

Fach: Experimentelle Physik		
PrüferIn: Wolf		
<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: 06. August 2018	Fachsemester: 6
Welche Vorlesungen wurden geprüft? Ex 4, 5, 6		
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: Folien/Übungen Drexlin Ex 5: Skript Wegener, Prüfungstrainer Physik (für kurzen Überblick), Internet Ex 6: Skript Wolf/Müller, Povh(!), Internet
Dauer der Vorbereitung: Zusammenfassung getext (2 Monate, gute 70 Seiten), wirklich gelernt 2 Wochen á 2h. Wichtiger ist sowieso, das Thema jeden Tag um sich herum zu haben, wenn man die Denkweise erlernt hat, kann man im Grunde alles mögliche herleiten.
Art der Vorbereitung: Immer allein, wär aber rückblickend besser gewesen, jemanden abfragen zu lassen ne Woche oder so.
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Dr. Wolf legt viel Wert darauf, dass ihr versteht, was ihr sagt. Als Teilchenphysiker fragt er natürlich sehr tiefgehend Ex 6/4 und dann noch bisschen Ex 5. Er hat bis jetzt kein Standardverfahren, er fragt einfach, was ihn gerade interessiert, es ist mehr ein Gespräch als eine sture Sammlung von Fragen. Wenn ihr ein Einstiegsthema vorbereitet, dann solltet ihr es vollstens und in allen Einzelheiten durchdrungen haben, er quetscht euch diesbezüglich aus.

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? War ne super Atmosphäre, Dr. Wolf ist n cooler Typ, er redet auf Augenhöhe mit euch. Ihr könnt durch geschickte Antworten gut lenken, er wechselt aber recht eindeutig die Themengebiete. Ihm sind eher Zusammenhänge wichtig.
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Er formuliert die Frage um und schaut, dass die Prüfung nicht ins Stocken gerät.
Kommentar zur Prüfung: Ez game.
Kommentar zur Benotung: 1.0
Die Schwierigkeit der Prüfung: Keine unverständlichen Fragen, er formuliert recht eindeutig aus, aber wenn ihr aufgeregt seid (wie ich) dann steht ihr euch selbst im Weg.

Die Fragen

Mein Einstiegsthema war CP-Verletzung im neutralen Kaonenzerfall, er hat immer wieder kurze Fragen

eingeworfen, das Thema hat etwa 12 Minuten gedauert.

Ich schreibe nur Dinge auf, an die ich mich explizit erinnere, das ist aber sehr lückenhaft, es kamen dazwischen immer so kleine Nachfragen, wie in einem Gespräch halt üblich.

W - Wolf

U - unpersönlicher Prüfling

U: Die schwache Wechselwirkung hat die coole Eigenschaft, alles zu verletzen, was nicht bei 3 auf den Bäumen ist. So verletzt sie zum Beispiel die CP-Symmetrie. Um das zu demonstrieren, schauen wir uns doch mal den Zerfall des neutralen Kaons an. Ein K_0 besteht als Meson aus zwei Quarks: down und anti-

W: Ich werfe hin und wieder einfach mal Fragen ein: Woraus würde dann ein \bar{K}_0 bestehen?

U: Aus anti-down und strange.

W: Genau.

U: So. Neben den dominanten Zerfällen in ein Myon und Myon-Anti-Neutrino kann ein Kaon auch in zwei und drei pionische Endzustände zerfallen. Um uns die Paritätsverletzung vor Augen zu führen, schauen wir uns doch mal die Paritäten in den Prozessen an.

Ein K_0 hat als Meson die intrinsische Parität von -1. Zwei-Pion-Zustände haben dann natürlich eine Parität von +1.

W: Warum?

U: Weil ein Pion jeweils als Meson eine Parität von -1 hat und zusammen gibt das dann +1.

W: Genau.

U: Drei-Pion-Zustände dann natürlich -1. Die Tatsache, dass wir überhaupt in zwei und drei Pionen mit jeweils unterschiedlichen Paritäten zerfallen können zeugt bereits von der Paritätsverletzung in diesem Prozess. Aber darum geht es und ja hier nicht, ist aber ne gute Nebenbemerkung.

W: Ja, richtig.

U: Genau, um uns die CP-Verletzung anzuschauen, wenden wir doch mal den CP-Operator auf die Pionenzustände an. Wir sehen, dass die pionischen Zustände Eigenzustände bezüglich des CP-Operators sind, dabei hat das Zwei-Pion-System den Eigenwert +1 und das Drei-Pion-System einen von -1. (Ich hätte hier eigentlich erwartet, dass er wieder "Warum?" fragt, hat er aber aus irgendwelchen Gründen nicht. Es war warm im Zimmer.)

U: Bei den Kaonen haben wir aber ein Problem, die sind keine Eigenzustände bezüglich des CP-Operators.

W: Wie sähe die Anwendung des CP-Operators auf die Kaonzustände denn aus?

U: (hingeschrieben)

W: Mmmh, beim \bar{K}_0 wirklich ein Minus?

U: Ja.

W: Ja, stimmt. Okay.

U: Nun, wenn wir aber annehmen, dass die schwache Wechselwirkung CP-erhaltend ist, dann muss vor dem Zerfall ja ein Eigenzustand vorgelegen haben.

W: Das wäre gut, ja.

U: Aber kein Problem. Die Eigenzustände besorgen wir uns wie gewohnt aus der QM über eine Superposition der Kaonzustände. Soll ich das genau hinschreiben?

W: Ja, bitte.

U: (hingeschrieben, war aufgeregt und hab + und - vertauscht)

W: Welches Vorzeichen gehört wo hin?

U: (verweist auf Blatt)

W: Das ist nicht ganz richtig. Das muss anders herum sein.

U: (schaut sich das nochmal genau an) Oh ja, natürlich, sieht man ja auch, wenn man CP wirken lässt. Ausrechnen kann ich Ihnen das natürlich, ist immer ne Frage von auswendig merken, das kann ich nicht so gut.

W: Ja, klar, ist auch nicht so wichtig.

U: Jedenfalls können wir nun auf die neuen Zustände CP wirken lassen und finden heraus, dass der K^0_{1-} einen Eigenwert von + und der K^0_{2-} Zustand einen Eigenwert von - hat. Damit müsste der Einser in zwei Pionen und der Zweier in drei Pionen zerfallen, wenn CP erhalten ist.

Schauen wir uns nun den Phasenraum für die Zerfälle an. Als Zweikörperzerfall hat der Zwei-Pionen-Endzustand natürlich einen höheren Phasenraum zur Verfügung als der Drei-Pionen-Zustand, da nicht noch die Masse vom dritten Pion erzeugt werden muss.

Durch die Regel von Sargent wissen wir nun auch, dass ein größerer Phasenraum zu einer kleineren Lebensdauer führt...

W: Genau das wollte ich gerade fragen!

U: (lächelt) Daher müsste es kurz- und langlebige Kaonen geben.

W: Sehr richtig.

U: Und in der Tat beobachten wir bei solchen Zerfällen auch genau das.

W: In welchem Bereich liegt die Lebensdauer dieser Kaonen denn etwa?

U: Hmm...ich weiß, dass sich die Lebensdauern um etwa den Faktor 500 unterscheiden...So etwa 10^{-10} s?

W: Ja, das ist etwa der Bereich und das mit dem Faktor ist auch richtig.

U: Gut, um unsere Annahme zu überprüfen machen wir doch mal ein kleines Experiment.

W: Mhm!

U: Wir nehmen uns einfach eine neutrale Kaonenquelle daher...

W: Was könnte das sein?

U: Zum Beispiel...ein Pion-Minus auf ein Proton klatschen, da entsteht dann neben einem Lambda-Baryon ein Kaon.

W: Ja, sehr gut.

U: ...und stellen unseren Detektor in einiger Reichweite auf, sodass, bis wir den Detektor mit dem Kaone erreicht haben, die K^0_S bereits zerfallen sind und nur die K^0_L übrig sind. Laut unserer Herleitung von vorhin müssten wir bei einer CP-Erhaltung ja nur noch Zerfälle in drei Pionen im Detektor messen.

W: Aber was passiert jetzt?

U: Ja, jetzt kommt natürlich der Rausschmeißer: Wir messen zu einem geringen Anteil natürlich noch Zwei-Pion-Zerfälle.

W: Ja, genau, dafür gab's dann den Nobelpreis.

U: Genau.

W: Und wie erklärt man sich das dann?

U: Man sagt, dass die $K^0_{\{1/2\}}$ -Zustände nicht identisch mit den $K^0_{\{L/S\}}$ -Zuständen sind und führt einen komplexen Mischungsparameter ein, der dann diese Zustände gewichtet.

W: Ja, genau. Und wissen Sie wie der zeitliche Verlauf bei dieser Mischung ist? Kriegt man den Kaonenst. wirklich sehr rein hin?

U: Wenn ich mir die zeitliche Entwicklung anschau, dann können wir ja diesen schönen Graphen aus der Übung zeichnen, da sieht man, dass der K^0_L -Anteil nur ganz wenig unter die 0.5-Rate kommt. Also würde ich schon sagen, dass es recht rein wird.

W: Wissen Sie, woher das kommt?

U: (fängt an zu stammeln, denkt er weiß die Antwort nicht, aber es ist wirklich simpel) Nun, ich würde meinen, dass...hmm...jetzt sage ich bestimmt was offensichtliches, aber ich denke, dadurch dass K_0 und \bar{K}_0 mischen über Strangeness-Oszillationen?

W: Ja! Es ist immer das Offensichtliche! Genau deswegen. Und was würden Sie jetzt sagen, wenn ich behaupte dass man explizit nach so einer CP-Verletzung gesucht hat, weil das sehr gut für das SM war? Welche Matrix könnte da eine Rolle spielen?

U: Die CKM-Matrix! Hat verschiedene Eigenschaften, unitär...usw.

W: Ja, das ist nicht so interessant, aber was enthält sie?

U: Sie wollen wohl auf die komplexe Phase hinaus, durch die diese ganze CP-Verletzung möglich ist. Und das geht nur in drei Quarkgenerationen.

W: Ja, das wollte ich hören, genau.

Jetzt ist ihr Thema ja ein Beispiel für eine indirekte CP-Verletzung, was gibt es denn für andere Arten?

U: Um ehrlich zu sein, habe ich das nicht ganz durchblickt, als ich es mir durchgelesen habe. Allerdings ist die CP-Verletzung indirekt, weil wir sie nur durch die Mischung reinbekommen und nicht durch den Zerfall direkt, was dann eine direkte CP-Verletzung ist.

W: Na also, haben Sie doch verstanden. Ja genau, beim Skript vom Husemann glaube ich gab es drei Arten von Verletzungen, für mich gibt es eben direkte und indirekte.

Na ja, dann mal was anderes, bleiben wir aber bei schwachen Prozessen. Warum sind die denn so schwach?

U: Aufgrund der massiven Eichbosonen. Die Massen von denen tauchen im Propagatorterm der Feynmanamplitude bei schwachen Prozessen im Nenner auf und dadurch wird der Prozess unwahrscheinlich.

W: Auf welcher Regel beruht das?

U: Fermis Goldene Regel.

W: Und was steht da so drinnen?

U: Irgendein Vorfaktor - eh wieder $2\pi/\hbar$ - ...

W: (lacht) Ja, stimmt sogar.

U: ...die Feynmanamplitude im Quadrat, die wir aus den zugrundeliegenden Feynmandiagrammen ableiten können und der Phasenraumfaktor.

W: Genau. Die schwache Wechselwirkung ist ja schwach, sieht man das auch an ihrer Kopplungskonstante?

U: Nein, überhaupt nicht. Die ist im Vergleich zur elektromagnetischen Kopplung größer, aber ist eben durch diese massiven Eichbosonen unterdrückt.

W: Ja, genau. Dadurch verlaufen Prozesse in der schwachen Wechselwirkung vergleichsweise langsam ab. Dennoch ist der schnellste bekannte Zerfall ein schwacher. Welcher könnte das sein?

U: Bei schnell denke ich direkt an das Top-Quark.

W: Exakt! Schreiben sie das mal hin, wie sieht der Zerfall aus?

U: (muss sich was aus den Fingern saugen, weil er das vergessen hat. schreibt aber den Zerfall richtig hin) Das Top müsste dann ja unter Emission von einem W in irgendein down-type Quark zerfallen...am besten natürlich in's bottom, weil da die CKM-Unterdrückung schwach ist. (überlegt sich sichtlich, welches W-Boson ausgetauscht werden muss) Das Top hat Isospin 1/2, down-type dann -1/2, daher muss ein 1er weggetragen werden, also muss es ein W^+ sein.

- W: Ja, vollkommen richtig, sehr gut, alle Fragen auch schon beim Hinschreiben beantwortet! Aber warum ist der Zerfall denn jetzt schnell?
- U: Supi. Aufgrund der hohen Massendifferenz der beteiligten Quarks. Top hat etwa um die 170 GeV, während das Bottom etwas mit 4GeV hat, daher ist der Phasenraum enorm groß. Da macht das Flavor-changing W auch nicht mehr viel.
- W: Haben Sie eine Idee, was der CKM-Wert für Top zu Bottom ist?
- U: Ich müsste raten, aber bestimmt recht nah an 1.
- W: Unser Nebensitzer ist ein Experte in Top-Physik. Sag's ihm doch mal.
- Nebensitzer: Ja, fast 1. (lacht)
- U: Ah, cool! (grinst)
- W: Ja, sehr gut. Dann lassen Sie doch mal das bottom wieder zerfallen.
- U: (ist bemüht, keinen Kack zu bauen, bekommt's hin)
- W: Genau, und das charm da soll jetzt mal leptonisch zerfallen, machen Sie das mal.
- U: (deichselt es hin)
- W: Da ist ja jetzt ein recht massives W dazwischen. Wie ist es möglich, dass das da entstehen kann?
- U: Ist ja nur virtuell, geht über die Heisenbergsche-Unschärferelation.
- W: Ja, genau, schreiben Sie das mal auf.
- U: (schreibt die Unschärferelation auf), ich habe keinen blassen Schimmer, welche Konstante da stehen muss, aber is am Ende des Tages ja eh Auslegungssache, was jetzt genau eine Unschärfe ist...
- W: So ist es. Super. Was würde das dann bedeuten für eine ebene Welle. Wie genau kennen wir den Impuls einer ebenen Welle?
- U: Ist n Delta-Peak, daher ist die ebene Welle nicht lokalisiert, weil eben der Impuls unendlich scharf ist.
- W: Ja, richtig. Wie kommen wir denn vom Orts- in den Impulsraum?
- U: (steht auf dem Schlauch) Durch den Braket von $\psi(x)$ mit p ?
- W: Ja, aber welche mathematische Transformation steckt denn dahinter?
- U: Ach klar, Fouriertransformation.
- W: Exakt. Und wissen Sie, was die Fouriertrafo von einem Gauß-Paket ist?
- U: Wieder n Gauß.
- W: Ja, genau. Wenn man jetzt ein Atom hat, wie beschreibt man das?
- U: Durch seinen Hamiltonian, für simple Atome, wie z.B. das H-Atom ist das easy und exakt lösbar. Bei mehreren Elektronen wird's dann krass. Da muss man dann Näherungsverfahren verwenden. Hartree-Fock, oder so...
- W: Bleiben wir beim H-Atom, was muss man denn da machen, um das System zu bestimmen?
- U: Wir lösen die stationäre Schrödingergleichung für das Problem.
- W: Und wie sieht da der Hamiltonian aus?
- U: (schreibt ihn auf) Man würde das dann durch einen Separationsansatz lösen. In Kugelkoordinaten kriegt man dann für die Winkelverteilung im Wesentlichen die Kugelflächenfunktionen. Beim Radialanteil machen wir einen Potenzreihenansatz und finden im Wesentlichen die zugeordneten Laguerre-Polynome als Lösung.
- W: Super, genau. Und welche Quantenzahlen gibt's dann da?
- U: n, l und m.
- W: Was bedeuten die?
- U: Die Hauptquantenzahl n kann Werte von 1 bis Kontinuum annehmen, Nebenquantenzahl l, kann Werte zwischen 0 und n-1 annehmen und die magnetische Quantenzahl m, variiert zwischen -l und l.
- W: Richtig. Und wie könnte man zum Beispiel m messen?
- U: Durch die Aufspaltung der Energien im Zeeman-Spektrum.
- W: Gut. Es wird komplizierter: Welche Ordnungszahl hat Sauerstoff?
- U: 8 (Das weiß ich durch das Spiel "Atomis" im Play-Store. Holt es euch, is nice.)
- W: Wow, das weiß hier für gewöhnlich niemand! Super! (lacht) Wie sieht da denn die Struktur aus?
- U: Wir füllen die Schalen mit dem Aufbauprinzip nacheinander auf. Dazu muss ich mir das Madelung-Schema
- W: ...das brauchen Sie hier nicht, warum?
- U: Ach, sind ja nur 8 Elektronen, das ist schnell vorbei. Gut, dann fang ich mit 1s an. Da passen zwei Elektronen rein.
- W: Warum?
- U: Aufgrund des Pauli-Prinzips, die Spins der Elektronen sind antiparallel.
- W: Und weiter?
- U: Dann 2s. Wieder 2. Das macht 4. Dann kommt 2p. Da haben wir dann l=1, also m=-1,0,1, daher 6 Elektronen.
- W: Die brauchen wir aber nicht alle.
- U: Nee, fehlen nach Adam Riese ja nur noch 4. Dabei müssen wir bezüglich der Drehimpulskonfiguration jetzt aber aufpassen. Nach den Hundschen Regeln füllen wir zunächst 3 Elektronen mit parallelem Spin auf. Dann das letzte Antiparallel. Es fehlen 2 Elektronen in der Schale.
- W: Ja, energetisch günstig sind ja abgeschlossene Schalen, also würde das Sauerstoff gerne was machen?
- U: 2 Elektronen aufnehmen und damit kovalent an was anderes binden.

W: Genau. Nennen Sie mir doch mal ein Experiment, das das Foranschreiten der QM maßgeblich beeinflusst hat und erklären Sie das.

U: Es gibt viele. Hohlraumstrahlung, Franck-Hertz, ich würde jetzt gerne Bell's-Inequality sagen, aber das kann ich ohne viel Mathe nicht erklären, darum mach ich Franck-Hertz.

W: (lacht) Sehr gut, steht auch hier in diesem Prüfungsbuch. Machen Sie mal.

U: (erklärt Franck-Hertz, alter Hut, gehe nicht in's Detail.)

W: Ich sehe schon, das können Sie ganz gut. Wir sind schon fast fertig mit der Zeit, kommen wir zur Festkörperphysik. Was ist denn so die Geschwindigkeit von Elektronen in einem Metall?

U: Je nach Temperatur mehr oder weniger...Weiß nicht recht, kann man mit der Fermi-Verteilung bestimmt irgendwie herleiten.

W: Ja, aber schätzen Sie ab. Hoch oder niedrig?

U: Naja, es sind quasifreie Elektronen...Ich würde sagen, hoch, aber für Elektronen recht niedrig...

W: Finden Sie?

U: Ja, denke schon.

W: Die ist wahnsinnig hoch. Haben Sie eine Ahnung, warum?

U: Nun ja, wir füllen ja das Metall unter Beachtung vom Pauli-Prinzip auf bis nach oben zur Fermienergie bei 0 K. Aber ich kann nicht abschätzen, welchen Einfluss das auf die Elektronengeschwindigkeit hat.

W: Ja, im Grunde ist es so, wie Sie sagen. Es gibt halt nur sehr viele Elektronen im Metall und daher ist die Fermi-Energie auch so hoch und damit auch die Geschwindigkeit der Elektronen.

U: Ergibt Sinn. :)

W: Okay...Wir sind mit der Zeit durch. Wollen Sie mir noch was aus der Festkörperphysik erzählen?

U: Hmm...Wie die Bandlücke in Halbleitern entsteht?

W: Mh, darauf hab ich keine Lust. Dann beenden wir das hier. (grinst)

Es gab deutlich mehr Fragen, aber es war halt sowas wie ein Fachsimpeln unter Kollegen. Vor allem in dem Teilchenphysik-Teil hat er viel mehr Fragen gestellt, daran erinnere ich mich aber nicht mehr so gut.

1. The purpose of this document is to provide a comprehensive overview of the current state of the project. It is intended for the use of management and other stakeholders who are involved in the project's execution. The document will cover the following areas: project objectives, scope, schedule, resources, and risks. It is important that all project team members are familiar with the information contained in this document and understand their roles and responsibilities. The project is currently on track and we are confident that we will meet all our objectives. However, there are some risks that we need to be aware of and we will be monitoring them closely. We will provide regular updates on the project's progress and any changes to the plan. If you have any questions or concerns, please contact the project manager. Thank you for your support and cooperation.

