

Fach: Experimentelle Physik

PrüferIn: Wolf

☒ BP ☐ NP ☐ SF ☐ EF ☐ NF ☐ LA Datum: 30. Oktober 2023 Fachsemester: 6

Welche Vorlesungen wurden geprüft? EX 4,5,6

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? keine

Zur Vorbereitung

Abprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -

Abprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -

Verwendete Literatur/Skripte: EX4: Demtröder

EX5: Steven H.Simon "The Oxford Solid State Basics" (zur Übersicht)

Gross,Rudolf,Marx,Achim "Festkörperphysik" (hauptsächlich)

Hunklinger "Festkörperphysik" (ergänzend)

EX6: Povh "Teilchen und Kerne"

Folien Wolf 2017 (von seiner Website), Folien Drexlin 2023

Dauer der Vorbereitung: ca. 8 Wochen

Art der Vorbereitung: allein

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: In meiner Prüfung musste ich keine einzige Formel aufschreiben. Primärer Fokus liegt darauf, dass ein gutes Verständnis vorhanden ist, insbesondere bei grundlegenden Themen (z.B. H-Atom, Franck-Hertz, Potentialtopf etc.).

Weitergehend sollte man einige Skizzen reproduzieren und erklären können (z.B. Rutherford WQS, Betaspektrum, Schwarzkörperspektrum, Dispersion linearer Kette etc.)

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Sehr angenehm; Bevor die Prüfung losging hat mir Herr Wolf einen Kaffee gebracht und dann die Prüfung begonnen.

Generell verläuft die Prüfung wie ein Gespräch. Nachdem Wolf ein Thema eingeleitet hat und dann eine Frage gestellt hat, lässt er einen erzählen und stellt dann an spezifischen Stellen kleine Zwischenfragen.

Es ist durchaus auch möglich im Rahmen des aktuellen Themas das Gespräch in Richtung der eigenen präferierten Unterthemen zu steuern.

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Wolf gibt einem Zeit nachzudenken und gibt einem, falls man nicht weiterkommt, Hilfestellung.

Kommentar zur Prüfung: Kurzweilige Atmosphäre & angenehmes Tempo. Mir wurde die Wahl zwischen Tafel und Papier gestellt. Nach 45min vorbei.

Kommentar zur Benotung: 1,0

Die Schwierigkeit der Prüfung: Higgs-Zerfall

Die Fragen

P: Prüfer

S: Student

P: Kurze Einleitung über die Entwicklung der QM. Erzählen sie mir was zum Franck-Hertz-Experiment.

S: Aufbau aufgezeichnet. Generelles zum Ablauf erklärt, dass bei niedrigen Beschleunigungsspannungen nur elastische Stöße stattfinden ab gewisser Grenze auch inelastische Stöße stattfinden können. Dann noch die Strom-Spannungskurve skizziert. Habe dabei auch direkt erwähnt dass das Experiment zur experimentellen Bestätigung der quantisierten Energien im Bohr-Modell verwendet werden kann.

P: *zeigt auf die Stromminima*. Wie kommt es, dass der Strom an den Minimalstellen nicht auf 0 abfällt ?

S: Nicht alle Elektronen stoßen auf ihrem Weg zur Anode mit Gasatomen.

P: Gut. Wie könnte man denn jetzt abschätzen, wie viele Elektronen mit den Gasatomen inelastisch stoßen ?

S: Kurz überlegt. Dann gesagt, dass man aus dem Stromverlauf vor dem Minima mit der bekannten Beschleunigung abschätzen kann, wie viele Elektronen pro Zeit aus der Glühkathode gelöst werden. Durch Vergleich des theoretischen Stroms (ohne inelast. Stoß) an der Minimalstelle mit den experimentellen Werten kann dann die Zahl der inelast. gestoßenen Elektronen abschätzen.

P: Sehr gut. Sie haben jetzt schon einige male über "elastische" und "inelastische" Stöße geredet. Was ist denn das ?

S: Erklärt dass bei elastischen Stößen (kinetische) Energie und Impuls erhalten bleibt, während es bei inelastischen Stößen zu Anregungen innerer Freiheitsgrade kommt.

P: Wie sieht es denn mit der Energie des Elektrons bei einem elastischen Stoß an einem Atom aus ?

S: Bei el. Stoß an ruhenden schweren Atomen wird kaum Energie an den Stoßpartner abgegeben und somit gilt in guter Näherung Energieerhaltung für das Elektron. Falls die Masse des Stoßpartners in der selben Größenordnung wie die des Elektrons liegt, muss die übertragene Energie beachtet werden.

P: Sie haben jetzt bereits erwähnt, dass durch den Verlauf der Strom-Spannungs-Kennlinie der Franck-Hertz die Quantisierung der Energieniveaus der Elektronen im Atom beobachtet werden kann. Kann man diese in diesem Versuchsaufbau noch auf eine andere Art beobachten ?

S: Ja, es bilden sich Leuchtringe aus...

P: Wo bilden sich diese aus ?

S: ...beginnend bei der Beschleunigungsanode. Beim Erhöhen der Beschleunigungsspannung wandern diese in Richtung der Kathode. Bei genügend hoher Spannung entstehen weitere Ringe an der Anode.

P: Gut. Und wie kann man aus diesen Leuchtringen jetzt die Energieniveaus des Gases bestimmen.

S: Durch Spektralanalyse des emittierten Lichts können die Frequenzen des ausgesandten Lichts bestimmt werden.

P: Von wo kann denn das Licht denn beobachtet werden ?

S: *kurz verwirrt was genau er meint* Von überall, da die Emission isotrop ist.

P: Genau. Jetzt haben wir ja nur das Emissionsspektrum der Röhre betrachtet. Könnte man die Energieniveaus auch über die Absorption beobachten ?

S: Ja, wenn man einen möglichst monochromatischen (Laser-)Strahl mit passender Frequenz auf das Gas sendet wird ein Intensitätsabfall gegenüber dem Strahl der nur durchs Vakuum läuft beobachtbar.

-Zu diesem Zeitpunkt waren bereits ca. 15 Min, also ca. 1/3 der Prüfung vergangen-

P: Ok gehen wir mal zum nächsten Thema. Sie haben ja bereits über die quantisierten Energien des atomaren Elektrons geredet. Mit welchem Atommodell wurde dies denn historisch gesehen erklärt, und welche Atommodelle kennen sie noch ?

S: Die quantisierten Energien ließen sich durch das Bohrsche Atommodell "erklären". *kurz aufgezeichnet* Weitere Atommodelle waren das Thomsonsche Atommodell bei dem Elektronen in homogen geladener positiver Grundmasse verteilt sind, das Rutherford Modell mit punktförmig zentrierter pos. Ladung, welches aufgrund des im Rutherford-Experiment beobachteten WQS entwickelt wurde um die gemessene Abweichungen vom Thomson zu erklären und schließlich das moderne "Schrödinger-Modell".

P: Ok, dann lassen Sie uns doch nach dieser Steilvorlage mal über das Rutherford-Experiment reden. Skizzieren sie doch bitte mal den Aufbau.

S: Skizziert; Alpha-Teilchenstrahl wird auf Goldtarget geschossen, welches umkreist ist von Photoplatte

P: Ok und welche Energie haben denn diese Alphateilchen ?

S: Einige MeV.

P: Ja; jetzt bauen wir genau diesen Versuchsaufbau für einen Praktikumsversuch nach und detektieren...gibt es nichts. Woran kann dies liegen ?

-Diese Frage hat er glaube ich gestellt, da ich das Goldtarget als Block gezeichnet habe und nicht erwähnt habe, dass es sich um eine dünne Folie handelt.-

S: Ähhh...die Energie des Strahls ist zu niedrig ?

P: Ja könnte auch sein; aber sehen sie sich mal ihr Target an.

S: Ah; im realen Experiment wurde eine dünne Goldfolie verwendet. Vielleicht wäre die Probe zu dick.

P: Ja genau. Was passiert denn in dicken Targets mit meinen Alphateilchen ?

S: Habe hier gesagt, dass die Alphateilchen viel ihrer Energie durch Ionisation des Mediums verlieren, wodurch sie letztendlich quasi zum Stillstand abgebremst werden und dabei auf die Bethe-Bloch Formel hingewiesen.

Wolf wirkte überrascht, dass ich hier mit der B.-B.-Formel argumentiert habe, meinte aber dass dies korrekt sei. Er wollte nur hören, dass die Teilchen in dicken Targets abgebremst werden.

P: Ok, dann zeichnen sie mir doch noch bitte den WQS des Experiments.

S: *gemacht*

P: Und wieso konnte anhand dieser Messung angenommen werden, dass das Thomson Modell nicht richtig ist ?

S: Das Thomson Modell hat bei hohen Streuwinkeln viel kleinere Wirkungsquerschnitte hervorgesagt als gemessen wurde. Wegen dieser Diskrepanz musste das Thomson-Modell verworfen werden.

- Hier kam es zu einer Diskussion über den Thomson-WQS und meine Argumentation. Herr Wolf und der Beisitzer meinten, dass primär der WQS bei Vorwärtstreuung relevant seien, da die Alphas in ausgedehntem Thomson "stecken bleiben" also Vorwärtstreuung gegenüber Rutherford unterdrückt sei. Ich meinte darauf hin, dass meines Wissens insbesondere die Rückstreuung relevant sei. -

P: Gut lassen wir das. Im Experiment wurden ja Alphas verwendet. Wie erzeugen wir die denn ?

S: Über Alpha Zerfall. Potentialbarriere aufgezeichnet, Alphateilchen mit positiver Energie eingezeichnet und erwähnt, dass das Alpha durch diese hindurch tunneln kann.

P: Zeichnen sie mir doch bitte mal einen Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden.

S: *tiefen Kasten gezeichnet*

P: Ok und dann setzen wir hier mal ein Teilchen rein. Wie sehen denn die Energien hier aus.

S: Erwähnt dass Energien quantisiert sind also nur diskrete Energieniveaus angenommen werden können.

P: Ok zeichnen sie mir doch mal bitte mal ein paar mögliche Wellenfunktionen ein.

S: *gemacht*

P: Und woran sieht man jetzt hier, dass eine Quantisierung der Energie entsteht.

S: Wenn die Schrödingergleichung des Problems gelöst wird ergibt sich ein diskretes Energiespektrum.

P: Ok und woran sieht man dass hier ein diskretes Spektrum entsteht, ohne die Schrödingergleichung explizit zu lösen ?

S: Aus der Bedingung, dass die Wellenfunktion am Rand verschwinden muss ergeben sich nur bestimmte mögliche Lösungen.

P: Genau, an den Randbedingungen.

P: Was ist denn die niedrigste Energie, die ein Teilchen in diesem Topf haben kann S: Hab hier gesagt $E=0$ was natürlich Schwachsinn ist.

-Wolf erklärt mir, dass Teilchen im Potentialtopf nichtverschwindende Grundzustandsenergie haben. Er hat diesen Punkt später als einen der Negativpunkte der Prüfung erwähnt. Lohnt sich also evtl nochmal anzuschauen :D -

P: Ok gehen wir zurück zum Alpha-Zerfall. Können sie mir in Ihre Skizze die Wellenfunktion des Alphateilchens einzeichnen ?

S: Eingezeichnet, analog zum Potentialwall.

P: Genau. Was kennen sie den noch für radioaktive Zerfälle ?.

S: Kernspaltung, analoger Ablauf zum Alpha-Zerfall, Beta, Gamma.

P: Wie sieht denn der Beta-Zerfall aus ?

S: Es gibt zwei Arten vom Beta Zerfall, einmal den Zerfall eines Neutrons in ein Proton und umgekehrt. Hab dann die "Reaktionsgleichungen" der beiden Zerfälle aufgeschrieben (in der Form $p \rightarrow n + \dots$) und erwähnt, dass nur der Neutronzerfall bei freien Teilchen auftritt, da die Masse kleiner ist als die des Protons.

P: Wie würde man denn nach heutigem Verständnis die beiden Betazerfälle graphisch darstellen ?

S: Durch die entsprechenden Feynmandiagramme. *Aufgezeichnet für Neutronzerfall*

P: Was sind die Massen der beteiligten Teilchen.

S: Proton 938,...MeV, Neutron 939,...MeV, Elektron 511keV.

P: Und die des W-Bosons ?

S: ...ca. 80 GeV ?

P: Fast, es sind 80. Wie kann es jetzt sein, dass das W-Boson erzeugt wird, obwohl dessen Masse deutlich größer ist als die des zerfallenden Neutrons ?

S: Durch die Energie-Zeit-Unschärferelation *aufgeschrieben* ist kurzzeitige Verletzung der Energieerhaltung erlaubt bzw. nicht messbar, womit das W-Boson als virtuelles Teilchen erzeugt werden kann.

P: Ok sie haben jetzt ja schon die Energie-Zeit-Unschärfe erwähnt. Kennen sie noch weitere derartige Beziehungen ?

S: Hier habe ich dann zuerst die allgemeine Unschärferelation für ein beliebiges Paar von Operatoren aufgeschrieben (vgl. Theo D) und danach noch explizit die Orts-Impuls-Unschärfe.

P: Ah sehr gut. Sind virtuelle Zustände denn jetzt real ?

S: Im Rahmen der Störungstheorie treten die virtuellen Zustände mathematisch in der Summation über ungestörte Eigenzustände auf und sind somit in dieser Hinsicht "real". In Experimenten lassen sich diese aber, aufgrund der E-t-Unschärfe nicht direkt nachweisen.

P: Ja. *Erzählt noch ein wenig über Protonzerfall bevor er überleitet*

P: Wo wir schon bei Feynman-Diagrammen sind; können sie mir bitte die Erzeugung eines Higgs-Bosons aus zwei Gluonen aufzeichnen ?

- Bei dieser Frage habe ich kompletten Schabernack fabriziert, da ich mir Higgs-Zeugs nicht angeschaut hatte -

S: Zeichnet den Zerfallsprozess eines Higgs in zwei Photonen in umgekehrter Reihenfolge. (wie gesagt ist Schwachsinn)

P: Ok und jetzt lassen sie mir das Higgs in zwei Z-Bosonen zerfallen.

S: Gemacht

P: Ok und jetzt lassen sie mir die Z-Bosonen in jeweils zwei Leptonen zerfallen. Das Obere bitte in Elektronen und das untere in Myonen.

S: Hier habe ich zunächst ein virtuelles Photon zwischen den Vertices von Z und Lepton-Antilepton-Paar eingezeichnet. Habe dies dann nach Hinweis korrigiert.

P: Ok genug davon. Wir haben ja schon von einzelnen Nukleonen und Atomen geredet. Welche Vielteilchensy von Teilchen kennen sie denn sonst noch?

S: Festkörper/Kristalle, Moleküle.

P: Sonst noch was?

S: Ähh...Photonengas, Elektrongas?

P: Ja genau, Gase! Und was gibt es dann noch?

S: Flüssigkeit, Bose Einstein Kondensat, Plasma.

P: Ja und eins noch? Wenn sie aus dem Fenster schauen?

S: Ähh...kein Plan.

P: Glas ist meines Wissens nach noch eins. (er meinte wohl amorphe Festkörper)

Erklären sie mir doch bitte wie so ein Festkörper aussieht.

S: Was möchten sie denn haben; el. Leitung, Gitterschwingungen, ...?

P: Legen sie mal einfach los.

S: Habe dann grob einige fundamentale Eigenschaften von Festkörpern erwähnt:

- Aus diskreter Translationssymmetrie folgt endliche Anzahl von möglichen Translationsgittern/Bravaisgittern

- Auf jeden Gitterpunkt des Bravaisgitters wird die Basis gesetzt, welche aus Atomen, Molekülen etc. bestehen kann

- Die Atome können in bestimmten Fällen Elektronen zu einem quasifreien Elektronengas beitragen (-> (Halb-)Metalle)

- In anderen Fällen Elektronen stark an einzelne Gitteratome gebunden.

-> Isolator

- Das Gitter selbst kann zum Schwingen angeregt werden (-> Phononen)

P: Die Gitterschwingungen werden ja durch eine fundamentale Relation beschrieben. Welche ?

S: Dispersionsrelation.

P: Und was ist das?

S: $w(k)$; Kreisfrequenz der Schwingung in Abhängigkeit vom Wellenvektor.

P: Genau. Durch welches Modell lassen sich denn die Schwingungen des Gitters untersuchen ?

S: Lineare Kette. Man hat eine Kette aus Atomen, entwickelt das Wechselwirkungspotential zwischen sei bis zur quadratischen Ordnung und nimmt noch an, dass nur die WW mit dem nächsten Nachbarn relevant ist. *aufgezeichnet mit Federn zwischen Punkten auf einer Kette*

P: Ok, wie sieht denn jetzt die Dispersion für diese Kette aus ?

S: Wieviele Atome möchten sie in der Basis haben ?

P: Eins.

S: Aufgezeichnet $\text{abs}(\sin(ka/2))$. Habe zudem die 1. Brillouinzone mit gestrichelten Linien eingegrenzt.

P: Ah was sind denn diese gestrichelten Linien ?

S: Das ist die 1.Brillouinzone. Bezüglich derer ist die Dispersion periodisch.

P: Von wo bis wo läuft diese denn ?

S: $-\pi/a$ - $+\pi/a$

P: Ah ich sehe sie können das. Die Zeit ist schon fast rum. Möchten sie noch eine Frage?

S: Von mir aus. (dumme Antwort)

P: Ok, dann erklären sie mir doch bitte mal was ein entartetes Fermigas ist.

- Mir war hier entfallen wofür genau der Begriff "entartet" in diesem Kontext verwendet wird. Ich habe dies erwähnt, woraufhin ich, nach scherzhaften Gespräch darüber, dass ich mir diese Frage mit meiner Antwort selbst eingebrockt habe, kurz ein Elektronengas in einem Potentialtopf einzeichnen sollte. Nachdem ich dies gemacht hatte löste er auf, dass Entartung in dem Kontext bedeutet, dass die Fermitemp deutlich größer ist als die "thermische" Temperatur, womit die thermische Anregung näherungsweise Vernachlässigt werden kann (z.B. in Metallen).-

- Danach wurde ich kurz rausgeschickt. In der Nachbesprechung meinte Herr Wolf, dass ihn insbesondere die Fehler beim Potentialtopf (Nullenergie) und bei der Higgserzeugung gestört hätten. -