

Fach: Experimentelle Physik

PrüferIn: Wolf

BP  NP  SF  EF  NF  LA

Datum: 19. September 2023

Fachsemester: 6

Welche Vorlesungen wurden geprüft? Ex4, Ex5, Ex6

Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? -

## Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -

Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -

Verwendete Literatur/Skripte: Bei allem auch Internet, hauptsächlich Wikipedia

Ex4: Demtröder 3, viel Internet

Ex5: Gross & Marx Festkörperphysik

Ex6: Povh Teilchenphysik

Dauer der Vorbereitung: 4 Wochen

Art der Vorbereitung: Zuerst alle Protokolle durchgeschaut und Themen rausgeschrieben. Dann 3 Wochen zusammengefasst. Die Letzte Woche Protokolle durchgegangen und alles gelernt. Hauptsächlich alleine gearbeitet und bei Fragen mit Kommilitonen ausgetauscht.

Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Dadurch, dass ich die Vorlesungen nach dem jeweiligen Semester nicht zusammengefasst habe, konnte ich nicht alles lernen was so gemacht wurde in den 3 Semestern. Dadurch, dass Wolf viele Standardthemen hat, ist das auch in Ordnung.

Am Ende habe ich nochmal ein wenig Prüfungssimulation gemacht (würde ich auch echt empfehlen).

Ich war teilweise echt froh zuerst die Theo Prüfung abgelegt zu haben, da ich einige Sachverhalte dann auch erst richtig verstanden hatte (z.B. Wasserstoffatom und Korrekturen).

## Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Ich war nicht so aufgeregt. Es war auch von Anfang an entspannt. Es hat sich angefühlt wie ein angenehmes Gespräch und nicht wie eine harte Abfrage. Die Fragen die jedoch gestellt wurden waren teilweise unvorhersehbar. Andererseits konnte man mit bestimmten Begriffen das Gespräch auch lenken.

Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Wolf hat versucht Hilfestellungen zu geben und zu der Antwort hinzuleiten. Jedoch hat er sich auch gemerkt, dass man Hilfe gebraucht hat.

Kommentar zur Prüfung: Den Prüfer kann ich weiterempfehlen.

Kommentar zur Benotung: 1,3. Es hat wohl daran gelegen, dass nicht alles aus der Pistole geschossen kam und ich auch zum Beispiel bei dem Thema von den Photonen als Quasiteilchen nicht wirklich ne Ahnung hatte. Jedoch hat ihm sehr gefallen, dass ich bei anderen Themen, die ich nicht direkt wusste, mir die Antwort erarbeiten konnte. Darauf legt er wirklich viel Wert.

Die Schwierigkeit der Prüfung: Eigentlich keine so richtig, paar Random fragen halt.

# Die Fragen

W: Wolf

S: Student

Zu Beginn gabs ein wenig small talk, da ich zu früh da war. Herr Wolf hat mir Kaffee angeboten und von seinen Kindern erzählt. Die Atmosphäre war von Anfang an sehr entspannt. Zu Beginn der Prüfung meinte er, dass er vor hat 45 Minuten zu machen, jedoch waren es am Ende doch 60.

W: Wir werden testen was sie wissen und was sie können. Letzteres ist jedoch wichtiger.

W: Was waren die ersten wichtigen Experimente, die die Quantenmechanik eingeleitet haben?  
S: Zum einen gab's da den Photoeffekt. Habe die Skizze dazu aufgezeichnet und dann erzählt, dass Lenard 1902 das Experiment gemacht hatte und Einstein dieses 1905 erklärte. Daraufhin hat er mir paar Sidefacts zu Lenard erzählt, weil er, Wolf, an Lenards Institut in Heidelberg promoviert hatte.

Wir sind jedoch nicht wirklich tiefer in die Materie gegangen, die Plots wollte er nicht sehen.

W: Welches weitere Experiment gab es, dass auch die Quantisierung von Atomen zeigte?

S: Franck-Hertz-Versuch. Die haben dann sozusagen das Bohrsche Atommodell bewiesen, obwohl sie das gar nicht wollten.

W: Genau. Die haben erst nicht dran geglaubt.

S: Habe dann den Versuchsaufbau skizziert und die Spannungs-Strom-Kennlinie aufgezeichnet und erklärt was passiert.

W: Erklären sie mal, wie eine Röntgenröhre funktioniert.

S: Da war ich mir zunächst unsicher, weil ich das nicht so wirklich gelernt hatte. Habe das auch artikuliert dass er sieht, dass ich nachdenken muss.

Dachte erst, dass die Röhre Röntgenstrahlung misst. Da hat er mich direkt korrigiert und gesagt, dass sie diese erzeugt. Habe dann durch ein wenig nachdenken eine grobe Skizze gezeichnet mit einer Röhre, in der sich eine Kathode und eine Anode befindet. Habe erklärt, dass die Elektronen aus der Kathode gelöst werden und durch das E-Feld auf die Anode schießen. Dort werden sie dann durch die Nähe von Atomkernen abgelenkt und emittieren somit Bremsstrahlung. Außerdem gibt es auch Elektronen die inelastisch mit den Atomen stoßen und somit charakteristische Röntgenstrahlung entsteht.

W: Was für ein Röntgenspektrum erhält man bei der charakteristischen Röntgenstrahlung?

S: Er wollte das Wort Linienspektrum hören. Habe das auch so ähnlich gesagt.

W: Woher kommen die Linien und wie unterscheiden sie sich?

S: Dadurch, dass verschiedene Elektronen angeregt werden können in den Atomen gibt es verschiedene Frequenzen. Jedoch ist es statistisch unwahrscheinlicher, dass beispielsweise Elektronen aus inneren Schalen herausgeschlagen werden. D.h. die Linien unterscheiden sich in ihrer Höhe.

W: Schätzen sie mal welche Spannung man benötigt um dann wirklich Röntgenstrahlung zu bekommen.

S: Da hab ich's mir erst schwer getan. Aber mein Gedankengang war, dass ich wusste, dass Elektronen eine Ruheenergie von 500keV haben. Hab dann überlegt, dass das dann vielleicht auch mit der De Broglie Wellenlänge des Elektrons zu tun hat und hab dann als Antwort kV gesagt. Das war auch richtig. Habe jedoch das mit der Ruheenergie des Elektrons nicht laut ausgesprochen, weil ich mir nicht sicher war, ob das Sinn macht.

W: Wie kommt man denn eigentlich von der Energie in eV auf Joule?

S: einfach mit der Elementarladung multiplizieren.

W: Genau. Steht ja auch schon da ( $eV=e \cdot V$ ).

Hier hat er irgendwas gefragt, ob diese Spannung nun gefährlich sei in der Röntgenröhre, aber ich weiß nicht mehr, was die Antwort darauf war. Hab erst gesagt, dass es wahrscheinlich nicht gefährlich ist, da der Elektronenstrom ja nicht hoch ist, weiß aber nicht mehr ob das richtig war.

W: Wie sieht denn nun das Spektrum der in der Röntgenröhre erzeugten Strahlung aus? Passen sie auf ob auf die x-Achse Frequenz oder Wellenlänge kommt.

S: Hier habe ich mich dunkel an einen Plot aus dem Demtröder erinnert und eben diese abfallende Kurve gezeichnet, die das Bremsspektrum darstellt, und einzelne Spitzen, die die charakteristische Röntgenstrahlung ist. Bei der x-Achsenbeschriftung war ich überfordert und habe gegambelt. Hab Frequenz hingeschrieben, aber das war falsch, habe es dann zu Wellenlänge korrigiert.

W: Für welche Wellenlängen gibt es also mehr Röntgenstrahlung? (irgendwie so)

S: Für kurze Wellenlängen. Da ist die Kurve ja höher.

W: Gut. (Hat irgendwie eine Überleitung zum Bohrschen Atommodell gemacht beziehungsweise hat dann auch recht schnell nach der heutigen Methode gefragt, wie man Atomorbitale berechnet).

S: Exakt kann man das nur für das Wasserstoffatom machen mit der Schrödingergleichung.

W: Schreiben sie mal hin.

S: Ich schreibe die stationäre Schrödingergleichung auf und erkläre die Terme.

W: Was ist der Unterschied zur normalen Schrödingergleichung?

S: Diese ist zeitabhängig. Man kann durch die Multiplikation der SSG mit dem Zeitentwicklungsoperator die allgemeine SG bekommen.

W: Was für eine Art von Gleichung ist die SSG?

S: Das ist ein Eigenwertproblem.

W: Sehr gut. Was ist das Besondere an dem Problem, dass es für uns lösbar wird?

S: Das Coulomb Potential macht das Problem radialsymmetrisch und somit zu einem Zweikörperproblem im Zentralfeld, welches exakt lösbar ist. Man teilt dann die SSG in Schwerpunkts- und Relativkoordinaten auf. Die Lösung von ersterem sind einfach Wellenpakete. Interessanter wird es bei den Relativkoordinaten die die Bewegung der beiden Teilchen umeinander beschreiben. Habe kurz die SSG in Relativkoordinaten aufgeschrieben.

W: Wie löst man diese nun?

S: Man geht in Kugelkoordinaten. Man bekommt also drei Variablen, die beiden Winkel und den Abstand  $r$ . Durch einen Separationsansatz löst man den Winkelanteil getrennt vom Radialanteil. Dadurch bekommt man dann Kugelflächenfunktionen und die Radialfunktionen, die multipliziert die Wellenfunktion des Wasserstoffatoms geben. Habe das hingeschrieben.

W: Was sind diese Buchstaben? ( $n, l, m$ )

S: Das sind die Quantenzahlen (Hauptquantenzahl mit  $n \geq 0$ , Nebenquantenzahl  $0 \leq l \leq n-1$ , Magnetquantenzahl  $-l \leq m \leq l$ ). Quantenmechanisch entsprechen sie den Operatoren, welche Erhaltungsgrößen sind. Also  $n$  entspr. dem Hamiltonian,  $l$  entspricht  $L^2$  und  $m$  entspricht  $L_z$ .

W: Warum ausgerechnet  $L_z$ ?

S: Das ist nur Konvention. Es muss eine Komponente des Drehimpulses sein.

W: Richtig.

S: Außerdem ist noch  $L_x^2 + L_y^2$  erhalten was für eine Drehimpulspräzession sorgt (habe die Skizze hier aufgezeichnet).

W: Was ist der Eigenwert von  $L_x^2 + L_y^2$  ?

S:  $L_x^2 + L_y^2 = L^2 - L_z^2 = \hbar^2 l(l+1) - \hbar^2 m^2$

W: Gut. Was sind die Energien für das H-Atom?

S:  $-Ry/n^2$

W: Hier hat er gemeint, ob ich sicher bin mit dem  $n^2$  oder es nicht doch  $n$  war. Habe gesagt, dass ich mir ziemlich sicher bin mit  $n^2$  (Er wusste es selbst nicht genau). Was heißt es nun, dass die Energie nur von  $n$  abhängt?

S: Das bedeutet eine Energieentartung. Es gibt mehrere Zustände mit derselben Energie. Der Entartungsgrad ist gerade  $n^2$  bzw.  $2n^2$ , wenn man den Spin berücksichtigt.

W: Wie füllt man jetzt so Orbitale auf?

S: Allgemein macht man das mit dem Pauli Prinzip und den Hund'schen Regeln. Könnte ich das an einem Beispiel zeigen?

W: Nehmen wir mal Kohlenstoff.

S: Okay. Also Kohlenstoff hat  $1s^2 2s^2$  und  $3p^2$ . Habs dann aufgezeichnet und erklärt.

W: Was besagt das Pauli Prinzip?

S: Zwei Fermionen können sich niemals in allen Quantenzahlen gleichen.

W: Wissen Sie auch warum das gelten muss?

S: Weil sie sonst nicht mehr unterscheidbar wären.

W: Ja quasi. Sagt ihnen Satz von Liouville was?

S: Joa aus Theo aber kann dazu gerade nichts sagen.

W: Also da geht's darum dass die Fläche im Phasenraum erhalten ist. Wissen sie was die Koordinaten des Phasenraums sind?

S: Impuls und Ort.

W: Genau, konjugierter Ort und kanonischer Impuls (Oder so). Das Fermion nimmt dann einen Punkt in diesem Phasenraum ein. Dementsprechend kann an diesem Punkt kein anderes Fermion mehr sitzen.

S: Ja macht Sinn.

W: Gilt das Pauli Prinzip auch für Bosonen?

S: Nein, es könnten beispielsweise alle Bosonen eines Systems im Grundzustand verharren während Fermionen die Niveaus von unten nach oben füllen würden.

(Bin mir hier nicht sicher, ob er gefragt warum es für Bosonen nicht gilt, aber glaube nicht.)

Irgendwie kam die Frage was der Unterschied zwischen Fermionen und Bosonen.

S: Fermionen haben halbzahliges Spin und Bosonen ganzzahliges Spin.

W: Nennen sie mal ein Boson

S: Photon.

W: Genau das wollte ich. Wie beschreibt man es mathematisch?

S: Ebene Welle. Aufgeschrieben. Gesagt, dass es im ganzen Raum definiert ist aber die Aufenthaltswahrsch. nicht konstant ist im ganzen Raum.

W: Was ist die Dispersionsrelation?

S: Hab die erstmal verkackt doch mit einem kleinen hint hab ich dann  $E = \hbar \omega$  geschrieben (aber schon peinlich).

W: Ist das Photon nun ein Teilchen?

S: Habe mit Welle-Teilchen-Dualismus argumentiert.

W: Naja, eigentlich ist da nicht so klar. Hier meinte er, dass das Photon ein Quasiteilchen sei.

- S: Hier war ich bisschen lost, weil ich mich damit nicht auseinandergesetzt hatte. Habe gesagt, dass ich das nicht so genau verstehe, aber gesagt, dass Phononen auch Quasiteilchen mit nur einem Quasiimpuls sind. Sind dann irgendwie zu diesem Thema gedriftet. Habe erklärt was ein Quasiimpuls ist, und was ein Quasiteilchen ausmacht. Hab aber nicht gesehen, warum dann ein Photon ein Quasiteilchen ist, glaube das gab gut Abzug.
- Sind dann eben bei Phononen hängen geblieben und hab halt erzählt, dass das mathematische Konstrukt der Phononen analog zu dem der Photonen ist (ist ganz gut im Gross & Marx erklärt).
- W: Wie sieht denn die Dispersion aus von so einem Phonon?
- S: Lineare monoatomare Kette nehmen und die Bewegungsgleichung lösen bekommen wir  $\omega^2 \sim \sin^2$ . Hab den Plot hingezichnet und erklärt, was die erste Brillouin Zone ist und warum es physikalisch nur Sinn macht auch nur dieses zu betrachten (die Schwingungen zwischen den Gitterpunkten interessieren uns nicht, weil wir sie eh nicht sehen können).
- W: Wie kommt man auf das  $\omega^2 \sim \sin^2$ ?
- S: Man sieht das Ganze als punktförmige Teilchen, die mit Federn verbunden sind und dann halt ausgelenkt werden. Also mathematisch dann Bewegungsgleichungen aufstellen und beim Lösen dann nur auf die Wechselw. von direkt benachbarten Atomen beschränken.
- W: Genau. Wie sieht die Dispersionsrelation am Ursprung aus?
- S: Sie ist linear da wir für kleine  $k$  den Sinus Kleinwinkelnähern können.
- W: Was haben wir am Rand der Brillouin Zone?
- S: Da haben wir stehende Wellen, weil die Gruppengeschwindigkeit da null ist. Rechnerisch ergibt sich das aus der Überlagerung von  $e^{ik}$  und  $e^{-ik}$  und somit dann sinus oder cosinus.
- Hier wollte er noch bisschen was über Gruppen und Phasengeschwindigkeit wissen und das eben am Ursprung die beiden gleich sind. Außerdem wollte er hören, dass Phononen eben die Ausbreitung des Schalls zu (deswegen auch akustischer Zweig), wenn man die longitudinale Schwingung betrachtet. Da hab ich es mir bisschen schwer getan.
- W: Wie sieht das bei einer zweiatomigen Basis aus?
- S: Da bekommen wir mehrere Lösungen. Habe in die vorherige Skizze noch den optischen Zweig eingezeichnet und erklärt was dieser ist, also gegenphasige Schwingung, führt zu Dipolmomenten die optische Effekte erzeugen.
- W: Okay. Wir haben wenig Zeit übrig. Wollen wir noch weiter über Ex5 reden oder sollen wir noch was zu Ex6 machen?
- S: Ich würde gerne über Ex6 reden.
- W: Alles klar. Bei Ex5 hätte ich noch über die Boltzmannkonstante und die Glühkathode geredet. Welche Elementarteilchen kennen Sie?
- S: Hab halt angefangen und bin zu Quarks gekommen. Ich sollte dann was zu der Anzahl der Quarks sagen und welche Ladungen bzw. Erhaltungsgrößen es da gibt. Also elektrische Ladung, Farbladung und schwache Ladung bzw. schwacher Isospin.
- W: D.h. also es gibt weitaus mehr als 6 Quarks aufgrund dieser ganzen Unterscheidungen.
- S: Habe im Laufe der Erklärung für die starke WW die Gluonen erwähnt.
- W: Wie viel Gluonen gibt es denn?
- S: Dadurch, dass sie Farbladung haben koppeln sie aneinander und gruppentheoretisch gibt es ein Oktett und ein Singulett. Jedoch ist das Singulett farbneutral, was eine unendliche Komponente der starken WW voraussagen würde, falls dieses eben existiere. Da dem nicht so ist, existiert es auch nicht, also gibt es 8 Gluonen (nur das Oktett).
- Habe dann im Zuge dessen, dass er meinte es gebe viel mehr als 6 Quarks noch die Wechselwirkungszustände der Quarks erklärt, also  $d'$ ,  $s'$  und  $b'$ .
- W: Genau richtig. Eine letzte Frage: In was zerfällt ein  $\pi^-$ ?
- S: Es zerfällt hauptsächlich in ein Myon und Antimyonenneutrino oder Elektron und Antielektronenneutrino.
- W: Kennen sie das Verhältnis der Zerfälle?
- S: Der Zerfall in ein Elektron ist um den Faktor  $1/8000$  unterdrückt.
- W: Ja genau richtig. Also eigentlich zerfällt es nur in ein Myon. Zeichnen sie mal noch das Feynman Diagramm von dem Zerfall.
- S: Hab erst die antiup und down Linien parallel gezeichnet, hab dann gemerkt dass da zu nix führt und habs dann nochmal verbessert. Also antiup und down werden zusammen zu einem W und dieses zerfällt weiter in das Myon und das Antimyonenneutrino. Über die elektrische Ladung hab ich mir hergeleitet, dass das W-Boson ein  $W^-$  sein muss.
- Ende