

Fach: Theoretische Physik

PrüferIn: Schmalian

BP  NP  SF  EF  NF  LA

Datum: 16. März 2021

Fachsemester: 7

Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D, E, F

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Theo D Nierste

Theo E Zeppenfeld

Theo F Schmalian

## Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: keine

Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: keine

Verwendete Literatur/Skripte: Theo D und F Skript von Schmalian, Theo E Aufschrieb von Zeppenfeld (und Skript von Steinhauser für Relativistische QM)

Griffiths: Introduction to Quantum Mechanics

Sakurai: Modern Quantum Mechanics

Bartelmann: Theoretische Physik (Teilweise)

Dauer der Vorbereitung: 4-5 Wochen, die ersten zwei Wochen etwas intensiver, dann nicht mehr so intensiv  
die letzte Woche vor der Prüfung eigentl. nicht mehr viel gemacht.

Art der Vorbereitung: Skripte und Bücher lesen, typische Aufgaben anschauen, Internetrecherche.

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: alleine (Corona bedingt), am Anfang Protokolle nach typischen Fragen abgesehen und auf diese Schwerpunkte gelernt. Habe aber nicht wirklich Protokolle abfragen lassen, was i.A. aber zu empfehlen ist denke ich. Bücher helfen für ein grundlegendes Verständnis. Viele Fragen in der Prüfung sind "Standard Fragen", es lohnt sich Schmalians Übungsblätter und Skripte anzuschauen, oft werden Fragen zu diesen Aufgaben gestellt.

## Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Entspannt, sehr freundlich. Gerne wieder!

Schmalian hakt bei Zwischenschritten oft nach aber lässt sich vom eigentlichen Ziel nicht abbringen.

Man rechnet öfters auch was aber es kommt nur auf die Proportionalitäten an und nicht auf exakte Rechnungen. Wenn man nicht weiter kommt unterstützt er einen auch sehr bereitwillig! Er motiviert einen auch während der Prüfung.

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Lässt einem viel Zeit zum Nachdenken und gibt Hinweise.

Am Ende löst er Fragen auch auf wenn man nicht drauf kommt.

Kommentar zur Prüfung: Ist sehr zu empfehlen, er scheint sich recht spontan und nach Gefühl für Fragen zu entscheiden.

Kommentar zur Benotung: 1.3 Deutlich! besser als gedacht. Eine mehr als faire Bewertung!!

Die Schwierigkeit der Prüfung: Man sollte auch die Grundlagen gut kennen und auch um die Ecke und weiter denken. Manche Hinweise haben etwas mehr verwirrt als dass sie geholfen haben, das hat er auch selbst zugegeben. Ich habe mich aber auch etwas blöd angestellt! Es ist gut sich in der Elektrodynamik ein kleinwenig auszukennen für ein paar Aufgaben.

## Die Fragen

(Corona Prüfung online über Zoom)

P: Prüfer

I: Ich

(kurze Vorstellung, Frage bei wem ich die Vorlesungen gehört habe. Schmalian gibt kurzen Fahrplan der Prüfung an (erst Theo D, dann QM2, am Ende ein bisschen statistische Physik). Wir haben auch noch etwas über die Online-Vorlesung (Theo Fb) geredet, welche ich bei ihm gehört habe.)

P: Quantenharmonischer Oszillator in 1D, wie sieht der Hamilton aus?

I: Hingeschrieben,  $P$  und  $x$  (operator) erklärt, Potential gezeichnet.

P: Wie würden sie den Grundzustand zusammenbauen?

I: Man kann den Hamilton mit Auf- und Absteigeoperatoren schreiben und dann dann den Absteigeoperator auf den Grundzustand wirken lassen:  $a_- |0\rangle = 0$ .

P: Woher wissen Sie dass  $a_-$  ein Absteigeoperator ist?

I: überlegt.. ich könnte zeigen dass  $H * (a_-)|n\rangle$  ein Eigenzustand von  $H$  ist mit niedrigerer Energie? Habe das Aufgeschrieben:  $hw(a_+ + 1/2) a_- |n\rangle$  und ausmultipliziert.

P: Ich glaube Sie sind auf dem richtigen Weg, berechnen Sie doch mal den Kommutator von  $H$  mit  $a_-$ .

I: Hingeschrieben, ausgerechnet  $[a_+, a_-] = -1 \rightarrow [H, a_-] = -\hbar\omega a_-$ . Wusste nicht weiter.

P: Benutzen Sie das doch mal.

I: Viel überlegt.. mehrmals umgeschrieben.

P: Machen Sie sich das Leben doch nicht so schwer.

I: Mit Hinweisen darauf gekommen  $a_+ a_-$  mit dem Kommutator umzuschreiben sodass

$H a_- |n\rangle = (a_- H - \hbar\omega) |n\rangle$  da stand, wusst dann nicht weiter warum  $n$  jetzt absteigen soll.

P: (Hat Hinweise gegeben mit denen ich nichts anfangen konnte)

Am Ende stand  $(E - \hbar\omega) |n\rangle$  da

P: Warum ist jetzt  $a_- |n\rangle = c |n-1\rangle$  ? Warum sind das Ganze Zahlen?

I: Überlegt, soll ich die Normiertheit nutzen?

P: sehr gut

I:  $\langle n | a_+ a_- |n\rangle = 1$  hingeschrieben..

P: (war dann anscheinend ok, weiß bis jetzt nicht auf was er hinaus wollte, am Ende meinte er dass seine Hinweise etwas verwirrend waren, das meinte auch die Nebensitzerin)

P: Ok machen wir weiter. Wie rechnen sie jetzt den Grundzustand aus?

I:  $a_-$  mit  $p$  und  $x$  umgeschrieben und auf  $|0\rangle$  wirken lassen (muss 0 ergeben). Wellenfunktion ausgerechnet.

P: (war zufrieden) Ok. Jetzt schauen wir uns mal ein Wasserstoffatom (sphärisch) an. Das soll jetzt einem zeitlich oszillierenden elektrischen Feld ausgesetzt sein. Dieses Feld macht etwas mit unserem Wasserstoffatom (meine er hat schon Übergänge erwähnt), wie würden Sie vorgehen?

I: äh, zeitliche Störungsrechnung?

P: richtig!

I: Formel für erste Ordnung hingeschrieben und erklärt.

P: wie sieht denn jetzt das Störpotential aus?

(das Drama beginnt..)

I:  $V = A \cos(\omega t)$  (hingeschrieben)

P: (war unzufrieden) was ist dieses  $A$ ?

I: ähh, die Richtung von meiner Welle

P: wir wollen uns noch nicht auf eine Richtung festlegen. Schreiben Sie das allgemein für eine elektrische Feld auf.

I: (rumprobiert und Müll hingeschrieben)

P: (Hinweise gegeben)

I: (absolut nichts verstanden)

P: (nach locker 3-4 min) ok ich decke es auf damit wir vorran kommen  $V = eEr \cos(\omega t)$ .

I: ah achso ok.

P: Machen Sie mal weiter.

I: Cos in exp. schreibweise umgeschrieben und erklärt dass der eine Term Absorption und der andere Emission einer elektromagnetischen Welle beschreibt.

P: absolut richtig! Zeigen Sie das mal.

I: Wir können das in die Störungsrechnung einsetzen, das Matrixelement ist Zeitunabhängig und kommt vor das Integral. Im Integral bleibt dann eine e Funktion mit  $i*(w_{\{n\}}-w)*t$  übrig, die über t integriert wird.

I: Darf ich annehmen, dass die Zeit sehr lang ist?

P: genau richtig! nur für lange Zeiten haben wir einen Übergang.

I: ok dann wird das Integral zu einer Delta-Funktion.

P: Richtig. Man muss noch ein paar Sachen beachten aber das geht jetzt zu sehr ins Detail (kurze Diskussion zusammen über die Übergangswahrscheinlichkeit die das betragsquadrat des Integrals und des Matrixelements ist)

P: Wie würden Sie jetzt das Matrixelement ausrechnen?

I: Darf ich jetzt eine Richtung festlegen?

P: Ja, machen Sie mal.

I: (in z-Richtung gelegt)  $e\langle n|z|i\rangle$  ist das Matrixelement.

P: Und wie rechnen Sie das jetzt aus? (hat glaube ich was mit Algebraische Lösung erwähnt, kann aber auch sein dass das einer seiner Hinweise beim Harmonischen Oszillator war. Das weiß ich nicht mehr genau)

I: So, ich könnte natürlich  $\langle n|$  und  $|i\rangle$  durch die Kugelflächenfunktionen und Radialgleichungen darstellen und das dann ausrechnen, aber das will ich nicht machen. Ich mache das anders.

P: ok dann machen Sie mal (ist aufmerksam geworden)

I: wir können z durch die Kugelflächenfunktionen umschreiben dann ist  $z = r*Y$  mit  $l=1$  und  $m=0$ .

P: (Fragt kurz nach ob m oben oder unten steht.)

I:  $Y_{m=1}$  und mache weiter.

Jetzt weiß ich aus Theo E, dass die Kugelflächenfunktionen sphärische Tensoren vom Rang 1 und Stufe m sind. Deswegen können wir das Wigner-Eckart-Theorem nutzen. Schreibe das Theorem auf (ich habe lange auf diesen Moment gewartet)

P: und jetzt?

I: So ich setze jetzt z als Tensoroperator ein. das Matrixelement verschwindet nur dann nicht wenn die Auswahlregeln  $\Delta m = 0$  und  $\Delta j = \pm 1$  ist wegen dem Clebsch-Gordon Koeffizient (habe statt 1, j geschrieben hauptsächlich es wird klar dass das der Drehimpuls ist).

P: wer hat Sie denn so mit dem Wigner-Eckart-Theorem gequält dass Sie das so drauf haben? (lacht)

I: Zeppenfeld.

P: Super. So jetzt haben wir ja nur Übergänge für  $\Delta m = 0$ . Wie bekommen wir Übergänge hin bei denen sich das m ändert?

I: also wieder in Sphärischen Tensoren gesprochen habe ich um den Richtungsvektor darzustellen noch die Tensoren von Rang 1 und Stufe  $\pm 1$ . Ich kann dann in eine  $\pm$  Basis wechseln. Habe dann  $x-iy$  und  $x+iy$  aufgeschrieben, das hat im gereicht, dann wusste ich an der Stelle auch nicht mehr weiter.

P: Sehr schön! und was ist das Physikalisch?

I: Iwas wie eine Zirkularpolarisierte Welle? oder Gedreht?

P: Ja eine Welle mit Anteilen in der x-Ebene reicht schon. Hauptsache nicht nur in z-Richtung.

ok. (Dann wurde es ein bisschen verwirrender) Was für Auswirkungen hat das jetzt auf mein System, Sie wissen ja, dass das Rotationssymmetrisch ist?

(Schmalian hat dann ein paar Minuten versucht etwas zu erklären mit Orientierung und und Quantisierter Achse, ich wusste nicht 100% was er hören will, er meinte ich würde schon das richtige mathematisch meinen wollte aber hören was es physikalisch ist. Das Ende war dann das erst mit dem Messprozess eine Achse ausgewählt wird auf die man sich bezieht.)

P: (guckt auf die Uhr) So zur statistischen Physik. Erzählen Sie mir was zum Bose-Einstein-Kondensat.

I: Makroskopische Besetzung des niedrigsten Energiezustands. Der Lim für  $N \rightarrow \infty$  von  $N_0/\langle N \rangle > 0$  sein wobei  $N_0$  die Anzahl der Teilchen im Grundzustand ist und  $\langle N \rangle$  die Anzahl der Teilchen ist.

P: Gut. Wir wollen jetzt die Temperatur berechnen für die sich das Kondensat bilden kann, wie machen wir das?

I:  $\langle N \rangle/V = \int p(w)n(w)dw$  (auf das Volumen hat er mich hingewiesen)  
 $n(w)$  ist die Besetzungszahl der Zustände (Ausdruck mit  $1/(\exp(\beta(w-\mu))-1)$ ), hingeschrieben,  $p(w)$  ist die Zustandsdichte, wir sind in 3D?

P: Ja

I: ok dann ist  $p(w) \sim \sqrt{w}$

P: Richtig, jetzt fehlt aber noch etwas, wissen Sie was?

I: ja weil die Zustandsdichte kontinuierlich ist wird der Zustand mit  $w=0$  nicht beachtet. (Schreibe an das Integral  $+ 1/(\exp(-\beta * \mu))-1$  hin, in seinem Skript steht das besser beschrieben) der Zustandsterm ist dann  $N_0/V$ , die Anzahl der Bosonen im Grundzustand.

P: ok gut, rechnen Sie weiter.

I: im Integral ist dann  $\mu = 0$  weil für  $\mu = 0$   $N_0$  divergiert oder so, er hat dazu iwas erklärt aber das habe ich vergessen. Im skript steht auch was dazu.

Habe dann das Integral weiter wie im Skript mit  $\beta*w=x$  substituiert, dann sieht man, dass das Proportion zu  $(k_B T)^{3/2}$  wird. Das hat gereicht.

P: Letzte Frage was passiert in 2D?

I:äh, dann ist  $p(w)=1$  bzw. konstant.

P: Richtig.

I: Integral  $1/(\exp(\beta w)-1)dw$  hingeschrieben ( $p(w)=1$  und  $\mu=0$ ).

P: Und was passiert jetzt?

I:äh, das Divergiert?.. Ja das divergiert glaube ich! und habe eine schlechte Skizze der Funktion gemacht. Also gibt es kein Bose-Einstein Kondensat weil die Teilchenzahl divergiert.

P: Ja, für  $\mu=0$  gibt es kein Kondensat (und hat noch iwas gesagt dass ich vergessene habe)

P: Gut warten Sie mal kurz in dem Meeting, ich bin gleich wieder da.

(Nachbesprechung zur Note, ich war seeehr glücklich)

Schmalian meinte der Abzug kommt daher dass ich nicht wusste wie das Potential zu einem Elektrischen Feld aussieht. Das finde ich wirklich fair! (man sollte das wissen)

Ansonsten meinte er dass das mit dem Harmonischen Oszillator etwas holprig lief, meinte aber auch dass es an seinen Hinweisen gelgen haben könnte. Ebenfalls fair! Meiner Meinung nach war er ein bisschen angetan von dem Wiegner-Eckart-Theorem weil das etwas unübliches war und soweit ich weiß in keinem Protokoll aufgetaucht ist. Ein paar solcher Sachen drauf zu haben könnte sich lohnen!