

Prüfungsprotokoll der Fachschaft Physik

Fachschaft Physik

Vorlesungen, die geprüft werden:

Moderne Theoretische Physik I und Moderne Theoretische Physik II

Prüfer: Prof. J. Schmalian

Datum der Prüfung: 23.04.2024

Prüfungsart: Mündliche Prüfung

Vor der Prüfung:

Welche Vorlesungen hast du gehört? Waren diese von den Prüfern und hast du diese auch regelmäßig besucht? ModTheo1 bei Metelmann, Modtheo2 bei Steinhauser. War immer in den Vorlesungen und hab mitgeschrieben.

Fanden vor der Prüfung Absprachen statt (Form, Inhalt, Literatur, Skripte, ...)? Wenn ja, welche? Wurden sie eingehalten? Nope, hatten keine Absprachen

Wie lange hast du auf die Prüfung gelernt und hast du alleine oder in einer Gruppe gelernt? 6 Wochen etwa mit ca. 6h am Tag. Letzten Wochen auch mit Wochenendsessions. Hatte die ganze Zeit einen Lernpartner und haben uns in den letzten zwei Wochen regelmäßig gegenseitig abgefragt. Sonst auch immer gegenseitig Verständnisfragen gestellt.

Welche Literatur/Skripte hast du verwendet? Kannst du Empfehlungen aussprechen? Skripte vom Schmalian, TheoE Skript Steinhauser Oft Griffiths und etwas Sakurai und Schwabl. Hab mir davor auch die Online Vorlesungen vom Frederik Schuller (Theoretische Quantenmechanik) gegeben. Sind super informativ und unterhaltend, und haben einen großen Fokus auf eine mathematische Sauberkeit. Sehr informativ und spannends, für die Prüfung bei Schmalian keineswegs notwendig.

Kannst du Tipps für die Vorbereitung geben? (Lernstil, ...) Viel auf Verständnis lernen. Immer im klaren sein, wieso dieser Schritt oder diese Rechnung jetzt gemacht wird oder gemacht werden kann. Es gibt ein Pool von Fragen, die eigentlich immer kommen (Herleitung Schrödinger, Wellenfunktion, Eichtrafos, Landau-Niveaus, Aharanov-Bohm, Dirac, Stark-Effekt, Elektrische Dipol-Übergänge, Wasserstoffentartung, BEK, Ideale Gasgleichung. . .) Diese wirklich tiefgehend verstehen und auf Lager haben.

Zur Prüfung:

Wie ist der Prüfungsstil (Prüfungsatmosphäre, (un)klare Fragestellungen, Fragen nach Einzelheiten oder eher größere Zusammenhänge, gezielte Zwischenfragen oder lässt

er/sie dich erzählen) der Prüfer? Wird Unwissen abgeprüft? Sehr angenehme Prüfungsatmosphäre. Man sitzt mit hammer aussicht zusammen an einem Tisch. Es wirkt wirklich wie ein gemütliches quatschen und Schmalian will auch wirklich gute Noten verteilen. Es wird immer irgendwas kommen, was man noch nie gesehen hat, darauf zu lernen ist unmöglich. Aber fit in den Basics zu sein hilft ungemein.

Was war schwierig in der Prüfung? Spinoperator Spin 1 Teilchen und Wasserstoffatom entartung bei anderem Potential. Sobald mein die Basics gut beantworten kann, werden die Fragen bisschen wilder. Notentechnisch ist das denke ich ein gutes Zeichen, aber trotzdem bisschen tricky.

Welche Fragen wurden konkret gestellt? (Schreibe das Protokoll zwei Wochen später und kann nicht mehr super ausführlich auf alles Eingehen.)

S = Schmalian

S: Bei wem haben Sie denn die QM gehört und was ist denn Ihre Ausrede um bei mir die Prüfung abzulegen

Ich: Metelmann hat sich stark von Ihrem Skript inspiriert und mich interessiert die Theoretische Kondensierte Materie, bin beim Stöbern durch die Arbeitsgruppen auf Sie gestoßen

S: Na gut, dann ab zur Physik. Die Wellenfunktion sagt Ihnen ja bestimmt was, was ist denn die physikalische Interpretation von dieser.

Ich: (Hab mich auf diese Frage gut vorbereitet) Wellenfunktion beschreibt komplett einen physikalische Zustand bzw. ein qm. System und ist im allgemeinen mit einer komplexen Phase definiert -> Also ist keine direkte physikalische Interpretation möglich. Erst das Betragsquadrat ist eine physikalische Größe, diese gibt die W'keit an um zum bsp. ein Elektron an einem bestimmten Ort x zu einer bestimmten Zeit t zu finden.

S: nickt zustimmend, richtig, schreiben Sie diese mal hin.

Ich: Schreibe erst $\rho = \Psi * \Psi$, bin dann aber kurz verwirrt und schreibe auch das Integral über das Volumen hin und dass es 1 ergibt.

S: super, dass sie das gemacht haben, jetzt frage ich mich, ob dieses Intergral für alle Zeiten 1 ergibt, also Zeitunabhängig ist.

Ich: (Klassische Frage), Yes, und zwar gibt die Schrödingergleichung die Zeitentwicklung der Wellenfunktion (kleiner Exkurs zu SG und dass diese gelöst mit dem Sep. Ansatz die Zeitentwicklung gibt). Zeitentwicklung ist Unitär, also komplex konjugiert=Inverse. In der Wahrscheinlichkeitsdichte fällt die Zeitentwicklung also raus.

S: nickt, ist das denn aber so selbstverständlich? Dass die Zeitabhängigkeit rausfällt? ist vlt nicht die Zeitentwicklung eben so definiert dass sie unter die sen Operationen genau rausfällt?

Ich: War kurz verwirrt worauf er hinauswill, er hat dann aber gemeint ich soll mal die zeitliche Ableitung der W'keitsdichte bilden. Ahh-Moment. Er will auf die Kontinuitätsgleichung hinaus. Schreibe diese hin, erkläre diese (Ähnliche Form wie in der Elektrodynamik) schreibe auch Wahrscheinlichkeitsstrom hin.

S: ja rechnen sie mal

Ich: wieder kurz verwirrt was ich da jetzt rechnen soll, wende den Satz von Gauß an und bekomme $\frac{d}{dt} \int \rho = - \text{Integral von Stromfluss über Oberfläche}$. Erwähne noch dass im Unendlichen ja die Wellenfunktionen 0 sind (sollen ja normiert sein) und dass dann die W'keits dichte konstant ist .

S: ist zufrieden, wollte wohl genau das hören.

S: Meint nun er hatte letztens eine Frage in der VL bekommen von einer Studentin zur Schrödingergleichung. Will erstmal wissen wie man diese motiviert (Stichwort Debroglie und Ordnungen der zeitlichen und örtlichen Ableitungen (Ordnung n und m))

Ich: Beschreibe mein vorgehen (hole auch bisschen aus mit Photoeffekt $E = h * \nu$ und $p = \hbar * k$, Wellenfunktionen soll wellencharakter und Teilchencharakter verbinden mit Disp relation $E = \hbar^2 k^2 / 2m$), allgemeiner Wellenansatz $\Psi = \exp(ikx - i\omega t)$, steht auch so in seinem Skript. Einsetzen und Koeff-Vergleich um auf die SG zu kommen

S: Soo, ist denn $n = 1$ und $m = 2$ der einzige mögliche Fall?

Ich: Nope, man kanns auch höher skalieren ist aber unnötig

S: Genau hier kommen wir zu der Frage und zwar was ist wenn wir die Schrödinger Gl. quadrieren (also $n = 2$ und $m = 4$) dann ist sie ja im allgemeinen nicht mehr komplex und was passiert dann mit der Lösung der Wellenfunktion, ist sie dann immer noch komplex?

Ich: Oh stimmt, das ist interessant, es wär halt maximal stressiger weil viel mehr Anfangsbedingungen nötig. Aber ich denke mal nicht?

S: Doch! Wir überprüfen das mal. Nehmen sie mal eine allgemeine komplexe Zahl für den Ansatz für die normale SG Ich: $\Psi = a + b * i$ und setze ein in die SG

S: jetzt teilen sie mal auf in eine komplexe Gleichung und eine reelle Gleichung.

Ich: kurz das eine i vergessen aber dann hinbekommen, jetzt realisiert dass ich eine gekoppelte DGL habe, also eine Gleichung ableiten und in die andere einsetzen. Was bisschen nervös und war echt ultra langsam aber hinbekommen. -> Dgl für Orts abhängigkeit 4. Ordnung

S: darauf wollte ich hinaus. Sehen dass funktioniert genauso aber jetzt halt in höhere Ordnung

Ich: Cool

S: Kennen Sie den Starkeffekt?

Ich: Jo, (hab eigentlich gehofft der kommt nicht dran - gerne Starks Biographie durchlesen) drucks mich bisschen rum. (Wasserstoffatom und kleines Elektrisches Feld also Störungstheorie schreibe Störpot hin: $V = e * E * r$ -> $r = r \cos(\theta)$ (o.B.d.A), eigentlich Entartete Störungstheorie bei $n = 2$ -> erwähne kurz die Quantenzahlen nlm . Bei $n = 1$ keine Entartung, also normale Störungstheorie aber $\text{Integral} = 0$

S: Wieso?

Ich: Erklär dass das Integral $\sin \cos$ unter der Integration 0 wird, eigentlich interessant wirds bei $n = 2$, weil hier Entartung herrscht, schreibe die 4 Zustände mit den Quantenzahlen hin.

S: was muss man denn jetzt rechnen?

Ich: Störmatrix aufstellen und Einträge berechnen (werden nur zwei übrig bleiben) danach Eigenwerte berechnen -> das sind die "Störenergien" S: machen sie mal

Ich: Och nö, hab das schonmal gerechnet, genauer argumentiert, wieso die Integrale 0 werden, auch kurz Wigner-Eckert-Theorem erwähnt.

S: Eww, bitte nicht dieses eklige Theorem, ich lass Ihnen das positiv anrechnen...Wie kann man sich denn das auch physikalisch erklären welche Terme rausfallen? Ich: Nochmal gesagt dass halt die Rechnung so ergibt, nochmal auf die Kugelflächenfunktionen eingegangen (lohnt sich die $l = 1$ Kugelflächenfunktionen zu können) und, dass diese orthonormal sind. Hat ihm dann iwie auch gereicht.

S: Malen sie mal das Spektrum nun auf und sagen Sie was zu der Entartung.

Ich: Gemacht und dann nochmal erwähnt dass jetzt zwei Zustände immer noch entartet sind und bei zwei Zuständen wurde die Entartung aufgehoben

S: Jup

S: Dirac-Gleichung, wie kann man denn diese α_i und β interpretieren.

Ich: Komplette ausgeholt mit der ganzen Geschichte -> Klein Gordon funktioniert nicht weil Wellenfunktionsdichte nicht positiv definit

S: Ist das ein Problem?

Ich: Nicht wirklich, hab mal gelesen, man kann diese als Ladungsdichte interpretieren

S: Jup

Ich: Weiter zu Dirac, Hamilton Ansatz hingeschrieben und gemeint im Vergleich mit der rela-

tivistischen Energiedisp findet man heraus dass bestimmte relationen gelten müssen und diese führen dazu dass man Matrizen braucht

S: Welche Dim?

Ich: 4x4, weil in 2x2 nicht genug antikommutierenden Matrizen existieren (Pauli matrizen)

S: Angenommen ich habe hochdimensionierte Matrizen, die die Relationen erfüllen, passt das?

ich: Jup, aber halt unnötig.

S: Stimmt, was ist denn dieses Psi jetzt

Ich: Ah ups, stimmt ist ein Spinor und die Komponenten erklär

S: Wahnsinn, dass Dirac diese Interpretation der Gleichung gefunden hat, obwohl das Spektrum ja Energiewerte mit bis -unendlich zulässt

Ich: ja, aber hat sich ja auch 3 jahre den kopf dabei zerbrochen, wie man das Problem löst :)

S: Ok, jetzt nächste Frage. Angenommen sie wollen ein Spinoperator erzeugen für ein Spin 1 teilchen, wie würden Sie hier vorgehen. Diese Frage müssen sie nicht richtig beantworten und sie wird auch nicht in die Benotung eingehen, ich möchte einfach nur sehen, wie Sie an dieses Problem angehen - was Sie wie ich denke noch nie gehört haben

Ich: Uh (das sind wohl die tricky fragen). Ehm Stern-Gerlach-Experiment hat bei Spin 1/2 Teilchen zwei aufspaltungen. Also wird es bei einem Spin 1 teilchen 3 Aufspaltungen geben müssen. Ergo auch 3x3 matrizen? Aber die müssen antikommutieren wie die pauli matrizen. Geht das überhaupt?

S: joa theoretisch, Beisitzer fängt auch an zu schmunzeln

Ich: Oke müssen halt Drehimpulsalgebra erfüllen

S: Yes, schreiben Sie diese mal hin

Ich: $[S_i, S_j] = i\hbar\epsilon_{ijk}S_k$, das wird jetzt halt nervig im 3x3 sowas zu finden

S: joa, wahrscheinlich müsste man ein mathematisches Programm alles durchrechnen lassen, das wär wahrscheinlich das einfachste. Aber das geht auch eigentlich anders. Wissen Sie was von Generatoren zu Drehungen?

Ich: Erinnerung mich, dass ich sowas mal gesehen habe $U_{Drehung} = e^{(i\phi * L / \hbar, ar)}$.

S: Genau, und dann können Sie diesen anwenden. Hier hat er bisschen weiter erklärt aber keine ahnung mehr. Hat ihm dann auch gepasst.

S: Nun Statistische Mechanik. Ich gebe Ihnen ein ideales Gas mit der Dispersionsrelation $\epsilon = c * p^{2/3}$. Wie sieht bei dem Gas der Druck in Abhängigkeit von N, T und aus.? (auch klassiker)

Ich: Es wird die ideale Gasgleichung herauskommen mit $p * V = N * k_b * T$.

S: Zeigen Sie das

Ich: (Muss auswendig sitzen) Schreibe Zustandssumme $Z = \frac{1}{N!} \prod_{i=1}^N \int \frac{dp_i^3 dx_i^3}{h^3} \exp(-\beta c p^{2/3})$ hin. Erkläre woher der $1/N!$ faktor herkommt (Es ist nur wichtig ob ein Teilchen eine bestimmten Impuls hat oder nicht und nicht welches -> sonst gibts es $N!$ fakultät mehr möglichkeiten). Beschreibe dann weiter mein Vorgehen mit einzelnen Formelfetzen. ($Z = 1/N! * (V/\lambda^3)^N$, $F = -k_b T \log(Z)$ und $p = -dF/dV$). Abhängigkeit von der Dispersionsrelation fällt raus.

S: Top.

S: mmh etwas Zeit haben wir noch. Sie haben doch bei Metelmann die Pfadintegrale durchgenommen. Können Sie was dazu sagen?

Ich: uh, hab da keine Rechnung parat, hatten das nur in den ersten paar Vorlesungen und das war ziemlich wild.

S: ok, dann will ich Sie dazu nicht abfragen.... Sie haben beim Starkeffekt ja schon was zu den Entartungen und den Eigenfunktionen vom Wasserstoffatom erzählt. Erklären Sie das doch nochmal genauer.

Ich: Wieder bisschen ausgeholt. $E = -Ry/n^2$ ist nur von der Quantenzahl n abhängig. Kommt aus der Lösung von der SG des Wasserstoffatoms. Radialsymmetrischen Hamilton aufgeschrieben ($H = 1/2m(p_r^2 + L^2/r^2) + V(r)$). Man löst das Problem mit einem Separationsansatz mit $R(r)$

und $Y_l(\theta, \phi)$. Y sind die Kugelflächenfunktionen, sie geben uns die Eigenwerte $\hbar^2 l(l+1)$. Für den Radialterm und damit für die Energie fällt die l -abhängigkeit in der Rechnung raus.

S: Und Entartung? Schreiben sie mal auch die Formel hin.

Ich: $g = \sum_l^{n-1} (2l+1) = n^2$. Kurz erklärt wie m und l läuft. Keine m -abhängigkeit weil kein L_z im Hamilton. l -abhängigkeit fällt in der Rechnung raus.

S: Ja, dass E nicht von m abhängig ist, sieht man direkt, aber was ist mit l ? Angenommen sie hätten ein anderes Potential als das Coulomb-Pot,... z.B. $1/r^2$, wär die Energie immer noch nicht von l abhängig?

Ich: Rein intuitiv, passiert nichts.

S: Doch, tut es. Es gibt nämlich noch einen anderen Grund weshalb es zur l -Entartung kommt.

Ich: Ahh, also eigentlich kommt die Entartung aus dem Grund dass in Radialsymmetrischen Systemen der Runge-Lenz-Vektor erhalten ist (hatten wir nicht im Skript, aber ist oft in Protokollen), der kommutiert mit dem Hamilton aber nicht mit L_z -> entartung. Wir haben jetzt aber immernoch ein radialsymmetrisches Problem, also eigentlich sollte das jetzt nichts ändern?

S: Genau der Runge-Lenz-Vektor spielt eine wichtige Rolle. Wenn ich das Pot jetzt ändere dann ist der Runge Lenz nicht mehr enthalten. Also wird die Energie jetzt auch von l -abhängig sein. Allein schon wenn ich das Pot um ein minimales ϵ verändere wird der Vektor nicht mehr erhalten sein. Da haben Sie jetzt mal was neues gelernt!

Ich: toll

Prüfung war nach ca. 40 min vorbei, wurde dann rausgeschickt

Wieder reingeholt:

S: Spitze 1.0 war sehr gut. Viel Erfolg in Ihrer weiteren Laufbahn

Feedback zur Prüfung

Fandest du die Benotung angemessen? Note 1.0. Bin überhappy. Als die komischen Fragen kamen, wurde mir dann aber auch bewusst, dass es eigentlich ein sehr gutes Zeichen ist.

Würdest du die Prüfer weiterempfehlen? Also wenn man eher Typ verstehen ist, dann auf jedenfall. Benotung ist sehr fair. Aber ich glaube, dass man mit weniger Aufwand bei anderen Prüfern auch ne sehr gute Note bekommen kann. Es kommen in den Protokollen immer mal wieder sehr komische Fragen und beim Lernen macht das einen bisschen verrückt, weil man nie das Gefühl hat ausgelernt zu haben. Sonst sind 90% Prozent der Fragen immer aus demselben Pool, also wirklich top. Wenn man an sich den Anspruch stellt, die letzten 10% auch zu rocken, kanns dann halt sehr zeitaufwendig werden.