass das mit solchen Integralen definiert ist...?
 I: Naja in der darstellungsfreien Form sieht das so aus: $\langle a|0^\dagger|b\rangle=\langle b|0|a\rangle^*$
 P: Was heißt dagger bei Matrizen?
 I: Transponieren und komplex konjugieren.
 P: Was ist das besondere an hermiteschen Operatoren?
 I: Eigenwerte reell.
 P: Können Sie das beweisen?
 I: Ja, dazu betrachtet man $\langle a|0^\dagger|a\rangle=\langle a|0|a\rangle^*$ und dann...uhhhhhmm...(hier war ich komplett neben mir, obwohl der Beweis ja praktisch schon da stand, irgendwann kam ich drauf).
 P: Dann ist es bei hermiteschen Operatoren ja noch so, dass Eigenvektoren zu verschiedenen Eigenwerten orthogonal sind, können Sie das auch beweisen?

I: Ja, nehmen wir also $0|a\rangle = a|a\rangle$ und $0|b\rangle = b|b\rangle$...

P: Wobei a ungleich b ...

I: Genau, dann ist ja...uhhmmm...(wusste mir für einen Moment wieder nicht zu helfen, mein Unterbewusstsein hat nach Matrixelement geschrien)...dann kann man in $\langle a|0|b\rangle$ weil 0 hermitesch ist, 0 einmal nach rechts und einmal nach links anwenden $\rightarrow (b-a)\langle a|b\rangle = 0$

P: Hamiltonoperator für Wasserstoffatom...

I: Hingeschrieben und erwähnt, dass es in Relativkoordinaten ist und m die reduzierte Masse meint.

P: Welche Erhaltungsgrößen gibt es?

I: Energie weil Hamiltonian nicht zeitabhängig...

P: Also aus welcher Symmetrie?

I: Zeittranslationsinvarianz...

P: Ok und was ist noch erhalten?

I: Jede Komponente des Drehimpulses?

P: Wenn ich jetzt eine Quantisierungsachse wähle, sagen wir L_z , was ist dann mit L_x und L_y ?

I: Sind trotzdem erhalten, aber weil sie nicht mit L_z vertauschen, kann man keine gemeinsamen Eigenfunktionen finden.

P: Ja genau! Können Sie beweisen, dass der Drehimpuls erhalten ist?

I: Das bedeutet in der QM, dass der Kommutator mit H null ist.

P: Warum?

I: Hab erstmal etwas in der Richtung gesagt, dass ja H für die Zeitentwicklung zuständig ist und somit der Operator mit der Zeitentwicklung vertauscht; das war aber nicht überzeugend. Habe dann schon geahnt, dass er auf Heisenbergsche Bewegungsgleichung und Ehrenfest-Theorem rauswill.

P: Es gibt da ja so zwei Bilder...

I: Jaja, also im Heisenbergbild gilt für die zeitliche Änderung des Operators (Heisenbergsche Bewegungsgleichung) und im Schrödingerbild für den Mittelwert des Operators (Ehrenfest-Theorem).

P: Ok wunderbar. Konkret für das Wasserstoff-Atom. Wir haben Quantisierung in z -Richtung, was ist jetzt mit so einem Mittelwert $\langle 221|L_x|200\rangle$, ist der auch erhalten?

I: Ihn erstmal drauf hingewiesen, dass der Bra nicht so sinnvoll ist für $n=2$. Zu $\langle 211|L_x|200\rangle$ korrigiert aber keinen Schimmer gehabt, was er meint. Er hat dann gesagt ich soll mal allgemein $\langle \Psi|L_x|\Phi\rangle$ betrachten. Angefangen d/dt mit Produktregel draufzujagen; erwähnt, dass es ja gerade auf das Ehrenfest-Theorem rausläuft. Dabei ist mir aber irgendwie aufgefallen, dass die Entartung ja egal ist: $\langle nlm|[H, L_x]|nl'm'\rangle$ auf der rechten Seite des Ehrenfest-Theorems wird trotzdem null. Konsequenz: Jedes Matrixelement $\langle nlm|L_x|nl'm'\rangle$ ist erhalten, solange eben n auf beiden Seiten gleich bleibt.

P: Wie groß ist denn die Entartung?

I: n^2 bzw. $2n^2$ mit Spin.

P: Ok wie kann man die aufheben?

I: Man kann die Feinstruktur "einschalten", d.h. relativistische Korrekturen, LS-Kopplung und Darwin-Terme oder durch äußere magnetische/elektrische Felder.

P: Was machen Sie, wenn Sie einen Zustand $|200\rangle$ haben und ein E-Feld in z -Richtung plötzlich eingeschaltet wird?

I: Sudden-Approximation, neue Eigenzustände/-energien durch entartete Störungstheorie für Störung $\sim z$ berechnen. Haben dann im Prinzip 4×4 -Matrix (Spin spielt keine Rolle), aber wenn man $\langle 21m|[L_z, z]|21'm'\rangle$ betrachtet findet man $m=m'$. Außerdem über Parität, dass $l-l'$ ungerade sein muss. Somit bleiben nur...uhh doch nochmal die komplette 4×4 Matrix skizzieren und fast überall 0 hinschreiben, um zu sehen, dass nur $\langle 210|z|200\rangle$ und umgekehrt übrig bleiben). Verbleibende 2×2 Matrix ist $c \cdot \sigma_x$, hat Eigenwerte $\pm c$ und die neuen Zustände sind sowas wie $1/\sqrt{2} \cdot (|210\rangle \pm |200\rangle)$.

P: Was passiert also mit dem Zustand $|200\rangle$?

I: Ist jetzt kein Eigenzustand mehr, sondern Superposition aus den neuen Eigenzuständen, die sich mit den neuen Energien zeitentwickeln \rightarrow Oszillation zwischen $|200\rangle$ und $|210\rangle$.

P: Hätten Sie dafür jetzt zeitabhängige Störungstheorie verwenden können?

I: (Ich war innerlich bei: "Why not?") Uhm...also ich schreibe die erstmal hin, im Wechselwirkungsbild.

P: Wenn ich die Störung jetzt da einsetze, was passiert dann?

I: Etwas herumgedrückt...nicht ganz gewusst auf was es rausläuft. Mal die Störung im Wechselwirkungsbild ausgeschrieben mit $e^{iH_0 t/\hbar} V e^{-iH_0 t/\hbar}$. Erkennt, dass die e -Funktionen sich herausheben und das Integral einfach nur $t \cdot \dots$ wird. Bei der exakten Lösung kommt etwas mit \sin/\cos raus und die erste Ordnung zeitabh. Störungstheorie wird wohl eine Entwicklung für kleine Zeiten sein. Shnirman zufrieden!

P: Woher kommen denn die Feinstruktur-Terme?

I: Kann man sich mehr oder weniger plausibel machen, aber ganz genau kommen sie letztlich nur aus der Näherung der Dirac-Gleichung für kleine Energien.

P: Welche Ordnung sind die Korrekturen?

I: Zweite Ordnung in α bzw. v/c .

P: Was bekommt man in erster Ordnung?

I: Zeeman-Effekt.

- P: Dirac-Gl. in kovarianter Form? (hingeschrieben) Was sind die Vierervektoren? (nur das p_μ) Was ist Psi? Wie transformiert sich Psi?
- I: Spinor mit $\Psi' = S(\Lambda) \Psi$. Wobei man $S(\Lambda)$ durch Vergleich von Dirac-Gl. in zwei Bezugssystemen findet (die Bedingung musste ich dann nicht einmal explizit herleiten).
- P: Was war die große Leistung der Dirac-Gl...naja also...es sind ja eher zwei?
- I: Antiteilchen blabla und g-Faktor von Spin = 2.
- P: Pauligleichung für Antiteilchen?
- I: Erstmals die für Teilchen hingeschrieben und grob erklärt wie man darauf kommt, d.h. Psi in (Φ, χ) aufteilen, Zeitentwicklung $e^{(-mc^2t/\hbar)}$ abspalten und für Phi lösen. Dann erklärt, dass man für die Lösungen mit negativer Energie $e^{(+mc^2t/\hbar)}$ abspalten muss und für Chi lösen. Dabei findet man die Pauli-Gleichung mit $-m$ statt m . Er wollte dann glaube ich eigentlich noch hören, dass q durch $-q$ ersetzt werden muss. Bei der Diskussion sind wir auf den Dirac-See eingegangen und damit war er irgendwie zufrieden.
- P: Kommen wir zur statistischen Physik. Wie ist die großkanonische Dichtematrix?
- I: Erstmals Dichtematrix allgemein: $\rho = \sum_\alpha W_\alpha |\alpha\rangle\langle\alpha|$.
- P: Muss rho diagonal sein?
- I: Nein, aber kann man immer diagonalisieren.
- P: Warum?
- I: Weil rho hermitesch ist.
- P: Ok, weiter...
- I: W_α für großkanonisch eingesetzt: $1/Z_G * \exp(-\beta(E_\alpha - \mu N_\alpha))$. Dabei gleich dazu gesagt, über was summiert wird.
- P: Wie kommt man von dieser Version jetzt zu einer Darstellung, die für die Virialentwicklung geeignet ist?
- I: Dazu $Z_G = \sum_N (\exp(\beta\mu N) * (\sum_\alpha \exp(-\beta E_\alpha(N)))) = \sum_N (z^N * Z_N)$ umgeschrieben. Gleich erklärt, was der Unterschied zwischen dem α hier und dem von vorher ist, bzw. dass Z_N die kanonische ZS bei fester Teilchenzahl N meint.
- P: Wann ist die Virialentwicklung sinnvoll?
- I: Damit kann man Abweichungen vom idealen klassischen Gas ausrechnen, also egal ob jetzt klassisches Gas, aber mit Wechselwirkung, oder ideales Quantengas statt klassischem Gas. Weil für das ideale klassische Gas gilt $N = V/\lambda^3 * \exp(\beta\mu)$ sieht man, dass kleines $z = \exp(\beta\mu)$ gerade, hohen Temperaturen oder geringer Teilchendichte entspricht. (Hat ihm glaube ich gefallen.)
- P: Landau-Funktional für ferromagnetischen Übergang...
- I: (Innerlich: OMG noch eine Viertelstunde und er fängt jetzt schon mit dem an, was ich höchstens für die letzten Minuten beherrschen würde.) Habe dann zunächst kurz Ordnungsparameter definiert, dann was mit $a/2 * \vec{M}^2 + b/4 * (\vec{M}^2)^2$ notiert und das typische Bildchen für $T > T_c$ und $T < T_c$ hingemalt. Irgendwie hat ihm das schon gereicht, lol.
- P: Was ist dann die Ginzburg-Landau Theorie?
- I: Puuh, also soweit ich weiß betrachtet man dann noch Fluktuationen, d.h. uhm...es kommt ein Term mit $\nabla \vec{M}$ dazu, aber das stößt so langsam wirklich an meine Wissensgrenzen, also ich meine, das habe ich nie angewendet oder damit gerechnet... (unbedingt nachlesen, falls ihr an dieser Stelle eine professionelle Antwort abliefern wollt :D)
- P: Ok, was ist ihre Vorstellung zu spontaner Symmetriebrechung?
- I: Symmetriebrechung = das System hat oberhalb der kritischen Temperatur eine Symmetrie, die es unterhalb nicht mehr aufweist. Mexican-Hat-Potential erwähnt...spontan = beim Übergang geht das System in einen der vielen gleichberechtigten Minima.
- P: Entscheidet das System von alleine, also ist das lebendig? :D
- I: Naja, eine beliebig schwache Störung kann für einen endlichen Wert des Ordnungsparameters in diese Richtung sorgen. (Beispiel mit Ferromagnetismus und Magnetisierung gebracht.) Da gab er mir Recht und meinte, wenn ich jetzt durch eine Störung einen Wert vorgegeben hätte, könnte ich entweder erst das Volumen vergrößern und dann die Störung abschalten oder andersherum; was das dann für einen Unterschied mache? Ich hatte und habe 0,0 Ahnung auf was er da hinaus wollte. War ihm aber nicht so wichtig scheinbar. Ich hatte nur gehofft, dass die Prüfung nicht so endet...
- P: Zurück zur "Realität". Chemisches Potential für ideales Bosegas?
- I: Hingezeichnet, BEK erwähnt und dass es unterhalb von T_C fast 0 aber immer kleiner als 0 ist.
- P: Wie ist das bei einem endlichen Volumen, ist es da 0?
- I: Um Kopf und Kragen geredet, weil ich wieder nicht wusste, was er meint...letztlich betrachtet man die Bose-Funktion für den Grundzustand und stellt fest: Je größer V , desto stärker muss μ gegen Null gehen...

THE END