

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: 06. März 2024	Fachsemester: 11
Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D, Theo E, Theo Fa		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? -		

Zur Vorbereitung

<p>Abprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: Mail geschrieben bzgl. Prüfungsschema, wäre aber nicht nötig gewesen, da kurz vor der Prüfung darüber gesprochen wurde</p>
<p>Abprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -</p>
<p>Verwendete Literatur/Skripte: Theo D: v.a. Skript Shnirman SoSe 22, Schwabl 1, etwas Skript Mühlleitner SoSe 20 Theo E: Folien Steinhauser WiSe 21/22, Schwabl 2 Theo Fa: Schwabl 3, etwas Folien Schwetz-Mangold WiSe 21/22 und natürlich immer noch Wikipedia (auch engl.!)/an sich im Internet</p>
<p>Dauer der Vorbereitung: da die VL bei mir alle etwas her waren, habe ich erstmal ca. 1 Monat entspannt (2-3h/Tag, 5 Tage/Woche, manchmal Pausetage) alles grob wiederholt, später 3,5 Wochen intensiv gelernt (ca. 7h/Tag, 6 Tage/Woche, am Ende mehr (not fun, mehr Zeit wäre gut gewesen))</p>
<p>Art der Vorbereitung: allein: zuerst viel durchgelesen, dann spezifisch die Schwerpunktthemen (aus den Protokollen) angeschaut, dazu Lernkarten gemacht, diese immer wieder wiederholt, später alleine Prüfungen durchgegangen (also wirklich "was würde ich wie sagen/erklären" mit Skizzen usw.)</p>
<p>Allgemeine Tips zur Vorbereitung: abfragen lassen kann ggf. sicher hilfreich sein, um das explizite Ausformulieren und rechnen zu üben (oder das alleine mehr üben/an sich mehr Protokolle durchzugehen/-rechnen, da hat bei mir am Ende etwas die Zeit gefehlt)</p>

Zur Prüfung

<p>Wie verlief die Prüfung? thematisch keine großen Überraschungen und angenehme Atmosphäre, auch wenn ich einige Hänger hatte. Themen eher weniger beeinflussbar, ggf. schnelle Wechsel (v.a. wenn er merkt, dass du eine Sache kannst)</p>
<p>Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Gibt Hilfestellungen, um zur Lösung hinzuleiten und löst ggf. (teilweise) auf (auch bei sehr basic Sachen), aber erst nach einigen eigenen Versuchen.</p>

Kommentar zur Prüfung: Empfehlenswert - zwar war ich zwischenzeitlich schonmal sehr unsicher und hatte kein gutes Gefühl, aber mit den Hilfestellungen ging es dann doch oder ansonsten dann nach Themenwechsel zu Sachen, die ich wieder besser konnte. Etwas Übung im Rechnen (unter Druck) sollte aber sein, da Herr Shnirman dann ggf. doch konkretes sehen möchte.

Empfehlenswert - zwar war ich zwischenzeitlich schonmal sehr unsicher und hatte kein gutes Gefühl, aber mit den Hilfestellungen ging es dann doch oder ansonsten dann nach Themenwechsel zu Sachen, die ich wieder besser konnte. Etwas Übung im Rechnen (unter Druck) sollte aber sein, da Herr Shnirman dann ggf. doch konkretes sehen möchte.

Empfehlenswert - zwar war ich zwischenzeitlich schonmal sehr unsicher und hatte kein gutes Gefühl, aber mit den Hilfestellungen ging es dann doch oder ansonsten dann nach Themenwechsel zu Sachen, die ich wieder besser konnte. Etwas Übung im Rechnen (unter Druck) sollte aber sein, da Herr Shnirman dann ggf. doch konkretes sehen möchte.

Kommentar zur Benotung: überraschend 1.0, obwohl ich einige Male (und einmal sehr grundlegend) nicht weiter wusste

Die Schwierigkeit der Prüfung: Bei der Vorbereitung nicht an dem Themenspektrum verzweifeln. In der Prüfung bei Hängern nicht zu verzweifeln und weitermachen. Persönlich fand ich außerdem das konkrete Ausrechnen/Aufschreiben schwierig (hätte ich nochmal mehr üben sollen) und ggf. Sachen/Erklärungen nochmal umzuformulieren.

Die Fragen

Themen:

Theo D: zeitabhängige Schrödingergleichung, Hermitizität, Spin 1/2 Teilchen im B-Feld (Bestimmung Eigenwerte und -vektoren in anderer Basis), Zeitentwicklung im Schrödingerbild, Wasserstoffatom (Hamiltonian, Erhaltungsgrößen in Schrödinger- und Heisenbergbild, vollständiger Satz kommutierender Observablen, Entartung), Stark-Effekt (v.a. linear mit entarteter Störungstheorie, Auswahlregeln)

Theo E: zeitabhängige Störungstheorie (Übergangswahrscheinlichkeiten, über Wechselwirkungsbild, Dyson-Reihe, Dirac-Gleichung (kovariante Form, minimale Kopplung (in kovarianter Form), Lorentz-Transformation), Pauli-Gleichung (generell, Landé-Faktor)

Theo Fa: großkanonische Dichtematrix, großkanonische Zustandssumme (auch in Besetzungszahldarstellung), Gesamtteilchenzahl über großkanonisches Potential, Temperaturabhängigkeit chem. Potential für Bosonen und Fermionen

S: Herr Shnirman

I: ich (werde mein bestes tun, hier Details aufzuschreiben, ganz vollständig wird es aber leider nicht, auch nicht ganz wortgetreu und in richtiger Reihenfolge)

- Theo D

S: Wie immer erstmal: zeitabhängige Schrödingergleichung.

I: hingeschrieben

S: In welchem Raum sind die Kets?

I: Hilbertraum: Vektorraum mit vollständigem Skalarprodukt, z.B. Linearkombinationen von Kets möglich.

S: Was sind dann die Koeffizienten?

I: Komplexe Zahlen.

S: Gut, und welche Eigenschaften hat H?

I: Hermitesch, d.h. H adjungiert = H

S: Was heißt adjungiert?

I: Transponiert und komplex konjugiert.

S: Gut, dann überzeugen Sie mich mal davon, dass der Impulsoperator hermitesch ist.

I: Angefangen $\langle \phi | p | \psi \rangle = \int \phi^* (-i \hbar \nabla) \psi =$ (etwas gestockt)

S: Machen Sie das doch in einer Dimension.

I: Okay gut, weiter mit partieller Integration (auch wenn mir der Name nicht eingefallen ist), erster Term Null, da Funktionen quadratintegrabel sein müssen, zweiten Term so umschreiben, dass das komplex konjugierte von p da steht $\Rightarrow \langle p \phi | \psi \rangle$

S: Ja das passt so. (Hatte mich zwischenzeitlich auf saubere Notation der Ableitung hingewiesen, war aber wohl nicht zu schlimm). Wie sieht es jetzt aus, wenn ich ein Spin 1/2 Teilchen in einem äußeren Magnetfeld betrachte, das erst parallel zur z-Richtung ausgerichtet ist, dann aber parallel zur x-Richtung gestellt wird?

I: Erstmal Hamiltonian mit $H = -\mu_B \sigma B$ aufgeschrieben. Dann wird das System erstmal in den Eigenzuständen von S_z sein, nach Umschalten der Störung sind die Eigenzustände aber die von S_x , d.h. wir müssen die S_x -Eigenzustände durch die S_z -Eigenzustände darstellen.

S: Dann machen Sie das mal konkret.

I: gemacht, aber recht holprig

S: Und wie entwickelt sich das jetzt in der Zeit?

I: Erstmal was von Übergangswahrscheinlichkeiten erzählt, dann aber nach Korrektur auf den Zeitentwicklung gekommen, den allgemein hingeschrieben.

S: Und wie sieht das jetzt konkret für unser Beispiel aus?

I: noch größerer Hänger als vorher, kam dann erst mit Hilfestellung auf das richtige Ergebnis (hier meine er auch nach der Prüfung, dass das wirklich nicht gut war)

S: Gehen wir mal weiter zum Wasserstoffatom. Wie sieht da der Hamiltonian aus?

I: In Relativkoordinaten aufgeschrieben.

S: Welche Masse ist das da jetzt?

I: Die Elektronenmasse - nein nur die reduzierte Masse.

S: Ja. Und wie sieht es jetzt hier mit Erhaltungsgrößen aus?

I: Gesamtdrehimpuls ist erhalten, Drehimpulskomponenten (hier war ihm wichtig, dass sie alle erhalten sind)

S: Und was noch? Welche Symmetrien gibt es noch?

I: Energieerhaltung (da Zeitinvarianz)

S: Und wie kann ich diese Symmetrie z.B. für L_x zeigen? (oder so ähnlich, ich hab's nicht direkt verstanden nach Nachfrage dann:) Das können Sie unterschiedlich zeigen, im Schrödingerbild und im Heisenbergbild.

I: Ahh ja, habe dann das Ehrenfest-Theorem aufgeschrieben und wie ein Operator im Heisenbergbild aus dem Operator im Schrödingerbild berechnet wird.

S: Dann zeigen Sie jetzt, dass die Nicht-Diagonalelemente von L_x erhalten sind.

I: Angefangen mit $d/dt \langle \psi | L_x | \psi \rangle$, dann partielle Abl., Schrödingergleichung anwenden

S: Okay das reicht, das können Sie. Was ist denn hier jetzt der vollständige Satz kommutierender Observablen?

I: H , L^2 , eine Komponente von L , meistens wird L_z genommen

S: Und was ist mit dem Spin?

I: Noch eine Komponente von S , meist S_z , S^2 eher nicht, da bekannt.

S: Ja genau, S^2 ist eine Konstante. Und wofür brauchen wir einen v_{Sk0} ?

I: Damit wir das System eindeutig beschreiben können. (hier war nach ein paar Nachfragen noch wichtig, dass die Energieeigenzustände entartet sind)

S: Wie ist das mit der Entartung, z.B. bei $n=2$?

I: alle Möglichkeiten für die Quantenzahlen aufgeschrieben und gezählt (da ich die Formel nicht direkt parat hatte)

S: Ja und wissen Sie da auch die Formel für?

I: (zum Glück doch noch eingefallen) aufgeschrieben, erst mit Summe über l , dann final $2n^2$ (mit Spin)

S: Gut, und welche Möglichkeiten gibt es jetzt, um diese Entartung aufzuheben.

I: Entweder genauer hinschauen, z.B. Spin-Bahn-Kopplung betrachten, die Entartung zumindest teilweise aufhebt. Oder externe magnetische oder elektrische Felder anlegen.

S: Ja dann betrachten wir doch den Stark-Effekt für $n=2$.

I: Störung aufgeschrieben $V=eE \dots$ kann ich annehmen, dass das E-Feld parallel zur z-Richtung ist?

S: Ne, bitte im 45-Grad-Winkel.

I: Erstmal aufgeschrieben

S: Was würden Sie jetzt machen, damit Sie nicht so kompliziert rechnen müssen?

I: Mein Koordinatensystem drehen, sodass E in z-Richtung?

S: Ja genau! Machen Sie das.

I: (erleichtert) wie gewohnt mit E parallel zu z weitergemacht: Auswahlregeln $m' = m$, $l' = l \pm 1$

S: Woher kommen die Auswahlregeln?

I: $m' = m$, da $[L_z, z] = 0$, Regel für l über Wigner-Eckert-Theorem. Soll ich das kurz aufschreiben?

S: Ja, machen Sie das?

I: (kurz meine Frage bereut). gemacht, dabei Clebsch-Gordon-Koeffizienten erwähnt und gefühlt eher schlecht als recht was über das Theorem selbst gesagt, aber war wohl okay.

S: Okay und machen wir hier jetzt entartete oder nicht entartete Störungsrechnung?

I: Entartete Störungsrechnung, da Energieeigenwerte bei $n=2$ immer gleich?

S: Okay, welche Matrix muss ich dann jetzt betrachten?

I: Aufgeschrieben.

S: Ist das dann jetzt der quadratische oder der lineare Stark-Effekt?

I: Linearer Stark-Effekt, da Korrektur prop. zu E .

- Theo E

S: Dann machen wir mal mit zeitabhängiger Störungstheorie weiter, wie kann ich da die Übergangswahrscheinlichkeiten bestimmen?

I: Erstmal nur in erster Näherung aufgeschrieben.

S: Das ist ja jetzt nur in erster Näherung, ich möchte das bitte genau haben.

I: etwas gestockt, dann erstmal Zeitentwicklung für Zustand im Wechselwirkungsbild aufgeschrieben und Umformung aus dem Schrödingerbild. Dann angefangen, damit Entwicklungsreihe aufzuschreiben

S: So kommen wir wieder nur zu einer Näherung, wie sieht das denn am Ende bei der Dyson-Reihe aus?

I: Ergebnis mit Zeitordnungsoperator aufgeschrieben

S: Und wie sieht jetzt die Übergangswahrscheinlichkeit aus?

I: Skalarprodukt von Endzustand und dem zeitentwickelten Zustand, wobei Zustand von t_0 auch Zustand des ungestörten Systems ist

S: Gut dann gehen wir mal zur relativistischen Quantenmechanik. Schreiben Sie bitte die Dirac-Gleichung in kovarianter Form auf.

I: gemacht

S: Und wie sieht das jetzt aus, wenn ich ein äußeres elektromagnetisches Feld anlege?

I: Dann wenden wir erstmal die minimale Kopplung an, die dann auch hingeschrieben (in der kovarianten Form), dazu auch Def. vom kovarianten 4er-Potential A_μ aufgeschrieben

S: Gut, und wie transformieren die Größen?

I: Gamma-Matrizen bleiben invariant, 4er-Divergent wie ein kovarianter Vektor (hingeschrieben), Spinor mit $S(\Lambda)$.

S: Wie ist diese Matrix definiert?

I: hingeschrieben

S: Dann zeigen Sie das jetzt bitte.

I: Angefangen, die Transformationen einzusetzen und das Ganze umzuformen. Bin am Ende nicht ganz durchgekommen, aber war wohl genug.

S: Gehen wir weiter, was ist, wenn ich den nichtrelativistischen Grenzfall betrachte?

I: Das ist dann die Pauli-Gleichung (hingeschrieben)

S: Sind das alle Terme?

I: (etwas verwirrt) ich kann da auch noch die Terme der Feinstruktur betrachten, z.B. den prop. zu LS (das stimmt aber glaube nicht, die kommen ja aus der Betrachtung der Dirac-Gleichung in relativistischer Form und nicht der nicht-relativistischen Näherung)

S: Machen wir etwas anderes, wo steckt in der Pauli-Gleichung denn der Landé-Faktor?

I: Grob umrissen: in Coulomb-Eichung $A=1/2 B \times r$ und $\sigma=2/\hbar$ einsetzen in Pauli-Gleichung, dann hat der Term mit dem Spin einen Faktor 2 gegenüber des Terms mit L

- Theo Fa:

S: Ja das passt, dann gehen wir noch zur statistischen Physik. Können Sie mir die großkanonische Dichte aufschreiben?

I: Gemacht und ein bisschen was dazu gesagt.

S: Und wie bestimmen Sie da die Zustandssumme?

I: Gemacht, erstmal über Vielteilchenzustände, dann über die Summe über Einteilchenzustände und die umgeformt wie hier:

https://www.tkm.kit.edu/downloads/ss2019_theof_2/Muster-Blatt-0.pdf

Dabei kam das Gespräch etwas auf Vielteilchen- und Einteilchenzustände und wo was betrachtet wird.

S: Und wie bestimme ich daraus jetzt meine Teilchenzahl?

I: angefangen, die mittlere Besetzungszahl zu berechnen?

S: Darüber geht das, aber ich möchte das bitte anders, über das Potential. Welches gehört denn zum großkanonischen Ensemble? (kann auch sein, dass die Punkte eher nach und nach kamen, da ich nicht so wirklich weiterwusste)

I: Das großkanonische Potential, $\Omega(T, V, \mu)$

S: Und wie wird das bestimmt?

I: erstmal $Z_G = -k_B T \ln(\Omega)$ aufgeschrieben und dann bemerkt, dass das nicht so passt, etwas rumgerätselt

S: Ja das kann so nicht stimmen, Z_G ist ja einheitenlos.

I: leider immer noch planlos

S: Es ist genau andersrum (also natürlich $\Omega = -k_B T \ln(Z_G)$). Aber drücken Sie das mal über die thermodynamischen Größen aus.

I: $\Omega = U - TS - \mu N$

S: Und wie ist denn der erste Hauptsatz der Thermodynamik?

I: Aufgeschrieben, am Ende mit $+ \mu dN$, dann (ggf. mit noch mehr Hilfestellung) ist der Groschen gefallen: $N = (d\Omega / d\mu)$ bei V, T fest (wichtig: hier partielle Ableitungen (also "dell" statt d)

S: Ja genau! Und was wäre vorhin für die mittlere Besetzungszahl herausgekommen?

I: aufgeschrieben (Bose-Verteilung)

S: Ja, und können Sie mit jetzt bitte noch den Verlauf des chemischen Potentials abhängig von der Temperatur bei Bosonen zeichnen? (hatte da auch irgendwie noch die kritische Temperatur für's Bose-Einstein-Kondensat erwähnt)

I: gemacht

S: Und für Fermionen? (wolle es dann im gleichen Diagramm haben, als ich es erst daneben zeichnen wollte)

I: Eingezeichnet, erstmal gemeint ich weiß nicht wie die beiden sich im Verhältnis zueinander verhalten

S: Aber genau das will ich wissen.

I: nochmal überlegt.. naja von der mittleren Besetzungszahl weiß ich, dass sich die bei endlichen Temperaturen dann gleich verhalten, dann nähern sich die Potentiale wahrscheinlich auch an.

S: Ja (und hat noch was genaueres dazu gesagt, aber wir waren da auch schon etwas über der Zeit). Okay das war's, gehen Sie bitte kurz raus.

