

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: 22. März 2023	Fachsemester: 7
Welche Vorlesungen wurden geprüft? TheoD, TheoE, TheoFa&b		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? TheoA		

## Zur Vorbereitung

Abprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -
Abprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
Verwendete Literatur/Skripte: Skripte: TheoD: Schmalian(SS17 und SS21) und Shnirman (SS22) SKripte TheoE: Melnikov (WS21/22) und Steinhauser Skript TheoF: Mirlin Skript und Shnirman Folien Literatur: Nolting (Fermis Goldene Regel)
Dauer der Vorbereitung: 8 Wochen ab 4. Woche intensiver
Art der Vorbereitung: Zunächst alleine Zusammenfassung der Vorlesungen/Skripte, im Anschluss dann gemeinsames Abfragen/Durchgehen der Altprotokolle + Wiederholen klassischer Fragestellungen gegen Ende
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Anschauen der Altprotokolle hilft auf jeden Fall, tiefergehendes Verständnis von Fermis Goldener Regel ist sehr wichtig (fragt er eigentlich immer), Klassische Fragestellungen von ihm sollten sitzen (H-Atom, Stark-Effekt $n=2$ , Teilchen auf einem Ring, Wellenpakete, BEK, Viralentwicklung, Zustandssummen und Bose/Fermistatistik,...)

## Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Insgesamt ganz flüssig, allerdings springt er sehr schnell zwischen Themegebieten hin und her. Durch meine Antworten hatte ich keinen direkten Einfluss auf den Verlauf der Prüfung. Ablauf war in den Grundzügen klassisch für eine Prüfung von ihm (Anfang Schrödinger Gleichung + Hermitizität...., dann H-Atom + Störtheorie und am Ende TheoF) etwas wild war der Photonenemission-Teil, weil dort dann vermischt TheoE und F abgefragt wurde.
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Sehr gelassen, lässt einem Zeit nachzudenken und gibt einem Input. Diesen fand ich im Gegensatz zu vielen vor mir actually hilfreich und zumindest relativ eindeutig.
Kommentar zur Prüfung: Erstaunlich angenehm und kurzweilig.
Kommentar zur Benotung: Sehr fair, 1.0 :)
Die Schwierigkeit der Prüfung: Bedeutung der Energieverschiebung beim Teilchen auf dem Ring, Querschlägerfragen zu Streuung, Fermis Goldene Regel mit Photonen, Wasserstoffatom im Vakuum (welche Photonenemissionen sind möglich + Wahrscheinlichkeit sich in einem Zustand zu befinden)

## Die Fragen

I: Ich

S:Shnirman

S: Zeitabhängige Schrödingergleichung

I: Hingeschrieben

S: So H ist hermitesch was bedeutet das?

I: Definition in Matrix Form und in Braket Form aufgeschrieben

S: Können Sie mir zeigen dass p ein solcher Operator ist

I: Gezeigt (siehe jedes TheoD skript ever)

S: Ist p auch in begrenzten Systemen hermitesch?

I: hier war mir nicht genau klar auf was S hinaus wollte, habe dann mit dem Unendlich tiefen Potential argumentiert und dort beschrieben dass auch dort die Wellenfunktion an den Enden/Grenzen verschwinden muss

S: Irgendwas davon gesagt, dass man es sich auch noch schwerer machen könnte, irgendwie hat ihm die Antwort aber gereicht

S: Wie sieht der Hamiltonian eines elektrons im em-Feld aus?

I: Hingeschrieben (von der Form analog zur Pauli Gleichung)

S: Kennen sie das Problem, wo ich ein Teilchen auf einem Ring habe und in der Mitte einen magnetischen Fluss?

I: Klar, dann etwas unstrukturiert die Eigenfunktionen ( $\Psi = 1/\sqrt{2\pi} * e^{in\phi}$  mit der ganzen Zahl n --> aus der  $2\pi$ -Periodizität der Wellenfunktion) und Eigenenergien des Systems bestimmt. Bei der Betrachtung der Eigenenergien, habe ich zunächst über das Pfadintegral über den Ring  $\int_{\vec{A}} \vec{A} = A 2\pi R$  sowie den Satz von Stokes  $\int df \text{rot}(A) = \int df B = \Phi$  angewandt um einen Ausdruck für das Vektorpotential in Abhängigkeit des Flusses zu finden:  $\vec{A} = \Phi/2\pi R$ . Den kann man dann in den Hamiltonian des Systems einsetzen, da meine Eigenzustände die gleiche Form beibehalten müssen kann ich diese als Lösungsansatz verwenden. es findet sich eine Verschiebung der Energieniveaus  $E_n \sim (n - \Phi/2\pi\hbar)^2$ .

S: Was bedeutet diese Verschiebung denn?

I: zunächst etwas davon geredet, dass die Zustände gleich bleiben, aber deren Energie verschoben wird, nach kurzer Diskussion, dann darauf gekommen dass sich der kinetische Impuls (hier hatte ich zunächst kanonischen und kinetischen Impuls vertauscht) des Teilchens verändert, dann war er zufrieden.

S. H-Atom?

I: Hamiltonian der Relativkoordinate hingeschrieben.

S: Erhaltungsgrößen?

I: H,  $L^2$ ,  $L_z$  und die jeweilige Symmetrie genannt.

S: Und wie kann man das anders als aus der Symmetrie bestimmen?

I: Ehrenfesttheorem und Heisenberggleichung genannt und gesagt, dass aus beiden schlussendlich herauskommt  $[H, A] = 0$  wenn A erhalten ist.

S: Ok, dann zeigen sie doch mal dass  $L_z$  erhalten ist.

I: Angefangen mit dem Kommutator von  $L_z$  mit  $1/r$  Term des Hamiltonians, gezeigt, dass dieser gerade verschwindet, dann hat er mich schon abgebrochen.

S: Ok und wie sieht das Spektrum denn aus?

I:  $E_n = -Ry/n^2$

S: Und die Entartung und wie kommt man darauf?

I:  $n^2$  bzw  $2n^2$  und dann die Summe aufgestellt und die Quantenzahlen  $l, m, s$  eingeführt.

S: Und positive Energien? sind diese Teil vom Hilbertraum?

I: Ungebundene/Streuzustände und Nein (siehe Lösung des freien Teilchens -> ebene Wellen)

S: Haben sie Streutheorie gelernt?

I: Öhhhhhh (hatte ich mir nicht explizit angeschaut und das letzte mal in TheoE bei Melnikov gelernt)..

S: Ok was klassifiziert Streuprozesse normalerweise?

I: Wirkungsquerschnitt und differentiellen Wirkungsquerschnitt \*seeeehr\* qualitativ erklärt (mit Zeichnung)

S: Ok und wie bestimmt man den?

I: Irgendwas versucht von optischem Theorem und Streuamplituden zu erzählen...er wollte eigentlich auf die Streuphasen hinaus. War ihm aber dann irgendwie auch nicht sooo wichtig.

S: Nun wollen wir die Entartung aufheben.... durch ein E-feld. Wie nennt man das und wie klassifiziert man das?

I: Linearer bzw. quadratischer Starkeffekt, und klassifiziert wann welcher benutzt wird.

S: Ok betrachten sie  $n=2$ .

I: klassische Shnirman Aufgabe: Zunächst Beschränkung auf den entarteten Unterraum  $n=2$ . Herleitung der Auswahlregeln für die Matrixelemente der Störung  $V = -eEz$ . 1.  $[L_z, z] = 0 \rightarrow m'=m$ , 2. Aus der Parität und dem Wigner-Eckhart-Theorem folgt außerdem  $l'=l\pm 1$ . Dann ergeben sich nur noch zwei Matrixelemente mit 210 und 200.

S: Was passiert dann wenn ich diese Störung plötzlich anschalte?

I: Oszillation (dann kurze Diskussion darüber mit welcher Frequenz diese Oszillation stattfindet ( $2/\hbar * \Delta$  oder ohne Faktor 2) mit dem Matrixelement  $\Delta$ . War aber eher qualitativer Natur.

S: Und hätten sie das jetzt auch mit zeitabhängiger Störungsrechnung rechnen können?

I: Angefangen, dass man das im Allgemeinen schon machen kann, man jedoch keinen exakten Ausdruck bekommt sondern nur Approximation (für kleine Zeiten  $t$ ) und man die ganze Störungsreihe durchführen müsse um einen geschlossenen Sinus/cosinus term zu bekommen.

S: Ok und mit Fermis goldenener Regel?

I: Selbes Problem und hier keine Kontinuierlichen Zustände, sodass es maximal für kleine Zeiten eine gute Approximation liefert. Währenddessen hab ich auch Fermis Goldenene Regel aufgeschrieben.

S: Gut und wie sieht diese jetzt aus wenn ich die Kopplung mit dem Vakuum betrachte (irgendwie so war die Frage formuliert)?

I: Photonen Energie in der Delta Funktion und noch die Integralschreibweise benutzt ( $\int \nu(e_f) de_f$  ergänz: Hier kamen dann noch ein paar Nachfragen an die ich mich leider nicht mehr ganz erinnern kann.

S: Wie ist die Zustandsdichte von Photonen ind 3 Dimensionen?

I: ausgerechnet ausgehend von der dispersion  $e = \hbar c k$

S: Ok und jetzt befinden wir uns im Zustand 210 welche Übergänge mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit (hier wollte er auf elektrische Dipolübergänge hinaus) kann es im Vakuum geben?

I: Im Vakuum nur Emission möglich, in el. Dipolübergängen nur Übergang in 100 möglich.

S: Und für 200?

I: Keine Dipolübergänge möglich, möglicherweise höher Ordnungen.

S: Gut, und was ist im Kosmos (bei  $T = 2,4K$  oder so) die Wahrscheinlichkeit dass sich ein Wasserstoffatom im Zustand 210 befindet?

I: Hier war ich ehrlich kurz etwas verwirrt weil ich nicht wusste was er da von mir da wollte, als er dann meinte ok jetzt denken sie doch mal an statistische Physik, habe ich die Wahrscheinlichkeit wie in TheoF als  $W_{210} = e^{-\beta E_{210}} / Z$  bestimmt und dann die kanonische Zustandssumme eines H-Atom aufgestellt, wichtig ist hierbei die Entartung die als  $n^2$  Faktor innerhalb der Summe auftritt.

S: Ok dann noch Relativistik: Dirac mit em-Feld

I: Hingeschrieben

S: Und Psi ist das ein Vektor?

I: Nein ein Spinor, anderes Transformationsverhalten.

S: Ok und wie transformiert dieser?

I: Transformationsbedingung für  $S(\Lambda)$  hergeleitet.

S: LS-Kopplung woher?

I: Dirac Gleichung entwickelt in 2. Ordnung in  $v/c$

S: Und Lande Faktor?

I: 1. Ordnung

S: Gut, nun nochmal statistische Physik, Großkanonische Zustandssumme von Bosegas?

I: Hergeleitet.

S: Bose Einstein Kondensation, was machen wenn Dispersion und Dimension meines System bekannt ist?

I:  $N = N_0 + V \int de \nu(e) * n_B(e)$  aufgestellt und gesagt, dass das Integral (für  $\mu = 0$ ) konvergiert: muss dass makroskopische BEsetzung des Grundzustands stattfindet.

S: Wieso  $\mu = 0$ ?

I. Obere Grenze, wenn Integral für  $\mu = 0$  konvergiert dann für  $\mu \neq 0$  auch, da  $\mu \leq 0$  für Bose Gas.

S: Wie bekomme ich Term für  $\mu$ ? Normalerweise ist ja eher  $N$  bekannt?

I: Term für  $N$  invertieren  $\rightarrow \mu(T)$  ausdrück

S: Ok wie sieht  $\mu$  für Bosegas mit BEK und Fermigas aus.

I: Beide Graphen gemalt.

S: Ok das wars schon, gehen Sie bitte kurz raus.

----

