

Fach: Theoretische Physik

PrüferIn: Schmalian

<input type="radio"/> BP <input type="radio"/> NP <input type="radio"/> SF <input checked="" type="radio"/> EF <input type="radio"/> NF <input type="radio"/> LA	Datum: 15. März 2016	Fachsemester: 8
--	----------------------	-----------------

Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D+E (kein F)
--

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

Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -

Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
--

Verwendete Literatur/Skripte: Theo D Schmalian SS15 Skript Theo E Steinhauser WS1213 Skript und WS1516 Mitschrieb Messiah QM I+II (nur zum punktuellen Nachschlagen zu empfehlen)

Dauer der Vorbereitung: 2-3 Wochen a 4-6 Stunden pro Tage immer 5-6 Tage pro Woche
--

Art der Vorbereitung: Hauptsächlich allein, Fragen sammeln und von Kommilitonen beantworten lassen.

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Macht euch die Zusammenhänge klar, warum geht man wie vor (welche zündende Idee steht dahinter). Damit könnt ihr zwar nicht alles auswenig hinschreiben aber alles herleiten.

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Fühlte sich fast mehr wie ein gemütlicher Plausch an. Schmalian lies mir sehr viel Freiheit: Hat meist ein Thema vorgegeben, ich durfte entscheiden in welche Richtung es geht. Hat natürlich immer wieder kleine Fragen eingeworfen und so die Richtung maßgeblich mitbestimmt.

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Gab einem die Zeit zum überlegen, wenn nichts kam hat er die Frage aufgespaltet und in kleine Häppchen zerlegt bis ich drauf kam oder selbst gesagt habe, nein ich schaffe es nicht. Macht euch also nicht verrückt
--

Kommentar zur Prüfung: Man sollte die Zusammenhänge kennen. Genaue Faktoren und die meisten Vorzeichen sind für Schmalian uninteressant.
--

Kommentar zur Benotung: 1,0 war erhofft, fast erwartet und bin sehr zufrieden damit (wer denn nicht?)

Die Schwierigkeit der Prüfung: Habt keine Bedenken dabei, etwas nicht exakt (aus dem Stand) zu wissen, bereitet euch aber darauf vor, es evtl herzuleiten. Dies kann sowohl eine einfache physikalische Interpretation sein aber auch eine exakte mathematische Herleitung!

Die Fragen

Einfaches zum Einstieg: Drehimpulsalgebra. Kommutatorrelation hinschreiben und sagen, was man alles draus folgern kann. Er wollte vor allem die Konstruktion von J^2 , Kommutatoren J^2 mit J_x , J_y , J_z . "Was kann man daraus alles folgern?" Antwort: Konstruktion J_+ , J_- , Kommutatoren mit J^2 , J_z , untereinander Eigenbasis von J^2 und J_z hinschreiben, zeigen dass J_+ , J_- Auf- bzw Absteigeoperatoren sind. Eigenwerte

von J^2 bestimmen und zeigen, dass diese die Eigenwerte von J_z beschränken. Da hat er gemeint es reicht hierzu, ich kann das offensichtlich.

Eine der schönsten Gleichungen der Physik: Kontinuitätsgleichung. Aufsagen, wie wird der Wahrscheinlichkeit gebildet (Vorfaktor muss nicht gewusst werden). Meine Antwort: $\text{vec}(j) = \text{const}(\psi \nabla(\psi^*) - \psi^* \nabla(\psi))$. Es folgte ein recht langer Ausflug ein Eichung: "Wie fügt man EM-Felder in den Hamilton-Operator ein, warum gerade so" (Antwort: Weil so die Lorenzkraft rauskommt, wollte auch die Eichungskorrekturen für A und ϕ), "ändert sich ψ ?" JA, um eine nichtkonstante Phase! Damit stimmt mein W. keitsstrom oben nicht. Er wollte den Korrekturterm $+e \text{vec}(A) |\psi|^2$ dazu haben. Nachfrage von ihm: "Warum gerade so?" Antwort: "Damit die Konti gilt."

Anwendung des zuvor gezeigten: freies Teilchen im konstanten Magnetfeld. Vektorpotential hinschreiben, Hamilton-Operator hinschreiben. "Lösen Sie das Problem." Bin wie in der Vorlesung mit dem geschickten Ansatz ran: $\psi = \exp(i(k_x x + k_z z))u(y)$. Da kommt ein verschobener HO (Harmonischer Oszillator) für u raus. Verschieben in y -Richtung (macht nicht für die Eigenwerte) und in der Energie nach oben verschoben um $\hbar \omega_c^2 k_z^2 / 2m$ (Formal Lösen war nicht verlag. Umformen bis der HO dastand und dann sagen: Wir wissen, dass ...). Charakteristische Frequenz kurz mitausrechnen (Lamor-Frequenz). "Interpretieren Sie das Ergebnis Physikalisch." Stand etwas auf dem Schlauch, kam aber dann noch drauf, dass er hören wollte: Alle Eigenwerte sind entartet (beachte das k_z^2 in der Verschiebung) und es sind nur quantisierte Energien möglich, sobald man k_z festhält, d.h. die Ganghöhe der schraubenförmigen Bahn ist festgelegt! Zurück zu Drehimpulsen: 2 Operatoren vertauschen jeweils mit einem Hamiltonoperator aber nicht untereinander. "Was weiß man dann?" Antwort: Der Hamilton-Op hat ein entartetes Spektrum. Auf die Nachfrage, ob das anschaulich oder mathematisch bewiesen werden soll, war mathematisch die Antwort. Hier mein Weg: $[A, H] = 0 = [A, B] \neq 0$. Operatoren seien hermitesch (klar) wähle also Eigenbasen: $A|a\rangle = a|a\rangle$, $B|b\rangle = b|b\rangle$, $H|a\rangle = E_a|a\rangle$, $H|b\rangle = E_b|b\rangle$ (gemeinsame Eigenfunktionen, nicht zwangsläufig gemeinsame Eigenwerte!). Prinzip: Würfle alles durcheinander um die Kommutatoren auszunutzen zu können: $E_b A|b\rangle = A H|b\rangle = H A|b\rangle$. Damit ist $A|b\rangle$ ein Eigenvektor von H zu E_a . Also muss E_a entartet sein. Einwand von Schmalian: "Was haben Sie hier essentiell ausgenutzt? Hier ein Beispiel: bei Drehimpulsen ist der 1S-Zustand nicht entartet!" Ich kam ehrlich gesagt nicht drauf. Die Antwort war: $A|b\rangle \neq 0$ (klar, 0 ist kein Eigenvektor).

Offene Frage seinerseits: "Was können Sie mir zur Dirac-Gleichung sagen?" Ich hatte freie Wahl und habe mich entschieden, sie herzuleiten aus dem Ansatz, dass sie eine Matrixgleichung ist, die in jeder Komponente die Klein-Gordon-Gleichung erfüllt. Die Frage "Warum Matrix-Gleichung?" hat mich ins Straucheln gebracht. Die Antwort war: Man hat nur p als "Richtung" zur Verfügung. Würde man die Koeffizienten von den Ortsableitungen skalar ansetzen, so gäbe es eine ausgezeichnete Richtung im Raum, was nicht sein kann. Die explizite Quadrierung des Ansatzes musste ich nicht ausführen, es hat genügt die resultierenden Kommutatorrelationen an die Matrizen hinzuschreiben. "Was kann man über die Matrizen sagen?" Alle müssen hermitesch sein, damit H Hermitesch ist, alle EW ± 1 sein, aus den Kommutatorrelationen folgt, dass alle Spuren 0 sind (explizit rechnen). Da die Spur gleich der Summe der EW ist, muss die Dimension gerade sein. Begründen warum $\text{Dim}=2$ schief geht (Es gibt nur 3 antikommutierende Matrizen im 2×2 Raum, nämlich die Pauli-Matrizen). Also ist $N=4$ die erste sinnvolle Dimension. Nun ein heftiges Gedankenspiel: "Wenn man das Problem in 2 Dimensionen stellt (z -Komponente weglassen), geht es dann in $N=2$?" Ich habe richtig geraten: JA! Die Paulimatrizen tun's, man braucht ja nur noch 3 antikommutierende Matrizen! Noch schlimmeres Experiment: "Was passiert, wenn man das Problem in 2 Dimensionen angeht und fordert, dass jede Komponente von ψ nicht die Klein-Gordon-Gleichung, sondern die Schrödinger-Gleichung löst?" Er wollte hier wirklich nur einen geratenen Ansatz wissen, nichts hergeleitetes. Ich kam nicht drauf, auch nicht nach längerem nachdenken (hat er mir auch nicht negativ angerechnet). Antwort im Nachhinein: man erhält die Pauligleichung. Idee wie man drauf kommt: Relativistischer Grenzfall der Diracgleichung entkoppelt in 2 Systeme mit Spin. Folgerung: Die Existenz von Spin ist kein relativistisches Phänomen, sondern kann auch nichtrelativistisch eingesehen werden (Dirac-Ansatz in 2D, jede Komp erfüllt SG). Wieder sehr offen: Wofür stehen die Komponenten der Lösung der Diracgleichung? Nach ein bisschen hin und her kam ich drauf: 2 Komponenten mit positiver Energie, 2 Komponenten mit negativer Energie, jeweils mit 2 Spins. "Interpretation davon?" Dirac-See: Wären negative Energien immer erlaubt, so läge der Grundzustand bei $E = -\infty$. Ausweg: Elektronen sind Fermionen und alle negativen Energien sind (unter Beachtung des Pauli-Prinzips) schon besetzt. Wird nun ein solches Teilchen im Dirac-See auf ein positives Energieniveau angehoben (z -B- durch Strahlung) entsteht ein Loch im See, das als Teilchen mit entgegengesetzter Ladung interpretiert werden kann \rightarrow Postulierung des Positrons. "Welche Energie ist dafür notwendig?" Meine Antwort: mc^2 , richtig wäre $2mc^2$ gewesen (sind ja 2 Teilchen).

Letzte Frage von der Protokollantin: $H = H_0 + H_{\text{int}}$ (kleine Störung). Wie kann man näherungsweise die Energiekorrektur bestimmen? Mündlich hat der Ansatz der Entwicklung des Hamilton-Op in eine Reihe und das hinschreiben der ersten Korrektur $E_n = \langle n | H_{\text{int}} | n \rangle$ gereicht. Nachhaken von Schmalian: "Und wenn E_n entartet ist?" Nur mündlich: Erst eigenraum Diagonalisieren, Korrekturen für jeden Zustand ausrechnen, aufsummieren (war ihm völlig ausreichend).

Wie gesagt: Es war mehr ein gemütliches Zusammensitzen, bei dem ich erklärt habe, was ich so weis, und er hat nur die Richtung gelenkt.

Lob bekam ich vor allem für mathematische Exaktheit sobald ich etwas aufgeschrieben oder formuliert habe und physikalische Interpretation für Rückschlüsse auf reale Größen. Genaue Vorfaktoren und die

meisten Vorzeichen waren irrelevant.