

Fach: Theoretische Physik

PrüferIn: Schmalian

☒ BP ☐ NP ☐ SF ☐ EF ☐ NF ☐ LA	Datum: 21. Februar 2019	Fachsemester: 9
--	-------------------------	-----------------

Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D, E und F
--

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? -

Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -

Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
--

Verwendete Literatur/Skripte: Theo D: Schmalian Theo D Skript (alles), Fließbach (Störungstheorie, Stark-Effekt), Schwabl (Aharonov-Bohm-Effekt), Rischke QM I Skript

Theo E: Rischke QM II Skript (Klein-Gordon-Gleichung, Dirac-Gleichung)
--

Theo F: Schmalian Theo F Skript (Ising Modell, klassisches ideales Gas im großkanonischen Ensemble), Nolting 6 (Herleitung diverser Zustandssummen für Quantengase, Dichtematrix)

Dauer der Vorbereitung: 10 Wochen, 7 davon kontinuierlich

Art der Vorbereitung: alleine, auf und ab gelaufen, mit der Wand gesprochen, Karteikarten

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Auf Theo D wird sehr viel Wert gelegt. Seine Übungsblätter gut kennen, um an die gestellten Fragen anknüpfen zu können. Einige Protokolle durchgehen, damit die Themen klar sind, auf die er Wert legt. Zu Übungsaufgaben und wichtigem Themen A6 Karteikarten schreiben und immer mal wieder durchgehen, auch noch einmal am morgen vor der Prüfung, um die Dinge fresh zu haben.
--

Theo E: Klein-Gordon und Dirac-Gleichung
--

Theo F: Ising Modell

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Man muss auch mal eine Aufgabe vorrechnen können, aber es ist weniger schlimm, wenn man es 'live' nicht komplett fehlerfrei hinbekommt. Wichtig ist es, die Zwischenschritte auch erzählen zu können und die Annahmen und Ergebnisse zu wissen. Ich musste manchmal für ~10-15 Sekunden überlegen und das hat er nie abgebrochen.
--

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Er gibt einem Zeit zum Überlege und Tipps, die einen manchmal auf die richtige Spur lenken können.

Kommentar zur Prüfung: War am Ende echt lustig, wahrscheinlich weil es recht gut lief.
--

Kommentar zur Benotung: 1.3 - viel besser als erwartet (allerdings auch beim 2. Versuch)
--

Die Schwierigkeit der Prüfung: Landau-Niveaus in 3D wurde gefragt, wobei dies ein Problem ist, das für unterschiedliche Eichungen leicht unterschiedlich aussieht, was verwirrend sein kann.
--

Die Fragen

P: Spinloses geladenes Teilchen im Magnetfeld: Wie wird es beschrieben?

S: Minimale Kopplung hingeschrieben, erklärt, dass die $\vec{E}$ - und $\vec{B}$ Felder die wichtigen Größen sind und eine Eichfreiheit besitzen. Hamiltonian hingeschrieben $\hat{H} = \frac{1}{2m} (\vec{p} - q \vec{A})^2$.

P: Wie sieht der Wahrscheinlichkeitsstrom aus für ein Teilchen ohne Magnetfeld und für eines im Magnetfeld? Ist er bestimmt durch eine lokale komplexe Phase?

S: Ohne Magnetfeld: $\vec{j}$ ist auch durch den Gradienten einer lokalen Phase bestimmt. Mit Magnetfeld: $\vec{A}$ kommt explizit im Vektorstrom vor.

P: Wie beeinflusst diese Eichfreiheit die Quantenmechanik?

S: Unter Forderung der Forminvarianz der Schrödingergleichung unter elektromagnetischer Eichtransformation folgt, dass die Wellenfunktion eine komplexe Phase bekommt, abhängig von der Eichfunktion. Dies hat physikalisch messbare Konsequenzen, z.B. in der Phasendifferenz der Teilstrahlen beim Aharonov-Bohm-Effekt und der darin beobachtbaren Abhängigkeit des Interferenzmusters vom magnetischen Fluss (kommt in Phase der WF vor als Wegintegral des Vektorpotentials) der dabei beteiligten Spule.

P: Ist der Wahrscheinlichkeitsstrom invariant unter elektromagnetischer Eichung?

S: Ja, dies wurde in den Übungen bewiesen, durch Einsetzen der eichtransformierten Wellenfunktion.

P: Teilchen ohne Spin im homogenen Magnetfeld. Suchen Sie sich eine Achse für das Magnetfeld aus. Wie würden sie das Problem quantenmechanisch beschreiben?

S: $\vec{B} = B \vec{e}_z$ genommen, Hamiltonian mit einfacher Landau-Eichung $\vec{A} = -yB \vec{e}_x$ hingeschrieben (erst hat er mich wegen der Form der Eichung korrigiert, habe ihm widersprochen und gezeigt, dass $\vec{A}$ so gültig ist). Dann ist mir eingefallen, worauf er hinauswollte: Landau-Niveaus (s. Übungen und sein QM I Skript). Habe erzählt, dass der Hamiltonian auf den eines Harmonischen Oszillators plus den eines freien Teilchens umgeschrieben werden kann, konnte es aber auf dem Blatt nicht sofort nachvollziehen. Nach einigem hin und zurück bin ich darauf gekommen, den Separationsansatz aufzuschreiben, begründet durch Symmetrieüberlegungen und durch Probieren, welcher Kommutator $[H, p_i]$, $p = 1, 2, 3$ Null ergibt. Dann physikalische Intuition dahinter erklärt und erklärt, dass durch die spezifische Wahl der Eichfunktion eine Asymmetrie in den Gleichungen entsteht, die mich bei der Rechnung und Interpretation etwas verwirrt hat. Irgendwann ging er dann weiter.

P: Schreiben Sie die Dirac-Gleichung hin.

S: hingeschrieben

P: Was sind diese Gamma-Matrizen?

S: Erklärt, dass sie einen 4-Komponenten Vektor bilden und konstruiert werden aus den α_i und β Matrizen, die in einem Linearisierungsansatz für den Hamiltonian der Dirac-Gleichung verwendet werden. Diesen Ansatz hingeschrieben und die Kommutatorrelationen motiviert aus der Forderung der Gültigkeit der relativistischen Energie-Impuls-Beziehung.

P: Warum sind das Matrizen?

S: Es könnten auch andere mathematische Objekte, z.B. Differentialoperatoren sein, aber Matrizen sind relativ einfach (Ockams Razor).

P: Welche Eigenschaften haben diese Matrizen?

S: Motiviert und Beweise skizziert: Hermitizität $\rightarrow$ reelle Eigenwerte, Quadrate ergeben $\mathbb{1}$, Hermitesche Operatoren können durch unitäre Transformationen diagonalisiert werden, wobei dann nach etwas Rechnung gilt $\mathbb{1} = \text{diag}(\alpha_i^2, \alpha_i^2, \dots) \rightarrow$ Eigenwerte ± 1 , $\text{Tr}(\alpha_i) = \dots = -\text{Tr}(\alpha_i) = 0$ (aus der 2. Kommutatorrelation und Zyklizität der Spur) $\rightarrow$ genauso viele -1 er wie $+1$ er auf der Diagonalen $\rightarrow$ mögliche Dimensionen sind $N=2, 4, 6, \dots$ (ich glaube er hat es geschätzt, dass ich hier die Sachen explizit beweisen konnte, Herleitungen s. z.B. Rischke QM II Skript). Wir brauchen 4 linear unabhängige Matrizen für α_i und β . Für $N=2$ hat die Basis nur 3 Elemente (Pauli-Matrizen), d.h. wir gehen zu $N=4$. Dann wollte ich die Dirac-Darstellung hinschreiben, er hat mich unterbrochen.

P: Wie sieht das Spektrum der Dirac-Gleichung aus?

S: Es gibt 2 Eigenwerte, $\pm E_{\vec{p}}$. Verlauf des Spektrums hingezeichnet in Abhängigkeit vom Betrag von $\vec{p}$. Diese sind 2-fach entartet. Das deutet auf den Spin $1/2$ hin. Im $p=0$ Bezugssystem kann man sehen, dass die oberen beiden Komponenten des Spinors die zu $+E_{\vec{p}}$ und die unteren die zu $-E_{\vec{p}}$ sind. Dann noch den Dirac-See hingezeichnet und dann bemerkt, dass der Dirac-See trotz des Pauli Prinzips doch eine recht problematische Idee ist (wegen seiner prinzipiell unendlichen Tiefe).

P: Wie sieht das ganze in 2D aus?

S: Da ist z.B. $p_z = 0$, d.h. wir brauchen nur 3 linear unabhängige Matrizen $\rightarrow$ Pauli-Matrizen, 2×2 , daher hätte der Spinor nur 2 Komponenten.

P: Was ist denn der klassische Grenzfall, der aus der Dirac-Gleichung folgt?

S: Pauli-Gleichung.

P: Gehen wir zur statistischen Mechanik über. Schreiben sie das Ising-Modell hin.

S: Hamiltonian zum 1D Ising-Modell (mit periodischen Randbedingungen) hingeschrieben und angefangen, die Zustandssumme mit Transfermatrixmethode zu berechnen. Zwischendrin hat er gemein, ich kann das und hat die Frage abgebrochen.

P: Dann noch eine Frage an den Beisitzer und an mich: gibt es Magnetismus auch in einer Dimension. Ich konnte nur spekulieren. Als er vom Energie-Impuls-Tensor zu reden angefangen hat hab ich nichts mehr verstanden.

P: Gehen Sie kurz raus.