

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: 20. März 2023	Fachsemester: 7
Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D, Theo E, Theo Fa, Theo Fb		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Theo A		

Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -
Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
Verwendete Literatur/Skripte: Skripte von Schmalian, Shnirman, Mirlin, Melnikov, Garst
Dauer der Vorbereitung: 6 Wochen, letzten zwei Wochen sehr intensiv
Art der Vorbereitung: Zusammenfassungen überwiegend alleine, dann in der Gruppe mit Altprotokollen
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Die Themen, die fast in jedem Altprotokoll stehen, sollten sitzen (inkl.) Rechnungen (also Wellenpakete, Wasserstoffproblem mit Störungen evtl., Herleitung Fermis Goldene Regel, Dirac Gleichung).

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Ich habe mich von Anfang an sehr wohl gefühlt bei Prof. Shnirman. Das hat mir die Anspannung und Nervosität genommen und es fiel mir leichter, die Prüfung als normales "Gespräch" zu sehen.
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Wichtig ist, seine eigenen Gedanken offen auszusprechen auch wenn man mal nicht weiter weiß, Prof. Shnirman hilft gerne weiter. Was auch sehr angenehm bei Prof. Shnirman ist, ist, dass er zwischendurch im Gespräch oft bestätigt, dass etwas richtig ist, wenn man etwas hingeschrieben hat. Das gibt einem währenddessen viel Sicherheit.
Kommentar zur Prüfung: -
Kommentar zur Benotung: 1.0, sehr viel besser als erwartet.
Die Schwierigkeit der Prüfung: Manchmal ist nicht klar, worauf er hinaus möchte, dann einfach nachhaken!

Die Fragen

S: Shnirman

I: Ich

S: Okay, wir fangen selbstverständlich mit der Schrödingergleichung an, können Sie sie mir hinschreiben?

I: Hingeschrieben und Hamiltonian und Wellenfunktion Psi genannt.

S: Okay und was ist die Wellenfunktion Psi?

I: Ein Zustandsvektor im Hilbertraum.

S: Was ist der Hilbertraum?

I: Ein Vektorraum, der vollständig durch ein Skalarprodukt definiert ist.

S: Okay, und was für Zahlen habe ich als Koeffizienten für meine Wellenfunktionen?

I: Mhh...was meinen Sie jetzt genau? Also für meine Wellenpakete brauche ich den Raum quadratintegraler Funktionen...

S: Nein nein, ich meine eher, sind die Koeffizienten komplex/ reell...?

I: Naja für Spinnern habe ich den Spinraum, also $C^{(2s+1)}$.

S: Genau! Also komplexe Werte. Okay, wie sieht meine Schrödingergleichung für zeitunabhängige Probleme aus?

I: Stationäre Schrödingergleichung hingeschrieben und erklärt, wie man auf diese kommt.

S: Was kann ich dann weiter mit der Lösung der stationären Schrödingergleichung machen?

I: Ich kann diese mit dem Zeitentwicklungsoperator entwickeln (ich hatte ihn erstmal allgemein für einen zeitabhängigen Hamiltonian aufgeschrieben, er wollte dann die vereinfachte Form für zeitunabhängigen Hamiltonian. Hier wollte er dann darauf hinaus, dass ich meine Lösung der stationären Schrödingergleichung erstmal in Eigenzustände des Hamiltonians entwickeln muss, damit ich den Zeitentwicklungsoperator anwenden kann).

S: Okay, also was können Sie mir in diesem Sinne zu Wellenpaketen sagen?

I: Hier wollte er hören, dass für ein freies Teilchen, eine ebene Welle die Schrödingergleichung erfüllt jedoch nicht normierbar ist, also die Wellenfunktion als Überlagerung von ebenen Wellen darstellen können. Ich habe dann die allgemeine Form für ein Wellenpaket hingeschrieben mit Gewichtungsfunktion $g(k)$, durfte dabei in einer Dimension bleiben. Habe dann die Gewichtungsfunktion umgeschrieben in Betrag von g mal einer Phase $e^{i \alpha(k)}$. Er hat mir dann ein Wellenpaket gezeichnet und den Schwerpunkt k_0 markiert und mich gefragt, wie ich k_0 bestimmen kann. Habe dann erklärt, dass man den Exponenten der e -Funktion entwickeln kann, und mit der Bedingung der stationären Phase man dann auf x_0 kommt und die Gruppengeschwindigkeit v_g .

S: Genau, daraus bekommen wir dann k_0 . Okay gut, machen wir weiter mit dem Wasserstoffproblem. Schreiben Sie mir bitte den Hamiltonian in Relativkoordinaten auf.

I: Hingeschrieben, r und reduzierte Masse kurz erklärt.

S: Welche Größen sind hier erhalten bzw. welche Symmetrien haben wir hier vorliegen?

I: H ist erhalten, weil wir ein zeitunabhängiges Problem vorliegen haben und Drehimpulserhaltung, wegen Rotationssymmetrie. Dabei ist jede Komponente des Drehimpulses auch erhalten.

S: Was heißt es, dass eine Größe erhalten ist? Im Schrödingerbild und Heisenbergbild?

I: Mein Operator muss mit dem Hamiltonian kommutieren. Das sehen wir im Ehrenfest-Theorem (musste ich dann hinschreiben, er wollte dann auf den Unterschied hinaus, dass im Schrödingerbild das für den Erwartungswert des Operators gilt, im Heisenbergbild hingegen für den Operator allgemein. Ich sollte dabei auch die Umrechnungen für Zustände und Operatoren zwischen Schrödingerbild und Heisenbergbild aufschreiben. War da kurz überfordert, weil ich das nicht mehr präsent im Kopf hatte, habe gesagt, dass ich kurz überlegen muss und nicht die ganzen Bilder vermischen will und habe dabei erklärt, dass die Zeitabhängigkeit im Schrödingerbild in den Zuständen steckt, wohingegen sie im Heisenbergbild in den Operatoren steckt und kam dann am Ende auch auf die richtigen Gleichungen).

S: Genau, super. Wie sieht jetzt der Satz vollständig kommutierender Observablen aus?

I: L^2 , L_z (bzw. irgendeine beliebige Komponente von L) und H .

S: Warum brauche ich alle drei Operatoren?

I: Ich habe angefangen von den Quantenzahlen zu erzählen, die die Wellenfunktion vollständig charakterisieren. Er wollte vor allen Dingen auf die Entartung hinaus.

S: Genau, weil wir Entartung haben! Können Sie mir zeigen, wie Sie auf n^2 kommen?

I: Habe die Summe aufgestellt und dabei erklärt welche Zahlen n, l, m annehmen können, musste die Summe aber nicht auswerten.

S: Gut, wir machen jetzt noch ein bisschen Drehimpulsalgebra, unabhängig vom Wasserstoffproblem. Können Sie mir zeigen, dass die Quantenzahlen l, m ganz- oder halbzahlige Schritte annehmen muss?

I: $[L_a, L_b] = i \hbar \epsilon_{abc} L_c$, $L_{\pm} = L_x \pm i L_y$ aufgeschrieben, gesagt dass ich schauen möchte, wie die Auf- und Absteigeoperatoren auf den Zustand $|l, m\rangle$ wirken. Dafür habe ich den Kommutator $[L_z, L_{\pm}]$ kurz hergeleitet, und $L_z * L_{\pm} |l, m\rangle$ mit dem zuvor berechneten Kommutator ausgewertet und gezeigt, dass m sich in 1er Schritten bewegen muss. Mit L^2 kann man zeigen, dass die Auf- und Absteigeoperatoren keinen Einfluss auf die Quantenzahlen l haben. Mit der Normierung kann ich dann zeigen, dass $l(l+1) \geq m(m \pm 1)$ ist, somit ist die Quantenzahl m beschränkt und l, m müssen symmetrisch um 0 sein, also halb- oder ganzzahlig (am besten in Shnirmans Theo D Skript schauen, da ist es schön erklärt).

S: Genau, sehr schön. Wir kommen nun zur zeitabhängigen Störungstheorie. Was haben wir erstmal vorliegen und was interessiert uns dabei?

I: *Allgemeinen Hamiltonian mit zeitabhängigem Störpotential aufgeschrieben.* Uns interessiert die Wahrscheinlichkeit für einen Übergang von einem Anfangszustand $|i\rangle$, der Eigenzustand des ungestörten Hamiltonians ist in einen Endzustand $|f\rangle$, der ebenfalls Eigenzustand des ungestörten Hamiltonians ist, allerdings nach Einschalten der Störung. (Habe dann die Übergangsamplitude a_{if} währenddessen aufgeschrieben, mein $|i\rangle$ habe ich dabei im WW-Bild geschrieben, also mit Index i). Meinen Endzustand kann ich festlegen je nach Problem, den Anfangszustand kann ich mit der Dysonreihe entwickeln.

S: Okay, schreiben Sie sie mir bitte hin. Aber kann ich das auch anders machen (und hat dabei auf den Zeitentwicklungsoperator gezeigt)?

I: Ja ist im Prinzip das Gleiche, ich muss nur mein $V(t)_i$ in den Zeitentwicklungsoperator reinschreiben und kann die e -Funktion als Reihe ausschreiben.

S: Genau, dann kommen wir zu Fermis Goldener Regel. Was gibt sie mir?

I: Übergangsrate direkt hingeschrieben und erklärt, dass sie mir die Übergangsrate für einen Übergang in ein kontinuierliches Spektrum gibt.

S: Richtig, was muss ich dann also zur Übergangsrate noch ergänzen?

I: Ich muss sie noch mit einer Zustandsdichte der Endzustände multiplizieren und über das betrachtete Energieintervall integrieren. (wir haben noch etwas detaillierter über Fermis Goldenen Regel gesprochen über die Näherung von der sinc Funktion, sollte ich dann skizzieren, zu einer Deltadistribution und dass die Energiedifferenzen zwischen den Endzuständen sehr klein ist, also die Zustände kontinuierlich innerhalb der Breite $4\pi\hbar/t$ liegen und somit die Regel nicht für große Energiedifferenzen angewendet werden kann.)

S: Okay, machen wir weiter. Schreiben Sie mir bitte die Dirac-Gleichung in kovarianter Form hin.

I: Hingeschrieben. Auf seine Nachfrage dann die Größen erklärt und wie sie sich lorentz-transformieren, also, dass die Gamma-Matrizen forminvariant sind unter Lorentztransformation, die Viererableitung sich ganz normal mit Lambda transformieren lässt und Psi ein vierkomponentiger Spinor ist, weshalb es sich anders transformiert als ein Vierervektor.

S: Wie können wir herausfinden, wie sich Psi transformiert?

I: Ich kann erstmal die bekannte Lorentztransformation auf die Dirac-Gleichung anwenden, wobei sie nur auf die Viererableitung wirkt. Dann sage ich, dass sich Psi transformieren lässt mit $S(\Lambda)\Psi = \Psi'$, wobei $S(\Lambda)^{-1}S(\Lambda)=1$. Also kann ich $S(\Lambda)^{-1}S(\Lambda)=1$ zwischen gamma und der Viererableitung schreiben in der nicht-transformierten Dirac-Gleichung und die Gleichung mit $S(\Lambda)$ multiplizieren. Dann habe ich da stehen $(i S(\Lambda) \gamma_\mu S(\Lambda)^{-1} * Viererableitung - mc/\hbar) S(\Lambda)\Psi=0$ und kann das mit der lorentztransformierten Dirac-Gleichung vergleichen.

S: Genau, sehr schön. Was ändert sich, wenn wir ein EM-Feld haben?

I: Minimale Kopplung hingeschrieben.

S: Genau, und was bekommen wir für nicht-relativistische Näherung?

I: Pauli-Gleichung hingeschrieben.

S: Genau, und wie viele Komponenten hat der Spinor jetzt?

I: Nur noch zwei, weil die kinetische Energie nun nicht ausreicht für die Erzeugung von Antiteilchen.

S: Ja, aber was ändert sich in der Gleichung, wenn wir Antiteilchen haben?

I: Wir schreiben die Masse mit negativem Vorzeichen.

S: Ja, aber negative Massen mögen wir nicht so.... was kann man noch machen?

I: Wir können die Ladung negativ schreiben.

S: Ja genau, sehr gut. Und wie bekommt man hier den Landé Faktor?

I: Wenn wir Coulomb Eichung $A=-1/2(rxB)$ wählen und einsetzen bekommen wir den Bahndrehimpuls mit in die Gleichung rein und nach geschicktem Umstellen sehen wir, dass der Spin um einen Faktor 2 gerade stärker an das B-Feld koppelt als L. (er hatte mich eigentlich auch dabei abgebrochen, als er merkte, dass ich die Frage beantworten kann).

S: Gut, dann schreiben Sie mir mal bitte die großkanonische Dichtematrix auf.

I: Hingeschrieben mit Z_G , dabei die Dichtematrix mit Summe über n und $I n \langle n I$ aufgeschrieben, das hat ihm sehr gefallen. Hat dabei gefragt, was n ist (die Mikrozustände).

S: Okay, können Sie mir für ein ideales Gas die Zustandssumme aufschreiben? Bzw. wie kann ich meine Zustandssumme noch aufschreiben? (er wollte darauf hinaus, dass man die Mikrozustände auch mit Besetzung charakterisieren kann)

I: Aufgeschrieben über Besetzungszahlen, gesagt, dass ich über die Einteilchenzustände multiplizieren kann. (Er hatte dabei noch gefragt, warum ich das machen kann und wollte sehen, dass $N_n = \text{Summe über } \lambda n_\lambda$ und $E_n = \text{Summe über } \lambda \epsilon_\lambda n_\lambda$).

S: Können Sie mir hierüber die Fermi-Statistik herleiten?

I: Angesetzt mit der Herleitung, mich mittendrin unterbrochen.

S: Ja ja so können wir das auch machen, aber geht das auch anders? Mit einer Ableitung oder so?

I: Ja wir können das mit einer Ableitung nach μ darstellen.

S: Ja genau. Okay, was ist BEK und wann haben wir das? Ich sage Ihnen, dass wir eine Dimension d haben und Dispersionsrelation $\epsilon(k)$.

I: BEK erst etwas anschaulich erklärt und dann $n = n_0 + \text{Integral über Energie von Zustandssumme } n$ und Bose-Funktion hingeschrieben und erklärt, dass BEK auftritt, wenn das Integral konvergiert, weil dann eine Begrenzung für die Teilchenanzahl in hohen Zuständen da ist.

S: Okay dann noch Landau-Ginzburg Funktional: schreiben Sie mir bitte das Funktional hin.

I: Hingeschrieben, aber vergessen das $\nabla \cdot m(r)$ zu quadrieren. Bisschen was dazu gesagt, dass wir nahe am Phasenübergang sind und deshalb Sattelpunktnäherung/ Variationsrechnung machen wollen.

S: Okay können Sie mir das Funktional skizzieren und was zu den Nullstellen sagen?

I: Ja für $T > T_c$ haben wir ein Minimum bei 0, ab $T < T_c$ dann zwei neue Minima (ohne externes Feld) und somit zwei neue günstigere Zustände.

S: Okay und wie entscheidet sich, ob das System in das eine oder andere Minima rutscht?

I: Ich würde sagen, spontan.

S: Okay (und hat dabei gegrinst). Dann sind wir fertig.

