

Fach: Experimentelle Physik

PrüferIn: Wolf

BP NP SF EF NF LA

Datum: 18. April 2019

Fachsemester: 7

Welche Vorlesungen wurden geprüft?

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Ex 6

Zur Vorbereitung

Abprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -

Abprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -

Verwendete Literatur/Skripte: Ex 4: Haken-Wolf

Ex 5: Gross: "Festkörperphysik"

Ex 6: Povh

Außerdem alles, was ich zum ersten Mal gehört habe, auf Wikipedia nachgelesen.

Dauer der Vorbereitung: ~5-6 Wochen

Art der Vorbereitung: handschriftliche Zusammenfassung geschrieben und gelernt, in der letzten Woche abfragen lassen

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Da es bisher nur zwei Protokolle für Prüfungen beim Wolf gab, habe ich zum Teil mit Husemann-Protokollen gelernt. Die Prüfungsstile und -themen sind zwar ziemlich unterschiedlich zwischen den beiden, es war aber auf jeden Fall hilfreich.

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Er meinte von Anfang an, dass es eher ein lockeres Gespräch werden soll, und so lief es dann auch. Vor allem stellt er viele und klare Zwischenfragen. Es gab kein "Was können Sie mir denn darüber so erzählen?". Er hatte Fragen vorbereitet, hat dann aber eher spontan gefragt, was ihm gerade so einfiel.

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Lässt nicht lange zappeln, sondern formuliert um, stellt eine ähnliche Frage oder gibt Antwort einfach selber und folgert daraus dann aber direkt die nächste Frage.

Kommentar zur Prüfung: Sehr entspannte Atmosphäre.

Kommentar zur Benotung: 1,0. Hätte mir vielleicht bisschen was abgezogen wegen Defiziten bei Detektoren und Festkörpern, aber er meinte, dass ich eigentlich zu allem genug "anbieten" konnte. Hab mich nicht weiter beschwert.

Die Schwierigkeit der Prüfung: Bin eher schlecht im Zahlenwerte auswendig wissen bzw. abschätzen.

Die Fragen

W - Wolf

I - Ich

W: Haben Sie irgend ein Thema vorbereitet, mit dem Sie gerne anfangen würden?

I: Joa, hätte die CP-Verletzung beim neutralen Kaonen-Zerfall vorbereitet.

- W: Da hör ich doch gerne zu, legen Sie mal los.
- I: Ok. Also ein neutrales Kaon besteht aus einem Down- und einem Anti-Strange-Quark.
- W: Was wäre denn ein Down und ein Anti-Down für ein Teilchen?
- I: Ein π^0 .
- W: Gäbe es noch eine andere Quark-Zusammensetzung, die ein π^0 ergeben würde?
- I: Ja, das π^0 ist eine Superposition aus Down-Anti-Down und Up-Anti-Up.
- W: Gut. Was hat so ein Kaon denn für eine Masse?
- I: ...*Mist, das sollte ich wissen*
- W: Fangen wir kleiner an, wie sieht es denn mit dem Pion aus?
- I: ...
- W: Noch kleiner, das Elektron?
- I: 511 keV.
- W: Genau. Das Pion liegt bei bisschen über 100 MeV und das Kaon bei knapp unter 500 MeV. Wieso ist das Kaon denn so viel schwerer als das Pion?
- I: Wegen dem Strange-Quark?
- W: Ja, könnte man meinen, aber kennen Sie die Massen der einzelnen Quarks?
- I: Up und Down haben nur wenige MeV, das Strange knapp 100 MeV glaube ich.
- W: So ist es. Die 500 MeV des Kaons können also nicht nur vom Strange kommen und meine Frage ist absolut nicht trivial. Aber egal, machen wir mal weiter.
- I: Ok, das K^0 kann jetzt entweder semileptonisch zerfallen oder in zwei oder drei Pionen. Das gleiche gilt für das Anti- K^0 . Da wir ja zur CP-Verletzung kommen wollen, wenden wir mal den CP-Operator auf die Zustände vor und nach dem Zerfall an. Der P-Operator auf das Pion angewandt gibt jeweils eine -1, da es ein Meson ist.
- W: Wieso haben Mesonen eine Parität von -1?
- I: Hm, die intrinsische Parität von Teilchen folgt doch aus der Dirac-Theorie...
- W: Genau. Da wählen wir für Fermionen eine Parität von 1 und für Anti-Fermionen eine von -1. Was heißt das jetzt für das Meson?
- I: Das besteht gerade aus Fermion und Anti-Fermion und daher kommt die -1.
- W: So ist es. Aber gilt das immer, oder gibt es noch eine andere Eigenschaft der Teilchen, die da mit rein spielt?
- I: Der Drehimpuls.
- W: Genau. Wissen Sie, wie das Meson aus Down und Anti-Down mit Spin 1 heißt?
- I: ...ne, fällt mir nicht ein.
- W: Das ist das ρ^0 . Man sagt ja, es gibt "Vektorbosonen" und "skalare" und so...was wäre denn das π^0 ?
- I: Pseudoskalar, da Spin 0 aber negative Parität.
- W: Genau. Machen Sie mal weiter.
- I: Ähm...ja, also der P-Operator gibt uns wie gesagt für jedes Pion eine -1, der C-Operator lässt das π^0 ein π^0 sein und wandelt π^+ und π^- jeweils ineinander um. Damit ist der Zustand mit zwei Pionen ein CP-Eigenzustand mit Eigenwert +1 und der mit drei Pionen einer mit Eigenwert -1. Wenden wir CP jetzt aber auf die Kaonen an, so führen wir K^0 gerade in Anti- K^0 über und umgekehrt.
- W: Was ist K^0 also für ein CP-Eigenzustand.
- I: Gar keiner.
- W: Ganz genau. *grinst*
- I: Wir nutzen nun aus, dass K^0 und Anti- K^0 über die schwache Wechselwirkung mischen, was man ja direkt daran sieht, dass sie in die gleichen Endzustände zerfallen können und basteln uns aus einer Superposition CP-Eigenzustände die folgendermaßen aussehen. * K_1^0 und K_2^0 aufgeschrieben* K_1^0 ist ein CP-Eigenzustand mit Eigenwert +1 und dürfte damit unter der Voraussetzung, dass CP-Symmetrie besteht, nur in zwei Pionen zerfallen, K_2^0 hat den CP-Eigenwert -1 und dürfte damit nur in drei Pionen zerfallen. Da die Masse von drei Pionen zusammen schon fast so groß ist, wie die Kaonmasse, ist hier das Phasenraumvolumen viel kleiner als für den Zwei-Pionen-Zerfall und die Lebensdauer sollte nach Fermis Goldener Regel deutlich kürzer sein. Im Experiment beobachtet man genau das, langlebige und kurzlebige Kaonen. Wenn wir jetzt einen Detektor weit genug weg vom Entstehungsort aufstellen, sollten alle kurzlebigen zerfallen sein und wir dürften nur noch Zerfälle in drei Pionen beobachten können. Tatsächlich beobachtet man aber auch einen kleinen Anteil an Zerfällen in zwei Pionen und damit ist die CP-Symmetrie verletzt.
- W: Malen Sie doch mal auf, wie das Experiment aussehen würde, also die Quelle, den Detektor...
- I: Ähm...also als Quelle kann man z.B. π^- und Protonen miteinander kollidieren lassen...
- W: Genau, ist aber nicht so wichtig.
- I: *malt 'nen Kasten hin, aus dem ein Strahl an Kaonen kommt und einen Detektor aus mehreren Schichten um den Strahl herum*
- W: Wie würden Sie den Detektor denn jetzt aufbauen?
- Dann ging es ein wenig darum, wie Kalorimeter funktionieren, wie wir durch die Impulse und Energien, die wir messen, sichergehen können, dass wir wirklich zwei/drei Pionen aus einem Kaonen-Zerfall gemessen haben, wie man ein Magnetfeld da einbringen würde, um die Teilchen nach Ladung zu sortieren...Hab mich

vor allem bei den Kalorimetern eher schwer getan, weil ich mir Detektoren nicht so genau angeschaut hatte, bin aber mit seiner Hilfe halbwegs gut durchgekommen. An den genauen Gesprächsverlauf kann ich mich nicht erinnern.

W: Wechseln wir mal das Thema. Sagt Ihnen der Name J. J. Thomson etwas?

I: Jap, der hat das Elektron entdeckt.

W: Kennen Sie auch seine Vorstellung eines Atoms?

I: Ahja, von ihm stammt das Rosinenkuchenmodell, das besagt, dass die Elektronen im Atom in einen gleich positiven Hintergrund eingebettet seien.

W: Genau, und wessen Experiment hat etwas anderes gezeigt?

I: *Ich hab zuerst an das Bohr-Modell gedacht und hab angefangen von der Balmer-Serie zu reden*

W: War da nicht noch was schon vorher?

I: Achja, klar, der Streuversuch von Rutherford. Er hat alpha-Teilchen auf eine dünne Goldfolie geschossen, beobachtet, dass die meisten nur leicht abgelenkt werden und daraus gefolgert, dass die positive Ladung im Atom in einem kleinen, massiven Kern vereint sein muss.

W: Genau. Gerade haben Sie schon vom Bohrschen Modell geredet. Wie viel Quantenmechanik steckt da denn drin?

I: Hm, naja, ein bisschen halt, insofern, dass nur diskrete Energieniveaus erlaubt sind...

W: Hach, das würde ich jetzt nicht sagen, eher ganz, ganz wenig Quantenmechanik... *lacht* Was waren denn seine Postulate?

I: *Aufgezählt*

W: Wissen Sie, was das mit der De-Broglie-Wellenlänge des Elektrons zu tun hat?

I: *Wusste ich nicht. Anscheinend gelten im Bohrmodell die Bahnen als stabil, deren Umfang ein ganzzahliges Vielfaches der De-Broglie-Wellenlänge betragen, oder so ähnlich*

W: Und wie sieht das dann quantenmechanisch aus?

I: Da entsprechen den stationären Zuständen Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Elektronen, die wir als Orbitale beschreiben.

Dann ging es um die Quantenzahlen, die die Orbitale beschreiben und das Madelung-Schema, die Oktettregel (hatte ich vorher noch nie gehört, ist anscheinend in der Chemie gebräuchlich) und den Grund, wieso die Edelgase so wenig reaktiv sind

W: Und andersrum, wieso ist das Wasserstoffatom dann so reaktionsfreudig?

I: Weil der Spin des einzigen Elektrons eben nicht durch ein anderes kompensiert wird.

W: Also finden wir Wasserstoff normalerweise in welcher Form?

I: Als H₂-Molekül, also kovalent gebunden.

W: So, dass sich die Spins der beiden Elektronen gerade aufheben können, genau. Hm... sagen Sie doch mal alles, was Sie zum Franck-Hertz-Versuch wissen.

I: *gemacht*

W: Was würden Sie denn für eine Spannung an die Glühkathode anlegen?

I: Ähhhhmm...

W: Damit haben Sie nicht gerechnet, was? Normalerweise nur ein paar Volt. Was passiert denn an der Glühkathode?

I: Die thermische Bewegung der Elektronen wird so stark, dass sie die Bindungsenergie an das Kathodenmaterial überwinden und frei werden.

Hier wurde das Gespräch für mich ziemlich durcheinander und ich kann mich nicht so gut daran erinnern. Ich habe ihm auf jeden Fall die Fermi-Dirac-Verteilung und das Bändermodell erklärt (auch, wie sich die Bänder in der Näherung quasifreier Elektronen ergeben) und dass die Geschwindigkeitsverteilung der Elektronen einer Boltzmann-Verteilung entspricht... letztendlich wollte er auf die Fermitemperatur von Kupfer hinaus, die ich abschätzen sollte. Ich hatte wirklich überhaupt keine Ahnung, weil ich mir unter der Fermitemperatur nicht so viel vorstellen konnte (obwohl er mir gesagt hatte, dass sie sich nach $E=3/2kT$ aus der Fermienergie ergibt) und er hat mir schließlich einfach den Zahlenwert genannt, der ziemlich hoch war.

W: Festkörperphysik hätten wir damit auch... *schaut auf die Uhr, 45 Minuten waren schon rum* Ein bisschen können wir ja nochmal zur Teilchenphysik kommen. Wie viele Grundkräfte und Elementarteilchen kennen Sie denn?

I: *aufgezählt*

W: Welche der Elementarteilchen denken Sie, befinden sich gerade mit uns im Raum?

I: Naja Up-, Down-Quarks, Elektronen...

W: Jo das war es dann auch schon, plus vielleicht ein paar kosmische Myonen. Hm, das ist jetzt keine Wissensfrage, aber welche der Grundkräfte finden Sie denn am intuitivsten?

I: Hm, wahrscheinlich die elektromagnetische...

W: Nicht die Gravitation?

I: Habe letztes Semester General Relativity gehört...

W: Seit dem nicht mehr? *lacht* Ok, dann frage ich anders. Was ist denn das besondere an den Vektorbosonen unter den Elementarteilchen im Vergleich zu den Fermionen?

- I: Zum einen haben sie Spin 1, im Vergleich zum Spin 1/2 der Fermionen, und außerdem sind sie Vermittler der starken, schwachen und elektromagnetischen Kraft.
- W: Fangen wir mal mit der starken Kraft an, wie läuft das bei der denn ab?
- I: Quarks sind farbgeladen, Gluonen tragen Farbe und Antifarbe und werden unter Quarks ausgetauscht
- W: Gibt es auch starke WW, bei der keine Farbe ausgetauscht wird.
- I: Glaube nicht.
- W: Doch gibt es tatsächlich. *grinst*
- I: Aber war da nicht was mit Oktett und Singulett, und dass das Singulett keine Wechselwirkung vermittelt da es die Farbe nicht ändern kann?
- W: Habe auch nicht behauptet, dass es was mit dem Singulett zu tun hat. Aber das war auch eine gemeine Frage. Hm...das π^0 , in was zerfällt das denn dominant?
- I: Zwei Photonen.
- W: Sehr gut. Und das π^+ ?
- I: Anti-Myon und Myon-Neutrino.
- W: Durch welche Wechselwirkungen finden diese beiden Prozesse statt?
- I: Bei π^0 elektromagnetisch, bei π^+ schwach.
- W: Wie ist die Lebensdauer des π^+ so ungefähr?
- I: Bei schwachen Zerfällen ist 10^{-10} s glaube ich immer eine gute Schätzung.
- W: Weiß ich grad selber nicht so genau, aber scheint sinnvoll. Und im Vergleich dazu das π^0 ?
- I: Das lebt deutlich kürzer, der Zerfall des π^+ ist durch die Masse des W-Bosons unterdrückt.
- W: Jetzt sagt man ja immer so daher, dass die schwache Wechselwirkung maximal paritätsverletzend sei... das?
- I: Ähm...das steht zumindest überall so...:D
- W: Woran sieht man diese Paritätsverletzung z.B.?
- I: W-Bosonen koppeln nur an links-chirale Teilchen -> es existieren nur linkshändige Neutrinos
- W: Super. Welches Teilchen vermittelt noch die schwache Wechselwirkung?
- I: Das Z-Boson.
- W: Genau, und das koppelt eben auch schwach an rechtshändige Teilchen. Ähm...jetzt haben wir ja vorher gesagt, dass die Masse des W-Bosons den Zerfall unwahrscheinlich macht...wieso ist dann der schnellste bekannte Zerfall trotzdem ein schwacher?
- I: Sie wollen wohl auf das Top-Quark hinaus. Das zerfällt so schnell, weil der Massenunterschied zum Bottom-Quark so hoch ist.
- W: Und nach welcher Regel folgt da ein schneller Zerfall? Das hatten Sie ganz am Anfang schon erwähnt.
- I: Fermis Goldene Regel aufgeschrieben
- W: Wo spielt da jetzt die Masse des W-Bosons rein?
- I: In das Übergangsmatrixelement.
- W: Und wo der Massenunterschied?
- I: Größeres Phasenraumvolumen.
- Dann wurde noch kurz die CKM-Matrix von ihm erwähnt, von mir erklärt, und das war es.
- Die Prüfung ging insgesamt knapp eine Stunde.
- Natürlich kann ich mich nicht so genau an jede kleine Zwischenfrage erinnern, von denen es einige gab.