

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: 19. Oktober 2022	Fachsemester: 6
Welche Vorlesungen wurden geprüft?		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? -		

## Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -
Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
Verwendete Literatur/Skripte: Ex IV: Folien von Prof. Hunger Ex V: Mitschrieb bei Prof. Wernsdorfer Ex VI: Folien von Prof. Drexlin
Dauer der Vorbereitung: 3 Wochen
Art der Vorbereitung: Die ersten 2 Wochen und 5 Tage alles zusammengefasst, die letzten zwei Tage Protokolle gelernt
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Lernt nicht nur die Themen, sondern übt auch das Vortragen und stellt euch dabei selbst kritische Nachfragen.

## Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Ich war sehr aufgeregt, Herr Wolf hat es mit seiner entspannten Art (und einem Merci) jedoch geschafft mir diese zu nehmen. Danach war die Prüfung ein Gespräch, bei dem sehr konkrete Fragen gestellt wurden. Die Struktur war durch meine Antworten nicht beeinflussbar und es gab gelegentliche Themensprünge. Insgesamt kann ich Herrn Wolf sehr weiterempfehlen. Ist ein sehr sympathischer Prüfer!
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Er formulierte die Frage um oder versuchte mir mit Tipps oder Analogien auf die Sprünge zu helfen.
Kommentar zur Prüfung: Der Prüfer ist sehr weiterzuempfehlen
Kommentar zur Benotung: 1,0
Die Schwierigkeit der Prüfung: Zum einen die Themensprünge, zum anderen war mir gelegentlich seine Fragestellung nicht ganz klar.

## Die Fragen

I: Ich

P: Prüfer

Ich schreibe das ganze Frage-Antwort-Spiel jetzt in einem flüssigen Gespräch auf. Davon sollte man sich nicht verunsichern lassen, in der Prüfung selbst war sehr viel gestammel, gezögere und weiteres herumgeunsichere.

Nach ein bisschen Small Talk und etwas Schokolade:

P: Fangen wir an. Stellen Sie sich vor, Sie haben zwei Elektroden und legen da ne Spannung an. Um die Elektroden herum haben Sie eine Glaskuppel mit einem Vakuum.

Wie sieht hier die Strom-Spannungs-Kennlinie aus?

- I: Wenn die Spannung groß genug ist, um die Bindungsenergie der Elektronen an die Atomrümpfe zu überwinden, werden vereinzelt Elektronen freigesetzt, die anschließend vom elektrischen Feld zur Anode hin beschleunigt werden.
- P: Nehmen wir mal an wir haben eine Glühkathode.
- I: Dann werden konstant Elektronen mit einem Impuls in eine zufällige Richtung freigesetzt. Wenn wir jetzt die Spannung erhöhen, steigt der Strom zunächst an und erreicht schließlich eine Sättigung, wenn das Feld groß genug ist, um alle freien Elektronen zur Anode zu beschleunigen.
- P: Warum heißt das überhaupt Glühkathode?
- I: Weil sie glüht? (Ich wollte hier eigentlich etwas zum Planck'sche Strahlungsgesetz idealer schwarzer Körper sagen, hab in der Aufregung aber den Namen vergessen)
- P: Ja, warum genau werden denn nun Elektronen freigesetzt?
- I: Die Energieverteilung von Elektronen entspricht ja einer Fermi-Verteilung. Ist die Temperatur groß genug, so gibt es Elektronen, deren Energie größer ist als die Bindungsenergie im Metall, sodass sie freigesetzt werden.
- P: Genau. Was passiert, wenn wir jetzt Licht einstrahlen?
- I: Dann werden durch den Photoeffekt Elektronen freigesetzt, indem Photonen absorbiert werden und zur anderen Platte beschleunigt. Um die kinetische Energie der Elektronen zu bestimmen kann man ein Gegenfeld anlegen und bei fester Frequenz die Gegenspannung erhöhen, bis man keinen Strom mehr misst. (Gerade von eU über f gezeichnet mit Steigung h und Achsenabschnitt erklärt)
- P: Wie beeinflusst die Intensität des Lichts diese Gerade?
- I: Gar nicht. Dadurch werden nur mehr Elektronen freigesetzt, aber nicht mit größerer Energie. Das ist gerade der Widerspruch zur klassischen Welle, bei der die Energie in der Intensität und nicht der Frequenz liegt.
- P: Okay sehr gut. Was passiert jetzt, wenn wir die Kuppel mit einem Gas füllen?
- I: Dann bekommen wir bei sehr großen Spannungen einen Überschlag, weil sich ein Plasma bildet. (Ich habe hier noch was zu Franck-Hertz gesagt, dann aber selbst gemerkt, dass das damit nichts zu tun hat, weil die Elektronen kein Gegenfeld überwinden müssen.)
- P: Wenn Sie schon Franck-Hertz erwähnen. Wie funktioniert der?
- I: Wir beschleunigen Elektronen über ein Feld. Durch inelastische Stöße mit den Gasatomen werden diese sobald sie genügend Energie abgebremst, sodass sie das anschließende Gegenfeld nicht mehr überwinden können. Das gibt die typische Franck-Hertz-Kurve.
- P: Was passiert bei einem elastischen Stoß mit dem Atom?
- I: Gar nichts, es ändert nur seinen Impuls.
- P: Und bei tiefinelastischen Stößen? Können sie mir das mal aufzeichnen?
- I: Ich nutze zur Anschauung mal das Bohrsche Atommodell, habe also einen Atomkern und drum herum Kreise, die den Hauptquantenzahlen entsprechen. Im Beispiel von Sauerstoff habe ich dann 2 Elektronen in der ersten und 6 in der zweiten Schale. Bei einem inelastischen Stoß hebe ich die Elektronen in eine höhere Schale oder ionisiere das Atom sogar. Nach kurzer Zeit fällt dann ein anderes (oder das gleiche) Elektron wieder in den freien Platz, wobei ein Photon abgegeben oder ein anderes Elektron angeregt wird.
- P: Jetzt haben Sie mir was über das Bohrsche Atommodell erzählt. Wie sieht das denn in der Quantenmechanik aus?
- I: Da habe ich dann die Schrödingergleichung (Jetzt habe ich den Hamiltonian hingeschrieben, die stationäre Schrödingergleichung und die Lösungen des Wasserstoffproblems erklärt)
- P: Gehen wir nochmal zurück zur Rutherford. Da gibt es ja auch einen Streuversuch zu. Können Sie den mal erklären?
- I: Ja. Dabei werden Alpha-Teilchen an einer dünnen Goldfolie gestreut. Anders als ursprünglich erwartet kommt es zu deutlich mehr Rückstreuung.
- P: Zu Rückstreuung? Sind Sie sicher? Was war denn das damalige Atommodell?
- I: (Ziemlich verunsichert) Man ging davon aus, dass die Atome aus einer positiv geladenen durchlässigen Masse mit punktförmigen Elektronen darin bestand. Deshalb wird das auch als Rosinenkuchenmodell bezeichnet.
- P: Genau, das heißt man hat mehr Rückstreuung erwartet als man bekommen hat.
- I: (Habe das so stehen lassen, weil ich mir unsicher war. Laut Wikipedia hat man aber weniger Rückstreuung erwartet, weil die Masse ja als durchlässig angenommen wurde)
- P: Was ist denn die Rutherfordsche Streuformel?
- I: Der differentielle Wirkungsquerschnitt ist proportional zu  $\sin(\theta/2)^{-4}$ .
- P: Genau, können Sie das mal aufzeichnen?
- I: (Zeichne es hin)
- P: Das war jetzt das Rutherford'sche Modell. Wie sieht das in der Realität aus?
- I: Wenn wir Spin haben, wird die Rückstreuung am Kern unterdrückt aufgrund der Erhaltung der Helizität.
- P: Wir gehen davon aus, dass wir keinen Spin haben.
- I: (Hier stand ich auf dem Schlauch)
- P: (Hat mir dann mehrere Maxima aufgezeichnet)

I: Ahh, wenn die Energie groß genug ist, sodass die De-Broglie-Wellenlänge in der Größe des Kerns liegt kommt es zu Streuung an diesem.

P: Und warum sieht das so aus?

I: Nach dem Bloch-Theorem entspricht das gerade der Streuung an nem Spalt in Kernform. Demnach bekommt man so ein Interferenzmuster.

P: Was für einer Kernstruktur entspricht das?

I: (Mir fällt der Name nicht ein aber ich beschreibe ein Saxon-Woods-Potential)

P: Okay, kommen wir zu einem ganz anderen Thema. Sie kennen sicher den Beta-Zerfall. Was passiert da?

I: Je nachdem ob wir nen Beta-Plus oder Beta-Minus-Zerfall haben, zerfällt ein Proton in ein Neutron oder umgekehrt und dabei werden ein Lepton und Antineutrino bzw. die entsprechenden Antiteilchen emittiert. (Habe dann das Feynmandiagramm dazu hingezeichnet).

P: Kann beim Beta-Minus-Zerfall das W- auch in ein Positron zerfallen?

I: Nein, wegen Ladungserhaltung

P: Kann das W- auch in etwas anderes zerfallen?

I: (Haben dann überlegt, ob das auch in ein Myon zerfallen kann, da war er sich beim Beta-Zerfall energiegelaber aber selbst nicht sicher.)

P: Sagt ihnen K-Einfang etwas?

I: Nein

P: Okay, das ist, wenn der Kern ein Elektron aufnimmt und dann ein Beta-Plus-Zerfall passiert. Können Sie sich vorstellen, wofür das K steht?

I: Vermutlich für die K-Schale des Atoms.

P: Genau. Kann das auch beim Beta-Minus-Zerfall passieren?

I: In der Regel befindet sich in einem Atom kein Positron, insofern nein.

P: Okay, jetzt noch eine andere Sache: Wissen Sie denn, was ein Proton wiegt?

I: Etwa 940 MeV.

P: Ja, knapp unter 1GeV. Wissen Sie auch was ein W-Boson wiegt?

I: Etwa 80 GeV.

P: Genau. Können Sie mir erklären, wie also ein Proton in ein W-Boson zerfallen kann?

I: Das liegt daran, dass das W-Boson nur virtuell existiert. Nach Heisenberg gilt Energie-mal Zeitunsicherheit ist etwa  $\hbar$ . Die Energieerhaltung kann also verletzt werden, allerdings liegt die Lebenszeit dann auch in der Größenordnung der Zeitunschärfe.

P: Genau, kann auch die Impulserhaltung verletzt werden?

I: Ja, es gilt das gleiche für Orts- und Impulsunschärfe.

P: Können Sie sich erklären woher das kommt?

I: Wenn wir ein Teilchen als Wellenpaket in Gauß-Form mit der Breite  $\Delta x$  beschreiben und das Fouriertransformieren bekommen wir wieder eine Gaußform mit der Breite  $\Delta k$ .

P: Genau, das ist ein Satz aus der Fourieranalysis.

I: (Wir haben vorher noch ein bisschen allgemein über Wellen geredet, aber das bekomme ich nicht mehr zusammen.)

P: So, dann machen doch noch ein bisschen Festkörperphysik. Was können Sie mir zur monoatomaren Kette sagen?

I: Bei einer monoatomaren Kette liegen Atome im Minimum vom Potential. Das lässt sich für jedes Atom parabolisch nähern (hier hat er kurz nachgehakt und Taylorentwicklung hören wollen), sodass wir das dann als Massepunkte auffassen können, die mit Federn verbunden sind. Wenn wir die Newtonsche Bewegungsgleichungen für jeden Massepunkt aufstellen kommen wir mit einem Wellenansatz auf eine Dispersionsrelation, die etwa so aussieht (zeichnet versehentlich die für Elektronen auf, also ohne einen Knick im Ursprung)

P: Was ist das für eine Funktion?

I: Sinus zum Quadrat von  $k \cdot a/2$

P: Nein, das ist der Betrag vom Sinus. Warum haben Sie jetzt aufgehört bei  $k = \pi/a$  zu zeichnen? Geht das für höhere  $k$  nicht weiter?

I: Nein, sobald die halbe Wellenlänge kleiner als der Atomabstand ist tritt der Alias-Effekt ein, sodass größere  $k$ -Werte kleineren  $k$ -Werten entsprechen.

P: Wie bekomme ich jetzt die Schallgeschwindigkeit?

I: Indem ich den Sinus in erster Ordnung näherne

P: Ist das eine Gruppen oder Phasengeschwindigkeit?

I: Beides, weil die Dispersionsrelation linear ist.

P: Und wenn Sie ein Teilchen in Wellenform beschreiben? Ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit dann ne Phasen- oder Gruppengeschwindigkeit?

I: Gruppengeschwindigkeit

P: Was passiert für  $k$  am Rand der Brillouinzone?

I: Da bekomme ich eine ebene Welle.

P: Wie erzeugen Sie die?

I: (Kommt nicht auf das was er hören möchte)

P: Indem Sie zwei Wellen gegeneinander laufen lassen. Wie passiert das hier im Kristall?

I: Die Welle "reflektiert" am Kristallende.

P: Genau. Sollen wir nochmal Teilchenphysik machen?

I: Gerne

P: Wir haben vorher über die schwache Wechselwirkung gesprochen. Was für Kräfte kennen Sie noch?

I: Die starke, die elektromagnetische und die gravitative Kraft. Letztere wird aber nicht durch das Standardmodell beschrieben.

P: Können mir Sie erklären, was bei der starken Kraft passiert?

I: Prinzipiell wechselwirken alle Teilchen die eine Farbladung haben mittels Gluonen. Die bestehen aus immer genau einer Farbe und Antifarbe, bis auf die zwei farblosen Gluonen, bei denen ist das ein bisschen komplizierter. Eine antisymmetrische Farbkonstellation wirkt insgesamt dann anziehend.

P: Und wie funktioniert das zwischen einzelnen Nukleonen?

I: Da geschieht der Austausch über Pionen.

P: Wie kann das sein, haben Pionen eine Farbladung?

I: Die Pionen als ganzes sind farbneutral, aber das Quark und Antiquark besitzen eine Farbe und die zugehörige Antifarbe.

P: Haben Sie da eine klassische Analogie für?

I: (Mir fällt nichts ein)

P: Sagt Ihnen Van der Waals etwas?

I: Ja, wenn Moleküle ein spontanes Dipolmoment ausbilden erzeugt das ein elektrisches Feld. Das induziert in den umliegenden Molekülen auch ein Dipolmoment, sodass insgesamt eine Anziehung entsteht.

P: Nochmal zu den Pionen. Gibt es auch angeregte Pionen?

I: Ja, aber die heißen dann nicht mehr Pionen.

P: Sondern?

I: (Mir fällt es nicht mehr ein)

P: Das sind dann rho-Mesonen. Was ist an denen anders?

I: Die haben nen Spin von 1, das heißt die Spins summieren sich auf.

P: Gibt es auch Spin 1/2 Mesonen?

I: Nein, die Addition von zwei halbzahlgigen Spins ist immer ganzzahlig

P: Okay. Eine letzte Frage noch: Wie würden Sie jetzt experimentell testen, ob die Quarks wirklich existieren?

I: Mit tiefeinelastischer Streuung.

P: Was würden Sie dabei für Teilchen verwenden?

I: Elektronen?

P: Ja, noch ein anderes Beispiel?

I: Neutronen?

P: Neutronen würde ich eher nicht nehmen. Haben Sie eine Idee warum?

I: Wegen der inneren Struktur?

P: Genau, Neutronen haben selber nochmal eine Struktur. Damit machen Sie es sich nur unnötig schwer. Wie sieht dann die Strukturfunktion im Proton aus?

I: (Weiß grade nicht mehr, was die Strukturfunktion war)

P: Diese Funktion, bei der Sie auf der x-Achse die Bjorken-Skalenvariable haben.

I: Ahh. (Ich zeichne sie auf)

P: Jetzt ist die Zeit auch schon vorbei. Gehen Sie bitte kurz vor die Tür.