

Fach: Theoretische Physik

PrüferIn: Schmalian

☒ BP ☐ NP ☐ SF ☐ EF ☐ NF ☐ LA	Datum: Juli 2017	Fachsemester: 8
--	------------------	-----------------

Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D, E, F

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Theo D
--

Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: keine, am Anfang der Prüfung wurde klargestellt, dass der Fokus der Fragen auf Theo D liegt (wie erwartet/üblich laut den anderen Protokollen); außerdem darf man sagen, wenn ein Thema in einer Vorlesung, die er nicht selbst bei einem gehalten hat, nicht behandelt wurde.
--

Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: keine
--

Verwendete Literatur/Skripte: Schwabl QM I + II; Schwabl Statistische Physik; Schmalians Skript für Theo D, F; eigener Mitschrieb für Theo E (bei Steinhauser); Fließbach Statistische Physik

Dauer der Vorbereitung: etwa 6 Wochen im Semester

Art der Vorbereitung: Skripte durchgearbeitet, einzelne Themen aus Bücher gelernt. Protokolle abfragen lassen. Alle Rechnungen, Erklärungen mit aufschreiben üben und der Wand erzählen.
--

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Reden üben und sich häufig abfragen lassen.

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Sehr gut, entspannte Atmosphäre. Wenn man die Grundlagen drauf hat, dann werden auch schwierigere Fragen eingestreut, die z.B. auch nicht im Skript erklärt werden. Da ist es nicht schlimm, wenn man sie nicht sofort weiß. Aber man sollte einen Ansatz parat haben. Auf dem aufbauend wird man dann zur Lösung geleitet.
--

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Er hat Hilfestellung gegeben, meistens kam ich so dann auf die richtige Lösung.
--

Kommentar zur Prüfung: Zu empfehlen.

Kommentar zur Benotung: Sehr gut.

Die Schwierigkeit der Prüfung: Weitergehende Fragen (siehe oben), aber wenn die häufig vorkommen, ist man vermutlich eh schon in einem guten Bereich.

Die Fragen

Prüfer: Schreiben Sie die Grundzustandswellenfunktion des harmonischen Oszillators auf, ohne die ganze Herleitung, die haben Sie bestimmt eh gelernt.

Student: $\Psi = (m \omega / (\hbar \pi))^{1/4} * \exp(- m \omega x^2 / 2 \hbar)$

P: Woher wissen wir, dass alle Längen durch die Kombination $\hbar / m \omega$ charakterisiert werden?

S: Ich schau mir alle dimensionsbehaftete Größen an und sehe, es gibt für die Länge nur eine mögliche Kombination.

P: Nun zum 2d-HO: $(p_x^2 + p_y^2) / 2m + k (x^2 + y^2) / 2$ Was können sie mir zu den Eigenzuständen sagen?

S: Wir können den Hamiltonian als Summe von zwei 1d-HO schreiben. Dann wissen wir die Energieniveaus und haben Entartung.

P: Woher kommt die?

S: Rotationssymmetrie.

P: Welchem Operator entspricht das?

S: L_z .

P: Überzeugen sie mich, dass wir Rotationssymmetrie haben.

S: Kugelkoordinaten hingeschrieben, dann ist $x^2+y^2=r^2$ und Laplace für 2d-Polarkoordinaten ist d^2/dr^2 minus $L_z^2/\hbar^2 r^2$ mit $L_z = -i\hbar d/d\phi$ hingeschrieben. Dann sehen wir dass der vertauscht.

P: Wie kommt es jetzt zu Entartung?

S: (Ich stand etwas auf dem Schlauch) Die übliche Begründung sind ja zwei Operatoren die miteinander nicht vertauschen aber mit dem Hamiltonian.

P: Das haben wir aber ja hier nicht.

S: (Nach einigem Überlegen und Hilfe) Der Eigenwert m zum L_z Operator taucht nur quadratisch auf, aber m kann auch negative Werte annehmen.

P: Was macht man, wenn noch ein Mischterm $k*x*y$ hinzukommt?

S: Als Matrix hinschreiben. Zu den Impulsen die Matrix ist die Einheitsmatrix und daher immer diagonal. Für die zweite muss man diagonalisieren, also Eigenwerte finden.

P: Wie sieht es jetzt mit der Entartung aus?

S: (Nochmal ziemlich aufm Schlauch) Die haben wir noch, da ja zu dem Problem oben rotierbar.

P: Das ist falsch, aber wenn sie mir sagen wieso, können sie sich retten.

S: (Mit etwas Hilfe) Ah, die Eigenwerte sind ja unterschiedlich.

P: Wie sieht es aus, wenn man ein geladenes Teilchen ohne Spin in einem E- oder B-Feld hat?

S: Minimale Kopplung. Hamilton aufgeschrieben.

P: Da bekomme ich ja jetzt Angst, da hier ja das Vektorpotential selbst auftaucht, das kann ja "unterschiedlich" geschrieben werden.

S: Genau. Wir haben die Eichfreiheit. Wenn wir A und phi gleichzeitig entsprechend transformieren.

Damit unsere Gleichung invariant bleibt, muss auch die Wellenfunktion entsprechend transformiert werden.

P: Was wissen sie zum Aharanov-Bohm-Effekt?

S: Ich hab im Wesentlichen die Erklärung in seinem Skript wiedergegeben.

P: Wenn wir einen Doppelspalt haben und schießen mit Kanonenkugeln drauf, wie sieht das Bild dann auf dem Schirm aus?

S: Zwei Hügel hinter jedem Spalt, die kann man dann einfach addieren.

P: Und wie sieht es mit einer normalen Welle aus, z.B. eine Wasserwelle.

S: Interferenzmuster.

P: Was ist jetzt mit einem quantenmechanischen Teilchen?

S: Da sehe ich auch Interferenz.

P: Genau. Was soll dann eigentlich dieser Welle-Teilchen-Dualismus sein, wenn Sie sich doch jetzt eindeutig auf die Welleneigenschaft festgelegt haben? Was ist denn der Unterschied zur Wasserwelle?

S: Erstmal rumgedruckt, ich wusste nicht worauf er hinauswollte. Ich hab irgendwas über das messen hinter einem der Spalte geredet, und was ich dann hab.

P: Das stimmt alles, aber wenn ich bei einer Wasserwelle messe, dann stört dass ja auch die Interferenz. Wo ist also der Unterschied? Was messe ich denn am Schirm?

S: (jetzt wusste ich was er etwa will) Bei der Wasserwelle messe ich z.B. die Höhe des Wasserstandes. Das quantenmechanischen Teilchen messe ich immer noch an einer Stelle. Die Interferenz sehe ich erst durch Wiederholung, also in der Wahrscheinlichkeitsverteilung.

P: Wie mache ich entartete Störungstheorie?

S: Ich diagonalisiere den entarteten Unterraum bezüglich des Störpotentials. Also suche ich im Wesentlichen Eigenwerte.

P: Wenn wir das diagonalisieren, heißt das, die Lösung ist exakt?

S: Nein, da wir nur in 1. Ordnung die Wechselwirkung zu den Zuständen anderer Energie vernachlässigen können.

P: Was wissen Sie zum Stark-Effekt.

S: Das ist des Wasserstoffatoms an ein elektrisches Feld. Also z.B. ein skalares Potential $-\vec{E} \cdot \vec{r}$.

P: Genau, sagen wir es ist in z-Richtung, dann haben wir $-E*r*\cos\theta$. Wie ist jetzt die Aufspaltung des $n=2$ Niveaus? Was hat das eigentlich für einen Entartung unter Vernachlässigung des Spins?

S: Wir haben 4-fache Entartung, nämlich $l=0$ ($m_l=0$), $l=1$ ($m_l = -1, 0, 1$). Jetzt muss ich mir alle Matricelemente anschauen.

P: Unterbricht mich. Das sind aber ja 10 unabhängige Elemente? Vielleicht verschwinden auch einige? Schauen sie sich mal die Diagonalelemente an.

S: $\langle l,m | r \cos \theta | l,m \rangle$... Hmm, der Störterm vertauscht mit L_z ..?

P: Ja, das brauchen wir aber hier nicht. Wie sieht der Cosinus aus?

S: Ah, der ist antisymmetrisch und die Wellenfunktion im Quadrat ist symmetrisch. Also verschwinden die, wenn man darüber integriert.

P: Welche/r Symmetrie/Operator sorgt denn dafür, dass die Wellenfunktion diese Eigenschaft hat?

S: Parität, die Wellenfunktion ist also gerade oder ungerade, und das Quadrat folglich immer gerade.

P: Jetzt die anderen Elemente.

S: Hier kann ich jetzt benutzen, dass der Störterm mit L_z vertauscht. Also muss m gleich sein. Ich hab also nur noch ein Element, das nicht verschwindet, nämlich $\langle 0,0 | r \cos \theta | 0,0 \rangle$.

P: Wie sieht also die Matrix aus, die diagonalisiert werden muss?

S: Matrix mit genau zwei nicht von Null verschiedenen Einträge. Diagonalisiert hab ich also zwei mal den Wert Null und $\pm \sqrt{V}$.

P: Wie ist die Entartung?

S: Teilweise aufgehoben. Bei der Korrektur Null gibt es noch zweifache Entartung.

P: Was ist die Diracgleichung?

S: Relativistische Energie-Impuls-Beziehung, im Gegensatz zu Klein-Gordon nur erste Ableitungen. Ansatz mit α_k und β . Zweimal angewendet soll die KG-Gleichung geben. Daraus ergeben sich die Antikommutatoren. Die Matrizen sind daraus folgen spurfrei mit Eigenwerten ± 1 .

P: Wie sieht das jetzt in zwei Dimensionen aus?

S: Da brauche ich drei Matrizen, deswegen reichen 2×2 -Matrizen aus. Ich kann die Paulimatrizen nehmen.

P: Wie sieht das Spektrum aus?

S: Zwei Kurven bei positiver und negativer Energie.

P: Was machen wir denn damit? Wo ist denn der Grundzustand?

S: Beobachtung, dass die Welt ziemlich stabil ist. Also erwarten wir einen ordentlichen Grundzustand. Eine Möglichkeit, das Auffüllen aller negativen Zustände, ist der Dirac-See. Löcher auf der unteren Kurve sind dann Antiteilchen.

P: Wie sieht das Spektrum in 3d aus?

S: Gleich. Ich brauch zwar 4×4 -Matrizen, weswegen ich einen zusätzlichen Freiheitsgrad mit zwei Einstellmöglichkeiten des Spin, bekomme. Dies bedeutet aber "nur" dass jeder Zustand doppelt besetzt werden kann auf den beiden Kurven.

P: Woher weiß ich, dass das der Spin ist?

S: Ich kann das z.B. im nichtrelativistischen Grenzfall entwickeln und bekomme die Pauligleichung, also die Gleichung für ein Teilchen mit Spin $1/2$.

P: Was ist die Zustandsgleichung für ein klassisches ideales Gas mit $E = pV$?

S: Die ist, wie immer, $pV = NkT$.

P: Zeigen sie das.

S: Zustandssumme hingeschrieben, damit die freie Energie. Ableiten nach V und man sieht, dass der Term, wo die Dispersion p^2 auftaucht, verschwindet.

P: In welcher thermodynamischen Größe sehe ich z.B. dann was?

S: Entropie.

Dann wars schon vorbei.