

Fach: Theoretische Physik

PrüferIn: Schmalian

☒ BP ☐ NP ☐ SF ☐ EF ☐ NF ☐ LA	Datum: 11. Mai 2016	Fachsemester: 6
--	---------------------	-----------------

Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo D - F

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Theo A, D

Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -

Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: - (Hatte gefragt, er meinte, ich solle einfach meinen Mitschrieb nehmen, dann passt das schon)

Verwendete Literatur/Skripte: Mitschriften, Bücher: Schwabl QM I, QM II; Greiner Thermodynamik und Statistische Mechanik (sehr ausführlich mit vielen Beispielen)

Dauer der Vorbereitung: 2 Monate

Art der Vorbereitung: überwiegend alleine, 5 Wochen nur die relevanten Teile der Bücher gelesen für Zusammenhänge und Verständnis, dann Mitschriften durchgearbeitet und Prüfungsprotokolle "durchgerechnet"/Fragen beantwortet, auch mit Kommilitonen diskutiert

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Fragt euch gegenseitig ab, das hilft. Es geht vor allem um physikalisches Verständnis und Intuition. Daher kann auch Bücher lesen nützlich sein, auch wenn ich es überwiegend als zeitverschwendung empfunden habe. Für mich eher als Nachschlagewerk geeignet wenn man eine konkrete Fragestellung hat. Mir hat es zum Verständnis geholfen, viel nachzurechnen und mich jedes Mal zu fragen, wieso ich das jetzt machen darf.

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Sehr angenehm. Einstiegsfrage am Anfang, nachdem er merkte, dass ich sicher Rechnen konnte, wollte er fast keine Rechnungen mehr sehen sondern nur Erläuterungen/Verständnis. Habe einiges nicht wirklich beantworten können, das hat aber nichts gemacht, da er das Niveau hochgeschraubt hatte, nachdem es am Anfang sehr gut geklappt hatte.
--

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Wartet ab, gibt auch immer wieder Tipps, manchmal konnte man damit aber auch nichts anfangen. Wenn er sieht, dass man das nicht kann oder nicht weiß was man will wechselt er aber irgendwann auch einfach das Thema.
--

Kommentar zur Prüfung: Lockere, offene Atmosphäre. Man hat Gelegenheit, seine eigenen Gedanken zu den gestellten Problemen zu entwickeln. Dauer: 60min
--

Kommentar zur Benotung: 1,0

Die Schwierigkeit der Prüfung: Auswendig lernen bringt eigentlich nicht so viel. Außer vielleicht Sicherheit, wenn ihr im Hinterkopf habt, wie das ging. Grobe Abhängigkeiten zu kennen ist hilfreich, und die wichtigsten Herleitungen sollte man auch skizzieren können. Die "Schwierigkeit" liegt wohl eher darin, einen kühlen Kopf zu bewahren und systematisch vorzugehen, wenn man mit einem unbekannten Problem konfrontiert wird.
--

Die Fragen

Anfangsfrage: Geladenes Teilchen ohne Spin im EM-Feld

- Wie macht man das? -> Minimale Kopplung ($p \rightarrow p - e/c \cdot A$, $e \rightarrow e + \hbar \nabla \phi$)
- Warum gerade so, und nicht $\sin(A)$ o.ä.? -> Es ergibt sich die Lorentz-Kraft
- Gibt doch jetzt unendlich viele Möglichkeiten, und jedes Mal ändert sich der Hamilton-Operator. Hat das dann nicht auch Einfluss auf die Physik? -> Nein, Eichfreiheit erklärt, Mit-Transformation von Ψ geschrieben, gesagt, dass SG dann unverändert.
- Was passiert dann mit der Kontinuitätsgleichung? -> erstmal hingeschrieben, gesagt, dass sie gleich bleibt, weil man den Strom auch abändern muss im EM-Feld, grob hingeschrieben wie das aussieht.
- Ja, sonst würde man die Phase über den Strom ja messen können.

Wasserstoffproblem

- Was ist denn hier wichtig? -> Hab Hamilton hingeschrieben, Separation nach Radialteil und Kugelflächenfunktionen, erklärt, die Energien hingeschrieben.
- Wie sieht das denn mit der Entartung aus? -> $2n^2$ mit Spin, da E_n unabhängig von l, m und Spin
- Abgesehen von dem Spin, woher kommt die Entartung von l, m ? -> Hab ich erst nicht ganz verstanden, worauf er hinaus möchte, habe dann gesagt, dass es klar ist, dass E nicht von m abhängt, weil es im Hamilton des Radialteils nicht vorkommt.
- Ja, das ist mathematisch offensichtlich so. Aber welches allgemeine Prinzip steckt dahinter? Habe dann " $[H, A] = 0$, $[H, B] = 0$, $[A, B] = 0 \Rightarrow$ Entartung" erst anschaulich erklärt und dann auch noch bewiesen. Dann mit L_x, L_y, L_z argumentiert.
- Ok, das erklärt ja dann m , aber was ist mit l ? -> Wusste ich nicht. Hat er aber auch nicht erwartet. Hat mich aber dafür ne ganze Weile zappeln und überlegen lassen.
- Man kann sich hier auch eine Observable (den Lenz-Vektor) konstruieren, die vertauscht dann mit H , aber eben nicht mit L^2 -> Entartung l

Aharonov Bohm-Effekt

- Was wissen Sie dazu? -> Bild gemalt, zwei Pfade eingezeichnet, gesagt, dass außen Eichfreiheit ($A = \nabla \phi$) und deshalb A nicht 0 sein muss. Gesagt, dass Eichung zu Phase führt, und die Phasendifferenz dann zu Interferenz.
- Also kann man die Phase ja doch messen? -> Das ist jetzt ne Fangfrage oder?
- Absolut! -> Nein man kann natürlich nur die Phasendifferenz messen, bzw. damit verknüpft den magnetischen Fluss zwischen den Pfaden

Magnetische Monopole

- Sie hatten ja bei mir QM I, also erinnern sie sich bestimmt noch daran, als wir magnetische Monopole besprochen haben? -> Ja, so vage. Gesagt, dass man verschiedene Eichungen ausnutzt, um die Singularität, die da auftritt jeweils auf die andere Halbseite zu verschieben. (Das hatte Dirac ausprobiert) Auch gesagt, dass ich das jetzt aber nicht mathematisch rechnen könnte. Ihm hat es aber auch gereicht, dass ich die Schlussfolgerung konnte: Dass eine magnetische Ladung sofort eine Quantisierung der elektrischen Ladung bedingt, bzw. allgemeiner die beiden Ladungen miteinander verknüpft sind.

QM II: Dichtematrix

- Was ist die Dichtematrix? -> Habe hingeschrieben was ich wusste bzw mal irgendwo gelesen hatte. ($\rho = |\Psi\rangle\langle\Psi|$ für reine Zustände)
- Warum gibt es denn überhaupt gemischte Zustände? -> Hatte keine Ahnung, habe versucht mir da was an den Haaren herbeizuziehen. Habe dann gemeint, dass wir Dichtematrix bei Steinhauser nicht gemacht hatten.
- Bleiben wir trotzdem mal dabei. -> Kam aber nix mehr wirklich bei raus, bis wir es dann doch irgendwann gut sein haben lassen. Habe ihm noch grob skizziert, was wir in Theo E gemacht hatten (Streuung, zeitabhängige Störungstheorie, relativistische QM)

Zeit-Energie-Unschärfe

- Sie kennen ja sicher die Unschärferelation, da nimmt man irgendwelche Operatoren und bekommt dann ne untere Schranke. Jetzt redet man ja manchmal auch von Energie-Zeit-Unschärfe, obwohl Zeit überhaupt keine Observable ist. Können Sie motivieren, wieso das so ist? -> Habe Fermis goldene Regel hingeschrieben und gesagt, dass die delta-Funktion nur im Grenzwert $t \rightarrow \infty$ zur Delta-funktion ist, und eigentlich $\sin(Et)/(\pi E^2 t)$, also endliche Breite hat, weshalb bei endlicher Zeit auch Übergänge möglich sind, die Energie-Erhaltung verletzen.
- Das wundert uns ja jetzt überhaupt nicht oder? -> Nein natürlich nicht, denn Energieerhaltung folgt aus Translationsinvarianz der Zeit: Für endliche Zeiten nicht gegeben.

Dirac-Gleichung

- Warum macht man denn sowas, was ist denn die Motivation hierfür? -> Möchte relativistische Energie-Impuls haben, und Lorentz-kovariant. Habe die D-Gl. hingeschrieben. Wollte wissen, was die Gamma-Matrizen sind. Habe dann kurz die Herleitung skizziert, und erklärt, welche Dimensionen und Eigenschaften die erfüllen müssen, und wo das her kommt (keine Rechnungen).
- Bedeutung der Komponenten? -> Positive Energie (e^-), Negative Energie (Loch), und Spin.
- Spektrum zeichnen -> $E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$

- Wo liegt denn hier der Grundzustand? -> Habe $E=mc^2$ gesagt.
- Warum nicht weiter unten? -> Ist ja alles besetzt. Da war er nicht mit zufrieden. Habe noch irgendwas von minimaler Energie geredet.
- Gibt es irgendeine QM Begründung, warum die Energie im GZ minimal ist? -> Habe länger nachgedacht, kam auf nichts. Habe letztens mit der Thermodynamik angefangen, Stabilität/Gleichgewicht.
- Sowas gibt es in der QM nicht -> Alles nur aufgrund der Erfahrung, dass Materie stabil ist. -> muss einen niedrigsten stabilen Zustand geben
- Also ist QM immer eine Vielteilchen-Theorie! Kennen Sie einen 1-Teilchen Effekt, der im Widerspruch zur Schrödinger-Gleichung (eine 1-Teilchen Beschreibung) steht? -> Mir ist nichts eingefallen, im Nachhinein kam mir aber noch, dass er vermutlich auf das Kleinsche Paradoxon herauswollte. Hat dann noch nach der "Zitterbewegung" gefragt. Mir fiel nur der Darwin-Term in der FS des H-Atoms ein, aber er meinte wohl etwas anderes.
- Was ist denn das Problem der Klein-Gordon-Gleichung? -> Keine Wahrscheinlichkeitsinterpretation, da Dichte nicht positiv definit.
- Naja dann könnte man das ja als Ladungsdichte mit Vorzeichen interpretieren. Man benutzt die KG-Gl. ja auch für spinlose Bosonen und es funktioniert.
- Jetzt ein Gedankenexperiment: Wir wollen eine Gleichung 1. Ordnung, analog zur D-Gl., um die SG im nichtrelativistischen zu bekommen. Was würde man erhalten? -> Habe gesagt, ok, nehme ich D-Gl, schaue mir nur die ersten zwei Komponenten an, wenn ich das im nicht-relativistischen Grenzfall entwickle, erhalte ich ja die Pauli-Gleichung. Also könnte man vermutlich in 2×2 die Pauli-Matrizen verwenden. Damit war er zufrieden.

Statistische Mechanik:

- habe dann gefragt, wie viel Zeit wir denn noch haben (waren gut 40min rum) -> noch zwanzig Minuten, er will auch immer 60min machen, damit er viel Fragen kann, weil ja nicht jeder alles gleich gut kann, Chancengleichheit etc.

Wärme-Kapazität

- Was ist das? -> $C = \Delta Q / \Delta T$
- Können sie das auch mit vollständigen Differenzialen schreiben? -> Klar, nach 1.HS ist ja $dU = \Delta Q + \Delta W$, und die Arbeit $\Delta W = -p dV + \mu dN$ usw. Wenn man also V und N konstant lässt, dann gilt auch: $C = (dU/dT)_{V,N}$
- Jetzt gibt es ja noch ne fundamentale Größe in der statistischen Mechanik...- Unterbreche ihn: Ich weiß schon, was sie meinen - Schreiben Sie doch mal die Wärmekapazität in Abhängigkeit der Entropie -> Erkläre, dass $dS = \Delta Q / T$ ist, und damit $dU = T dS + \dots$ (Rest grade 0 da konstant) und damit dann $C = T (dS/dT)_{V,N}$
- So dann schauen wir uns jetzt mal Phasenübergänge an, am besten sowohl erste als auch zweite Ordnung. Zeichnen sie doch mal die Wärmekapazität, Entropie und Freie Energie in Abhängigkeit der Temperatur -> Habe erstmal die td. Zusammenhänge hergeleitet ($F=U-TS$, $dF/dT \sim S$, $C_v \sim d^2F/dT^2$) und dann für beide Arten die Diagramme gezeichnet (1. Ordnung: Unstetigkeit in S , da 1.Ableitung; 2.Ordnung: Unstetigkeit bei C_v); F ist konkav und hat negative Steigung, $S(T=0)=0$ nach Nernst (3.HS); $dS \geq 0$ (2.HS)
- Wenn man einen Lambda-Übergang hat (hat dann C_v hingemalt), wie sieht denn dann die Entropie aus? -> Musste kurz nachdenken, aber C_v ist ja im wesentlichen die Ableitung von S -> Steigt an, hat bei T_C unendliche Steigung, die dann wieder abflacht.

Quantengase: Fermi-Gas

- Wenn wir ein Fermi-Gas bei tiefen, aber endlichen Temperaturen haben. Wie würden sie sagen verhält sich die innere Energie rein durch physikalische Überlegungen ohne Rechnung? -> Habe erstmal die Fermikugel genannt, gesagt, dass die Zustände weiter innen nicht angeregt werden können, aber dann die Fermioberfläche etwas verschmiert wenn man die Temperatur erhöht, da angeregte Zustände möglich werden. Hatte dann rum überlegt und vermutet, dass $U \sim T$
- Ihre Überlegungen sind alle richtig, aber $U \sim T$ d.h. $U = U_0 + NkT$ z.B. würde ja bedeuten, dass alle Zustände angeregt werden. Wie sieht denn die Zustandsdichte aus? -> Zustandsdichte motiviert, wollte nur die E-Abhängigkeit, habe dann nach kurzer Überlegung $\nu(E) \sim \sqrt{E}$ gesagt.
- Und wie sieht dann die innere Energie aus? -> $U = \int dE E \nu(E) n_{FD}(E)$; Sollte dann den Integrand zeichnen, ist ja Produkt von $E^{3/2}$ und $n_{FD}(E)$, hab da leider aber auch nicht mehr viel raus erkennen können, was mir geholfen hätte. Dann war die Zeit aber auch um, sodass ich hier auch nicht weiter nachdenken konnte.

Die richtige Antwort wäre $U = U_0 + \dots T^2$ gewesen.