Fach: Experimentelle Physik		
PrüferIn: Wolf		
☒ BP ☐ NP ☐ SF ☐ EF ☐ NF ☐ LA	Datum: 14. September 2023	Fachsemester: 6
Welche Vorlesungen wurden geprüft? Ex4, Ex5, Ex6 (fast gar nicht)		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Keine		

Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -
Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
Verwendete Literatur/Skripte: Ex 4: Demtröder-Atomphysik (Keine Empfehlung) Ex 5: Gross und Marx, Simon-Solid State Basics Ex 6: Povh, Griffiths-Elementary Particles
Dauer der Vorbereitung: 6 Wochen
Art der Vorbereitung: Die Bücher durcharbeiten (alleine)
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Vor allem die Basics in Ex 4 (v.a. Franck-Hertz-Versuch, Photoeffekt und generell Streuexperimente) sollten sitzen.

Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Mega entspannt! Wolf ist ein mega lockerer Typ, sodass es sich eigentlich nicht wie eine Prüfung angefühlt hat, sondern eher wie ein entspanntes Gespräch.
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Hat nachgeholfen, die Frage anders gestellt und Tipps gegeben.
Kommentar zur Prüfung: Er wollte eigentlich nur 45min abfragen (warum auch immer). Am Ende waren es dann doch knapp über 60min.
Kommentar zur Benotung: 1.0. Habe erwartet, dass mir meine Fehler während der Prüfung negativ angerechnet werden. Er meinte aber, dass es ihm sehr gefallen hat, wie ich mir die Dinge hergeleitet habe. Er legt wohl viel Wert auf ein physikalisches Verständnis hat er gesagt.
Die Schwierigkeit der Prüfung: Wolf meinte selbst, dass er bei mir mal etwas anders gefragt hat und nicht die Standardfragen stellen wollte. Dementsprechend muss man schon ein tiefes Verständnis der Themen haben.

Die Fragen

W: Wolf

S: Student

W: Einer der ersten und vielleicht bedeutendsten Versuche zur Quantenhypothese ist der Photoeffekt. Erklären Sie den bitte.

S: Aufbau mit Metallplatte, einfallendes Licht und Anode erklärt. Auf Nachfrage skizziert. Charakterist. Diagramm (Energie über Spannung) aufgezeichnet und erklärt. (Hat hier zuerst durch Aufregung statt der Energie den Strom auf der y-Achse).

W: Bewirkt eine Steigerung der Lichtintensität eine Erhöhung des Stroms?

- S: Oberhalb der Grenzfrequenz ja, unterhalb nicht.
- W: Müsste dann die Steigung der Gerade nicht steiler werden?
- S: Ab dem Punkt habe ich dann gesehen auf was er hinaus will und habe I zu $E_{\text{kin,max}}$ auf der y-Achse geändert. Daraufhin den richtigen Strom-Spannungs-Graphen gezeichnet und erklärt.
- W: Was war nun das Bahnbrechende an dem Versuch?
- S: Licht verhält sich nicht wie klassisch zu erwarten, dass eine Erhöhung der Intensität bei beliebiger Wellenlänge den Strom erhöht, sondern erst ab einer Grenzfrequenz können Elektronen aus dem Material ausgeschlagen werden. Dies kann damit erklärt werden, dass Licht in Form von gequantelten Energiepakete (Photonen) vorliegt.
- W: Ein weiterer wichtiger Versuch ist der Franck-Hertz Versuch. Was passiert da?
- S: Groben Aufbau mit Glühkathode, monoatomares Gas mit geringem Druck (habe Hg genommen) und Beschleunigung und Gegenspannung skizziert. Außerdem Strom-Spannungs-Graphen mit Peaks und Minima gezeichnet. Hierbei erwähnt, dass bis 4.9eV nur elastische Stöße der Elektronen mit den Hg-Atomen möglich sind und ab 4.9eV auch inelastische Anregungen der diskreten (Bohrschen-) Energieniveaus im Atom möglich sind.
- W: Fällt der Strom in den Minima bis zu 0 ab?
- S: Hierbei zuerst die Verbreiterung der Peaks durch thermische Bewegung der Hg-Atome erklärt und aus der Not hinaus gesagt, dass dies auch die Minima erklärt. Ich habe mich aber sofort korrigiert und erklärt, dass Elektronen mit 4.9eV nicht sofort mit den Hg-Atomen inelastisch stoßen, sondern es eine mittlere freie Weglänge gibt. Damit können auch Elektronen mit über 4.9eV an der Anode beobachtet werden.
- W: Inwiefern unterscheiden sich denn elastische und inelastische Stöße hier?
- S: Fälschlicherweise erst behauptet, dass bei elastischen Stößen die Energie des Elektrons und des Hg-Atoms gleich blieben. (Allgemein habe ich hier viel Stuss erzählt. Ich kann mich aber nicht mehr an alles erinnern. Habe kurzerhand auch irgendwas bei inelastischen Stößen behauptet, welches die I g verletzen würde.)
- W: Das heißt, dass hier bei elastischen Stößen keine Energie übertragen wird?
- S: Habe daraufhin gemeint, dass zwar Energie übertragen wird, diese aber ziemlich gering ist wegen der großen Masse des Hg-Atoms und habe dies an der Formel $E' = E / (1 + E / (Mc^2) * (1 - \cos\theta))$ erklärt (E ist Energie des Elektrons vor dem Stoß und E' danach, M ist die Masse des Hg-Atoms).
- W: Also wird beim elastischen Stoß doch Energie übertragen. Stellen Sie sich zwei Kugeln gleicher Maße vor, die elastisch stoßen. Ist die eine in Bewegung und die andere ruht, so ruht daraufhin die erste und die zweite bewegt sich.
- S: (Erst hier habe ich meinen anfänglichen Fehler verstanden und mich korrigiert.)
- W: Und wie sieht das nun bei inelastischen Stößen aus?
- S: Im Gegensatz zu elastischen Stößen ist hier die kinetische Energie nicht erhalten und ein Teil davon wird in potentielle Energie (bzw. innere Energie) umgewandelt. Das Quecksilberatom wird durch den Stoß auf ein höheres Energieniveau angeregt.
- W: Genau. Meine Kinder spielen gerne mit Knete. Wenn die Knetballen miteinander stoßen, dann kleben sie danach zusammen und die kinetische Energie wird zur Verformung aufgebracht. Die kinetische Energie ist also danach in der Knete enthalten. Dies ist hier genauso, da danach die kinetische Energie im Quecksilberatom enthalten ist. Können Elektronen überhaupt inelastisch stoßen?
- S: (War hier kurz verwirrt, worauf seine Frage abzielt.) Wollen Sie darauf hinaus, dass Elektronen punktförmig sind?
- W: Ja, richtig!
- S: Wenn ich mir eine Teilchenkollision wie einen klassischen Stoß zweier Kugeln vorstelle, dann kann ich einen inelastischen Stoß eigentlich nur erhalten, wenn sich die Kugeln deformieren können.
- W: Exakt, durch die fehlende innere Struktur des Elektrons kann dieses nicht wie das Quecksilberatom auf ein höheres Energieniveau angeregt werden. Also ist ein Stoß nur elastisch möglich. (Hier haben wir noch ein wenig darüber diskutiert inwiefern der Stoß mit einem Hüllenatom des Quecksilbers als inelastisch bezeichnet werden kann. Er hat auch kurz tiefinelastische Streuung in diesem Kontext erwähnt. Zeichnen Sie doch mal, wie sich Bohr ein Atom vorgestellt hat.)
- S: 2-dimensionale Kreisbahn um Kern skizziert und Quantelung des Drehimpulses bzw. der Wellenlänge erklärt.
- W: Kommen wir nochmal zurück zum Franck-Hertz Versuch. Welches Elektron wird angeregt und wie sieht der Übergang aus?
- S: Zeichne einen Pfeil vom einem Elektron in der äußersten besetzten Schale in die nächste unbesetzte.
- W: Ist es nicht dieser Übergang? (Zeichnet Pfeil vom innersten Elektron nach außen)
- S: Wenn ich mich richtig erinnere, war es der Übergang 6S->6P.
- W: Richtig, Franck und Hertz haben das ursprünglich falsch angenommen. Sie dachten, dass Sie nicht eine Anregung der (Bohrschen-) Energieniveaus beobachten, sondern die Ionisationsenergie messen würden. Sie glaubten nicht an das Bohrsche Atommodell. Ist der angeregte Zustand stabil?
- S: Nein, das Atom fällt nach kurzer Zeit zurück in den Grundzustand und emittiert ein Photon dabei.
- W: Welche Farbe hat das?
- S: (Wollte hier anfangen die Wellenlänge auszurechnen)

W: Ich glaube Ihnen, dass sie das können. Lila hätte mir gereicht. Wenn ich nun Photonen in das Gas einstreue, beobachte ich ja genau das Gegenteil. Anstatt dass ich einzelne feine Linien der Emission sehe, habe ich schmale Linien der Absorption. Was passiert hier?

S: Das Photon wird vom Atom absorbiert und auf dasselbe Energieniveau angeregt.

W: Aber wir haben doch gerade gesagt, dass dieser Zustand instabil ist. Beim Zerfall müsste also ein Photon gleicher Wellenlänge emittiert werden. Warum beobachte ich das nicht?

S: Die Emission ist isotrop in alle Raumrichtungen.

W: Genau! Was passiert, wenn ein Elektron auf einer Kreisbahn ist? Dreht es sich dort für immer?

S: Nein, das Elektron sollte eigentlich Synchrotronstrahlung abstrahlen, damit Energie verlieren und schlussendlich in den Kern fallen.

W: Wenn sie schon Synchrotronstrahlung erwähnen, zeichnen sie doch mal eine Antenne und sagen in welche Richtung elektromagnetische Wellen abgestrahlt werden.

S: Habe einen Hertzschens Dipol gezeichnet und gesagt, dass eine Abstrahlung nur senkrecht zur Antenne möglich ist.

W: Genau! Wenn sie jetzt Angst vor Strahlung haben, wo würden sie sich dann positionieren?

S: An den Enden bzw. auf der Geraden durch die Enden, da dort im Idealfall gar keine Strahlung abgestrahlt wird.

W: Wenn Sie unter einer Hochspannungsleitung stehen, sind Sie dann Strahlung ausgesetzt und wenn ja ist diese gefährlich? Ich meine wenn es anfängt zu knistern und ich stehe unter einer Leitung, dann ist mir auch ein wenig unwohl.

S: Analog zum Hertzschens Dipol sind wir dort elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt. Sonderlich gefährlich kann das aber nicht sein, sonst würde man die Leitungen ja höher bauen.

W: Haha, ja so kann man das sagen. Wie nimmt denn die Intensität mit dem Abstand ab?

S: Puh, wenn ich mich richtig erinnere war das $1/r^3$?

W: Nicht ganz, es ist $1/r$ (Hier meinte er glaube ich die Feldstärken und nicht die Intensität. $1/r^3$ ist im Nahfeld, das habe ich durcheinandergebracht). Wir müssen uns also keine Sorgen unter Hochspannung machen. In welche Richtung wird die Synchrotronstrahlung abgestrahlt?

S: Aufgrund der relativistischen Geschwindigkeit ist das Maximum in Vorwärtsrichtung und die Abstrahlung ist tangential.

W: Welche Erklärung hatte Bohr dafür, dass Atome dennoch stabil sind?

S: Dass der Drehimpuls gequantelt ist, und damit durch die Drehimpulserhaltung nur stabile Kreisbahnen erlaubt sind. Eine Spiralbahn in den Kern wäre somit verboten.

W: Tatsächlich hatte er gar keine Erklärung dafür. Es ist einfach ein Postulat. Wie macht man das denn richtig?

S: Man muss die Schrödingergleichung lösen.

W: Schreiben Sie die doch mal für das Wasserstoffatom hin.

S: Die zeitabhängige oder die zeitunabhängige?

W: Das überlasse ich Ihnen, wie sie wollen.

S: Schreibe die zeitabhängige Schrödingergleichung in der Form $i\hbar d\Psi/dt = H\Psi$ hin.

W: Das ist jetzt so eine Theoretikerschreibweise. Da müssen Sie mir schon sagen, was das H ist.

S: Als kinetischen Term und Coulomb Potential ausgeschrieben.

W: Welche besondere Eigenschaft hat jetzt das Coulomb Potential?

S: Es ist kugelsymmetrisch. Das heißt wir können eine Separation in einen Radialanteil und einen Winkelanteil machen und so die SG lösen. Der Winkelanteil ist hierbei durch die Kugelflächenfunktionen gegeben.

W: Zeichnen Sie mir doch mal zwei Orbitale.

S: Fange an den Radialanteil zu skizzieren...

W: Erstmal nur den Winkelanteil.

S: Skizziere das $1s$ und das $2p$ Orbital.

W: Und wie sieht der Radialanteil dafür aus?

S: Skizziere diesen. Er unterbricht und meint, dass der Radialanteil doch nicht durch die Quantenzahl l beeinflusst werden sollte. Ein $2s$ Orbital also den gleichen Radialanteil wie ein $2p$ Orbital haben müsste. (Dem sollte aber nicht so sein, da der Radialanteil von n und l abhängt.)

W: Man spricht in diesem Kontext auch von „guten Quantenzahlen“. Was bedeutet das?

S: Das bedeutet, dass sie Erhaltungsgrößen sind. Also die dazugehörigen Operatoren mit dem Hamiltonoperator kommutieren.

W: Wenn wir den Spin des Elektrons berücksichtigen, dann haben wir ja auch höhere Korrekturen zur Wasserstoffenergie. Wie sieht denn diese Spin-Bahn-Kopplung aus?

S: Der Term ist proportional zu $L \cdot S$.

W: Genau. Ist das auch eine Erhaltungsgröße?

S: Wir können den Term schreiben als $L \cdot S = 1/2(J^2 - S^2 - L^2)$ mit dem Gesamtdrehimpuls $J = L + S$. Da das alles Erhaltungsgrößen sind ist also auch $L \cdot S$ erhalten.

W: Wenn wir jetzt ein Atom haben. Wie werden dann die Orbitale besetzt? Damit ich selbst nicht durcheinandergerate nehmen wir mal Sauerstoff.

- S: Für größere Ordnungszahlen brauchen wir die Madelungsregel. Da Sauerstoff nur die Ordnungszahl 8 hat, ist es hier aber relativ einfach. Die Orbitale werden gemäß der Hundschen Regel (erklärt) besetzt, sodass die Elektronenkonfiguration $1s^2 2s^2 2p^4$ ist.
- W: Warum kann ich nur zwei Elektronen in ein Orbital packen?
- S: Das liegt am Pauli-Prinzip. Die Gesamtwellenfunktion muss antisymmetrisch sein, da Elektronen Fermionen sind. Deshalb dürfen nicht alle Quantenzahlen gleich sein. In einem Orbital sind aber alle Quantenzahlen identisch außer m_s (Ausrichtung des Spins). Da es hierfür zwei Möglichkeiten $+1/2$ und $-1/2$ gibt, kann man zwei Elektronen in ein Orbital packen.
- W: Das ist doch eigentlich ganz intuitiv. Im Phasenraum darf jeder Ort nur von einem Elektron besetzt sein. Was ist sonst?
- S: Dann sind sie ununterscheidbar.
- W: Richtig. Kommen wir zurück zum Sauerstoffatom. Was machen diese zwei einzelnen Elektronen in den $2p$ Orbitalen?
- S: Sie bilden Moleküle, also eine Doppelbindung. (Hat mich hier auch noch gleich nach Bindung mit Wasser gefragt und wie das Wassermolekül aussieht.)
- W: Hier haben wir ja eine kovalente Bindung. Was ist eine ionische Bindung?
- S: Ionische Bindungen haben wir in Salzen. Hierbei ist die Elektronegativität der beteiligten Atome so unterschiedlich, dass das eine praktisch seine Elektronen an das andere abgibt. Hierbei entstehen dann Kristallgitter.
- W: Wenn ich ein Kristall in Wasser gebe, wird dieser dann gelöst?
- S: Ja, da das Wassermolekül polar ist (Sauerstoff praktisch zweifach negativ geladen und die Wasserstoff positiv).
- W: Und was ist, wenn ich Öl in Wasser gebe?
- S: Das wird nicht gelöst, da Öl apolar ist.
- W: Und wenn wir schon dabei sind. Was sind Tenside?
- S: Auf der einen Seite polar und auf der anderen Seite apolar. Sie können damit dafür sorgen, dass sich apolare und polare Stoffe vermischen, also Fette in Wasser gelöst werden. (Da hat sich Chemie auch mal gelohnt.)
- W: Machen wir einen Themenwechsel. Wie funktioniert eine Röntgenröhre?
- S: Elektronen werden auf eine Metallplatte geschossen. In dieser können sie Elektronen aus den inneren Schalen heraus schlagen, wobei in diese Löcher dann Elektronen „hinunterkaskadieren“. Es werden dabei charakteristische Photonen emittiert, die im Röntgenbereich sind und deren Wellenlänge vom Material abhängt.
- W: Welche Strahlung wird noch emittiert? Zeichnen Sie doch mal ein solches Spektrum.
- S: (Habe den Plot für die Intensität über die Photonenfrequenz gezeichnet.) Es wird zusätzlich Bremsstrahlung durch die Ablenkung der Elektronen im Material frei. Außerdem gibt es noch Lilienfeldstrahlung, über die kann ich aber nichts sagen.
- W: Gut, ich auch nicht. Welche Arten von Energieverlusten von Elektronen beim Durchgang in einem Material gibt es?
- S: Bremsstrahlung, Ionisierung, Elastische und inelastische Stöße mit den Atomen (Habe bestimmt irgendwas vergessen.)
- W: Kommen wir zu einem Teilchendetektor. Zeichnen sie den doch mal und sagen in welchen Bereichen welche Art von Energieverlust überwiegt.
- S: (Ganz ehrlich. Hatte keine Ahnung von Teilchendetektoren. Ich habe mich da irgendwie durchgemogelt und eigentlich nur geraten. Er hat sehr stark geholfen und nach einigen nicht beantworteten Fragen sind wir dann auch zum nächsten Thema übergegangen.)
- W: Machen wir ein bisschen Festkörperphysik. Was ist eine Dispersionsrelation.
- S: Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenzahl bzw. Energie und Impuls, z.B. $w=ck$ für Photonen und $E=\hbar^2 k^2/2m$ für freie Elektronen.
- W: Hier kann man zwei verschiedene Geschwindigkeiten für ein Teilchen definieren. Welche sind das?
- S: Man kann die Phasengeschwindigkeit $v_{ph}=w/k$ und die Gruppengeschwindigkeit $v_g=dw/dk$ definieren. Im Fall von Photonen sind diese gleich.
- W: Für relativistische Teilchen. Welche Relation gilt dort?
- S: Da haben wir die relativistische Energie-Impuls-Beziehung $E^2=(pc)^2+(mc^2)^2$.
- W: Was ist der Unterschied zu der Relation für freie Elektronen $E=\hbar^2 k^2/2m$?
- S: Für nichtrelativistische Geschwindigkeiten reduziert sich die relativistische Energie-Impuls-Beziehung auf $E=p^2/2m$ wie klassisch zu erwarten.
- W: Welches Problem haben wir denn im relativistischen Fall? Dort haben wir ja die Größen zum Quadrat?
- S: Wenn wir dort die Energie schreiben als $E=\sqrt{(pc)^2+(mc^2)^2}$, dann haben wir die Wurzel aus dem Nabla-Operator und das ist nicht gut.
- W: Warum ist das schlimm?
- S: Wir können eine Reihenentwicklung der Wurzel vornehmen und erhalten unendlich hohe Potenzen des Nabla-Operators (Damit sind Raum und Zeit nicht mehr gleich in der Schrödingergleichung, da wir eine einfache Zeitableitung auf der einen und unendlich hohe Ortsableitungen auf der anderen Seite haben.)

W: Genau, und deswegen brauchen wir eine neue Gleichung, was dann schlussendlich zur Dirac-Gleichung führt. Zeichnen Sie doch mal die Dispersionsrelation für freie Elektronen.

S: Habe daraufhin mehrere verschobene Parabeln skizziert und die 1. Brillouinzone eingezeichnet (Erstmal doppelt so groß, daraufhin hat er mich korrigiert.)

W: Und wenn wir dann einen Festkörper betrachten, entstehen diese Bandlücken (zeichnet sie in dem Plot ein. Hat dann noch eine passende Überleitung zu Phononen gemacht.)

S: Habe zuerst gesagt, dass Schwingungen des Gitters gequantelt sind und man diese als Quasiteilchen (Phononen) interpretieren kann. Er hat dann nach der Dispersionsrelation gefragt und war begeistert, dass ich diese kenne (Anscheinend hatte er nicht erwartet, dass man die Proportionalität $|\sin(ka/2)|$ im eindimensionalen Fall kennt.) Habe dabei den akustischen und den optischen Zweig eingezeichnet.

W: Warum heißt der eine akustisch und der andere optisch?

S: Hierbei hat ihm meine Erklärung glaube ich nicht ganz gereicht. Ich habe argumentiert, dass der akustische Zweig die Eigenschaften einer Schallwelle hat, da w für $k \rightarrow 0$ gegen 0 geht und Gruppen- und Phasengeschwindigkeit für $k \rightarrow 0$ identisch sind. Beim optischen habe ich die Dispersionsrelation von Photonen eingezeichnet und den Schnittpunkt mit dem optischen Zweig als mögliche Absorption interpretiert. (Er wollte wohl auf die gleichphasige und gegenphasige Schwingung der Zweige hinaus. Er meinte hierbei, dass der optische Zweig eine transversale Schwingung sei. Vielleicht habe ich ihn hier aber auch falsch verstanden.)

W: Wie bestimmt man die Phasen- und Gruppengeschwindigkeit des akustischen Zweiges?

S: Man kann für kleine k den Sinus als Gerade nähern und sieht dann, dass $v_{ph} = v_g$.

W: Erzählen sie mir was über den p-n-Übergang.

S: Haben wir einen Halbleiter wie z.B. Silizium, so können wir einzelne Atome durch Donatoren (bspw. Bor) und Akzeptoren (bspw. Phosphor) ersetzen. Hierdurch erhalten wir zusätzliche freie Elektronen oder Elektronenfehlstellen. Ein p-n-Übergang ermöglicht nun, dass Strom nur in eine Richtung (Durchlassrichtung) fließen kann und in Sperrrichtung nicht betrieben werden kann.

W: Wie muss ich die Spannungsquelle für die Durchlassrichtung gepolt sein?

S: Hmm, da muss ich immer erstmal überlegen...

W: Gut, ich auch!

S: (Nach ein wenig überlegen:) Der positive Pol muss an die p-Schicht angeschlossen sein. (Mussten hier noch kurz überlegen, ob das wirklich richtig ist.)

W: Warum haben wir eine Durchlassrichtung und eine Sperrrichtung?

S: Erklärt wie die Raumladungszone und Diffusion der Ladungsträger in den anderen Bereich entsteht und warum die Elektronen in Sperrrichtung gegen die Potentialdifferenz ankämpfen müssen. (Wollte hier nochmal den Bogen zu Detektoren spannen und was mit Elektronen passiert, welche durch das Raumladungsgeladen fliegen... Aber wie schon gesagt, hatte keine Ahnung von Detektoren.)

W: Wir sprechen bei Metallen ja von freien Elektronen. Das ist doch eigentlich nicht ganz richtig... Sie sind ja an die Atomrümpfe gebunden?

S: Hier habe ich etwas mit der Fermi-Dirac-Verteilung durcheinandergebracht und erst gemeint, dass diese sehr verschmiert sei. Hat mich dann korrigiert, dass sie besonders scharf ist. Wollte wahrscheinlich darauf hinaus, dass man bei Metallen Elektronen leicht im Leitungsband anregen kann. Hatten aber schon das Thema gewechselt.

W: Wie ist denn die Fermi-Temperatur eines Metalls?

S: So um die 70000K für Kupfer, also sehr hoch.

W: Genau, das bedeutet, dass wir sehr viele schon besetzte Zustände haben. Wie schnell ist denn die Fermi-Geschwindigkeit der Elektronen?

S: So um die 1% der Lichtgeschwindigkeit?

W: Den genauen Wert weiß ich jetzt nicht, aber auf jeden Fall sehr hoch. Wie schnell sind die Elektronen in einem Draht, wenn man sie durch ein elektrisches Feld beschleunigt?

S: Auf jeden Fall viel langsamer. Ich würde mal 1cm/s Sekunde sagen.

W: Ich glaube es sind sogar noch viel weniger. Ein paar Mikrometer pro Sekunde. Aber schauen Sie das lieber nochmal nach!

(Daraufhin hat er mich gebeten vor der Tür zu warten und hat mich im Anschluss nach meiner Selbsteinschätzung gefragt. Wegen einigen Fehlern, die ich gemacht habe, hätte ich mir eine 1.3 gegeben. Er hat sich sehr über die realistische Einschätzung gefreut und hat mir dann doch die 1.0 gegeben.)