

Schriftliche Abiturprüfung 2015

Leistungskurs Physik

Freitag, 24. April, 9.00 Uhr

Unterlagen für die Prüfungsteilnehmerinnen und -teilnehmer

Allgemeine Arbeitshinweise

- Tragen Sie bitte oben rechts auf diesem Blatt und auf den nachfolgenden Aufgabenblättern die Schulnummer, die schulinterne Kursbezeichnung und Ihren Namen ein.
- Schreiben Sie auf alle Entwurfsblätter (Kladde) und die Reinschrift Ihren Namen.
- Versehen Sie Ihre Reinschrift mit Seitenzahlen.

Fachspezifische Arbeitshinweise

- Die Arbeitszeit beträgt 240 Minuten.
 - Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner.
-

Aufgaben

- Sie erhalten zwei Aufgaben zur Bearbeitung.
- Überprüfen Sie bitte zu Beginn die Vollständigkeit der vorgelegten Aufgaben (Anzahl der Blätter, Anlagen, ...).
- Vermerken Sie in Ihrer Reinschrift, welche Aufgabe Sie jeweils bearbeiten.

Aufgabe 1

Themenbereich: Magnetische Felder

Elektronen sind so unvorstellbar klein und massearm, dass man sie auch mit einem extrem guten Mikroskop oder einer sehr genauen Waage nicht registrieren kann. Deshalb macht man sich die Eigenschaften eines Fadenstrahlrohrs zunutze.

Abb.1a: Fadenstrahlrohr mit
Helmholtz-Spulenpaar

Abb. 1b: Prinzip eines
Fadenstrahlrohrs. (Der
magnetische Feldvektor \vec{B}
zeigt aus der Bildebene
heraus.)

Die beiden Abbildungen wurden aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

(Quelle: Höfling Physik Bd.II Teil 2)

1.a Beschreiben Sie die Funktionsweise eines Fadenstrahlrohrs.

Nennen Sie zwei Gründe für die Verwendung eines Helmholtz-Spulenpaares beim Fadenstrahlrohr. (Hinweis: Auf eine Skizze kann verzichtet werden. Nutzen Sie die Abbildungen.)
(8 Punkte)

1.b Mit einem Fadenstrahlrohr und der bekannten Elektronenladung e kann man Auskunft über die Elektronenmasse m_e erhalten.

Gehen Sie dabei von folgenden Gleichungen aus:

$$\text{Energiegleichung: } e \cdot U_B = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$\text{Kraftgleichung: } \frac{m_e \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$

Erläutern Sie die beiden obigen Gleichungen.

Leiten Sie mithilfe dieser Gleichungen folgenden Ausdruck für die Elektronenmasse m_e her:

$$m_e = \frac{e \cdot B^2 \cdot r^2}{2U_B}$$

Berechnen Sie mit den folgenden Messwerten einen Mittelwert für die Elektronenmasse m_e :

U_B in V	150	200	250	250	250
B in mT	1	1	1	1,25	1,75
r in cm	3,8	5	5,2	4,4	2,9

Tabelle 1

Bei manchen Fadenstrahlrohren lässt sich der Elektronenstrahl nicht mehr so gut bündeln. Man sieht dann eine etwas divergente Leuchtspur und der Radius r der Kreisbahn im B - Feld hat einen Fehler von +/- 0,5 cm.

Berechnen Sie anhand der Messwerte in der letzten Spalte von Tabelle 1 den maximalen und den minimalen Wert für die Elektronenmasse m_e , der sich aus diesem Fehler ergibt.

(14 Punkte)

Freie Elektronen lassen sich im Vergleich zu makroskopischen Objekten auf viel höhere Geschwindigkeiten beschleunigen. Ab ca. 30% Lichtgeschwindigkeit gibt es allerdings merkbare relativistische Effekte. Die Auswirkungen dieser relativistischen Effekte werden hier nicht thematisiert. (Hinweis: Gehen Sie bei 1.c vom Literaturwert für die Elektronenmasse m_e aus.)

1.c Berechnen Sie die maximal mögliche Geschwindigkeit v_e , die die Elektronen durch die Beschleunigungsspannungen aus Tabelle 1 erreichen.

Geben Sie die Elektronengeschwindigkeit v_e als Bruchteil der Lichtgeschwindigkeit c an.

Schätzen Sie ab, ob die Geschwindigkeit v_e den relativistischen Bereich erreicht.

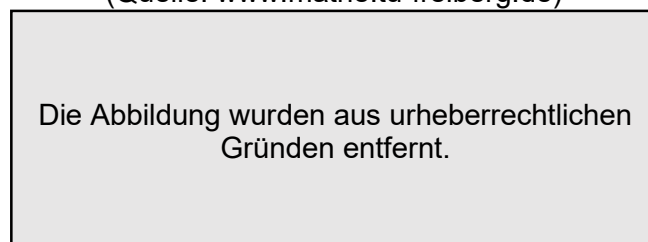
(5 Punkte)

Phoebe die Physikerin macht sich Gedanken über das Fadenstrahlrohr. Ihr fällt ein, dass die Elektronen im Fadenstrahlrohr sich ja im Schwerfeld der Erde befinden und deshalb „fallen“ müssten. Zur Kontrolle ihrer Vermutung legt Phoebe die Versuchsanordnung auf die Seite. Dann sollte wegen der Gravitation theoretisch eine Art spiralförmige Bahn nach unten entstehen (s.Abb.2).

(Hinweis: Die Tatsache, dass die Beschleunigungseinheit des Fadenstrahlrohrs im Weg steht soll hier unberücksichtigt bleiben.)

Abb.2 Spiralförmige Bahn (Prinzip stark überzeichnet dargestellt!)

(Quelle: www.mathe.tu-freiberg.de)



Angenommen, der Durchmesser d der Kreisbahn in Abb.2 beträgt $d = 10$ cm.

- 1.d Ermitteln Sie, ob man eine gemäß Abb.2 spiralförmige Bahn beobachten wird. Gehen Sie dabei von der Elektronengeschwindigkeit $v_e = 7,26 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ aus.

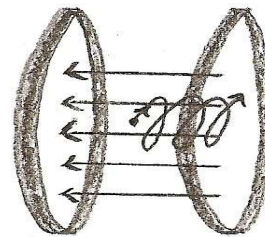
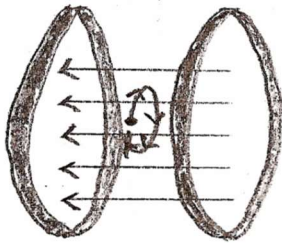
(9 Punkte)

Auch die Ablenkung von schnell fliegenden, geladenen Teilchen im Magnetfeld der Erde kann mit dem Fadenstrahlrohr modellhaft demonstriert werden: Dreht man die Röhre etwas gegenüber dem Magnetfeld der Helmholtz-Spulen und schießt die Elektronen nicht mehr senkrecht zum Magnetfeld ein, dann bewegen sich die Elektronen auf schraubenförmigen Bahnen wie in Abb.3 b):

Abb. 3a
 Senkrecht eingeschossener
 Elektronenstrahl

Abb. 3b
 Schräg eingeschossener
 Elektronenstrahl

(Die parallelen Pfeile nach links stellen jeweils das Magnetfeld dar.)



- 1.e Erläutern Sie die Ursache der schraubenförmigen Bahnen in Abb.3b. (6 Punkte)
- 1.f Die Abbildungen unten stellen das Phänomen „Magnetische Flasche“ dar: Sie kann geladene Teilchen eingefangen halten.

Die Abbildungen zeigen ein positiv geladenes Teilchen, das zu zwei verschiedenen Zeitpunkten dargestellt ist. Abb.4a) gibt schematisch einen Abschnitt der Bewegung vor. Gehen Sie davon aus, dass das Teilchen von vornherein auch eine Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung hat.

Vergleichen Sie die Richtungen der Lorentzkräfte auf das positiv geladene Teilchen an den zwei eingezeichneten Positionen in Abb.4b). Nennen Sie die Wirkungen dieser Kräfte.

Erklären Sie das Phänomen „Magnetische Flasche“ auch anhand von Abb. 4a.

Begründen Sie dabei die unterschiedlichen Radien der Objektbahn.

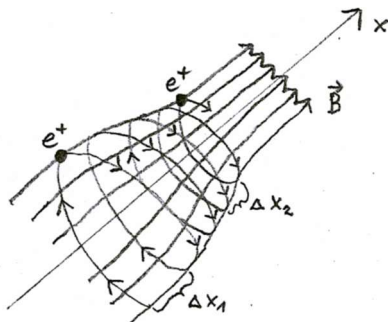


Abb. 4a Magnetische Flasche

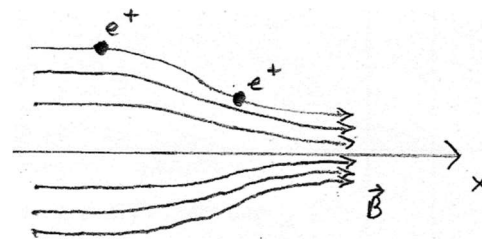


Abb. 4b Schnittbild von 4a
 (Bewegungsrichtung des Teilchens in die
 Papierebene hinein)

(8 Punkte)

Aufgabe 2

Themenbereich: Beugung und Interferenz

Vor einem an einem Ende geschlossenen Glasrohr, das feinverteiltes Korkmehl enthält, wird ein Lautsprecher am offenen Ende aufgestellt, der mit einem Tonfrequenzgenerator verbunden ist. Die Frequenz wird langsam von 20Hz an erhöht. Bei bestimmten Frequenzen ist der Ton lauter zu hören und das Korkmehl wird an jeweils verschiedenen Stellen kräftig aufgewirbelt. Schaltet man den Lautsprecher bei einer dieser Frequenzen aus, bilden sich ein oder mehrere Korkmehlhäufchen, so wie im Foto und der Abbildung zu sehen ist.

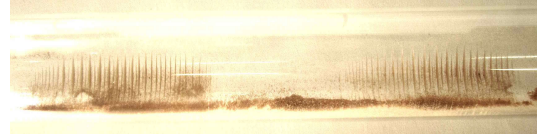


Abbildung 1

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 2 (Quelle: Metzler Physik, Schroedel Verlag, 1998, 3.Aufl., S. 142)

2.a Erläutern Sie das Zustandekommen der höheren Lautstärke und der Korkmehlhäufchen bei diesen Frequenzen.

(8 Punkte)

2.b Die Gleichung einer stehenden Welle lautet $y(x,t) = 2 \cdot \hat{y} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$.

Benennen Sie die Bedeutung der jeweiligen Faktoren und stellen Sie diese in Beziehung zu Abbildung 2. Gehen Sie dabei auf die in der Gleichung auftretenden charakteristischen Größen der Welle ein.

(5 Punkte)

2.c Die Wellenlängen von stehenden Schallwellen können mit dem in die Glasröhre gestreuten Korkmehl ausgemessen werden.

- Nennen Sie den Zusammenhang zwischen den Knoten, Bäuchen und der Wellenlänge der stehenden Welle.
- Skizzieren Sie die stehenden Wellen in der Glasröhre, die zu den ersten vier tiefen Tönen gehören.
- Bestimmen Sie eine Gleichung für die Wellenlänge in Abhängigkeit von der Knotenanzahl.
- Die Frequenzen der vier tiefsten Töne sind in Tabelle 1 notiert.

$f_0 = 141\text{Hz}$	$f_1 = 424\text{Hz}$	$f_2 = 706\text{Hz}$	$f_3 = 989\text{Hz}$
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Tabelle 1

Die Länge des Glasrohres beträgt $L = 60\text{cm}$. Berechnen Sie mit diesen vier Frequenzen die Schallgeschwindigkeit c .

(10 Punkte)

2.d Erläutern Sie den Begriff der Interferenz und beurteilen Sie die Aussage: „Eine stehende Welle ist eine Schwingung und kein Interferenzphänomen.“

(4 Punkte)

2.e Physiker sind heutzutage in der Lage Atome an einer stehenden Lichtwelle zu beugen. Die stehende Lichtwelle ist das Beugungsgitter. Man benutzt Laserlicht der Wellenlänge $\lambda = 532\text{nm}$.

- Berechnen Sie die Gitterkonstante der stehenden Lichtwelle.
- Der Schirm befindet sich in einem Abstand von $a = 0,50\text{m}$. Das 1. Maximum wird in einem Abstand von $d = 20\mu\text{m}$ von der Schirmmitte registriert. Berechnen Sie den Beugungswinkel α , unter dem das erste Maximum beobachtet werden kann und damit die de-Broglie-Wellenlänge der verwendeten Atome.

(4 Punkte)

Im Rahmen seiner Dissertation konnte Claus Jönsson 1959 die Interferenz eines Elektronenstrahles hinter einem Doppelspalt experimentell nachweisen. Die Elektronen besaßen eine Energie von $E = 50\text{keV}$.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abbildung 3 (Quelle:

<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/quantenobjekt-elektron/geschichte#Jönsson> Originalarbeit)

2.f Betrachtet werde die Interferenz einer ebenen Welle am Doppelspalt. Es sei g der Spaltabstand, a der Abstand des Schirms vom Doppelspalt und d_n der Abstand des n . Interferenzmaximums vom Hauptmaximum.

- Leiten Sie für die Lage der Interferenzmaxima mit Hilfe einer Skizze die Gleichung

$$\lambda = \frac{g \cdot d_n}{n \cdot a}$$

her und erläutern Sie die physikalischen Bedeutungen der benutzten Näherungen.

- Berechnen Sie die deBroglie-Wellenlänge der von Jönsson verwendeten Elektronen. Falls eine Berechnung misslingt, rechnen Sie mit $\lambda = 5 \cdot 10^{-12}\text{m}$ weiter.
- Bestimmen Sie anschließend den Spaltabstand g des Doppelspaltes mit Hilfe der Abbildung 3 und einem Schirmabstand von $a = 30\text{cm}$.

(12 Punkte)

2.g In einem Experiment werden Elektronen auf einen Doppelspalt geschossen und auf einem sich dahinter befindlichen Schirm registriert. Dies kann so erfolgen, dass sich stets nur ein einziges Elektron in der Apparatur befindet. Nach häufiger Wiederholung zeigt sich hinter dem Doppelspalt ein Interferenzmuster.

- Elektronen werden häufig als klassische Teilchen aufgefasst. Erläutern Sie die Nichtvereinbarkeit der Elektroneninterferenz mit der Vorstellung von einem klassischen Teilchen.
- Diskutieren Sie mit Hilfe der quantenmechanischen Beschreibung des Doppelspaltexperimentes den häufig anzutreffenden Spruch: „Ein Elektron interferiert mit sich selbst.“

(7 Punkte)

Aufgabe 3

Themenbereich: Atomphysik – Wechselwirkungen

- 3.a Erläutern Sie die Funktionsweise einer Röntgenröhre. Dabei können Sie sich auf Abb. 1 beziehen.

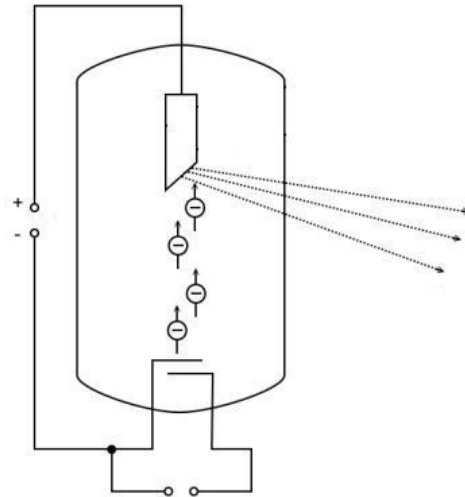


Abb. 1 Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre

(5 Punkte)

- 3.b Beschreiben Sie die zwei Wechselwirkungsprozesse in der Anode, die zur Entstehung der Röntgenbremsstrahlung bzw. zur Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung führen.

In Abb. 2 ist die Zählrate eines Detektors im Strahlengang der Röntgenstrahlen in Abhängigkeit der Wellenlänge λ der Röntgenstrahlen dargestellt.

Begründen Sie, bei welchem Peak in Abb. 2 es sich um die K_α bzw. K_β -Linie handelt.

(10 Punkte)

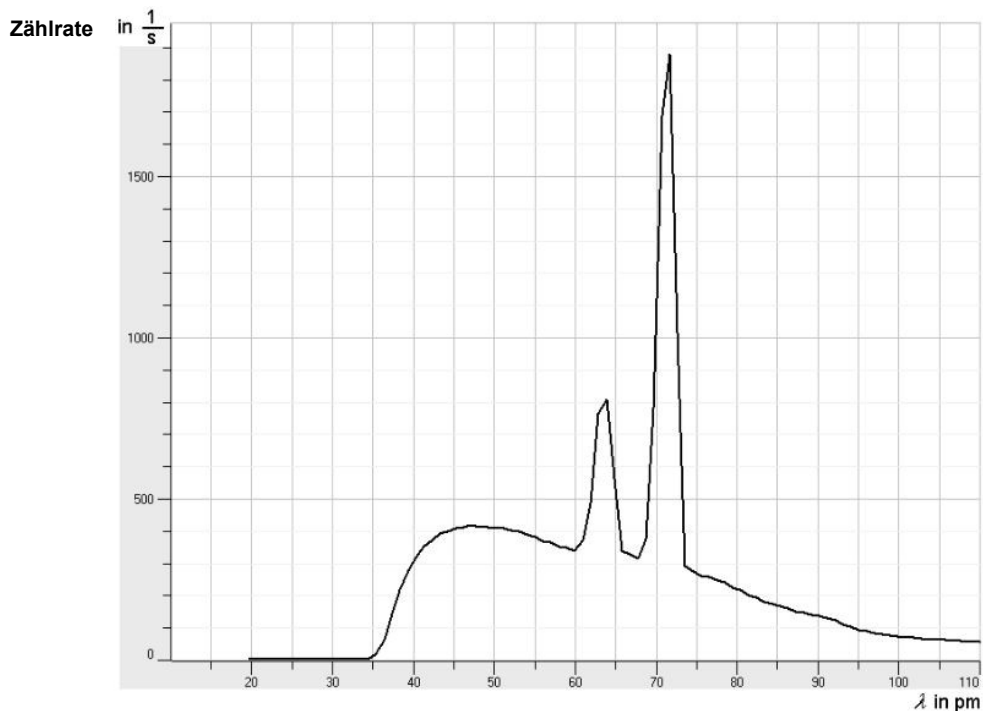


Abb. 2 charakteristisches Röntgenspektrum

- 3.c Berechnen Sie die Beschleunigungsspannung U_B , mit der die Röntgenröhre bei der Aufnahme des Spektrums aus Abb. 2 betrieben wurde.

Skizzieren Sie zusätzlich in Abb. 4 im Anhang die Spektren ein, die bei einem Betrieb mit $U_{B1} = 30kV$ bzw. $U_{B2} = 40kV$ zu erwarten sind. Berechnen Sie dafür die entsprechenden Grenzwellenlängen λ_{gr} . Erläutern Sie Ihr Vorgehen.

Bei der Aufnahme von Röntgenspektren verwendet man häufig die sog. Drehkristallmethode. Beschreiben Sie die Drehkristallmethode.

Leiten Sie mit einer geeigneten Skizze die Bragg-Beziehung $n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin(\vartheta)$ her.

(18 Punkte)

Feine Strukturen kann man z.B. bei Mikroskopen durch Wechselwirkung mit Licht untersuchen. Das Auflösungsvermögen eines Lichtmikroskopes, also der minimale wahrnehmbare Abstand zwischen zwei punktförmigen Objekten, wird dabei durch die Wellenlänge des Lichts bestimmt. Allgemein kann man vereinfachend sagen, dass das Auflösungsvermögen eines Mikroskops in etwa der Wellenlänge der zur Untersuchung verwendeten Strahlung entspricht.

- 3.d Mikroskope, welche Strukturen mit beschleunigten Elektronen abtasten, nennt man Rasterelektronenmikroskope. Nennen Sie die quantenphysikalische Eigenschaft von bewegten Elektronen, die man sich bei Rasterelektronenmikroskopie zu Nutze macht. Begründen Sie, dass Rasterelektronenmikroskope deutlich höhere Auflösungsvermögen erreichen.

Berechnen Sie die Geschwindigkeit v , mit der sich ein Elektron bewegt, wenn es mit einer Beschleunigungsspannung von $U_B = 500V$ beschleunigt wurde.

(Zur Kontrolle: $v = 1,33 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$)

Berechnen Sie das theoretische Auflösungsvermögen eines Rasterelektronenmikroskopes, dessen Elektronen mit einer Beschleunigungsspannung von $U_B = 500V$ betrieben wird. (*Hinweis*: Eventuelle relativistische Effekte brauchen Sie nicht zu berücksichtigen.)

(9 Punkte)

Um einen möglichst feinen Abtaststrahl zu erhalten, wird in den Elektronenstrahl eine Lochblende mit einem Innendurchmesser von $\Delta x = 10\mu m$ eingebracht (siehe Abb. 3). Für die folgende Aufgabe wird angenommen, dass immer nur ein Elektron die Lochblende passiert.

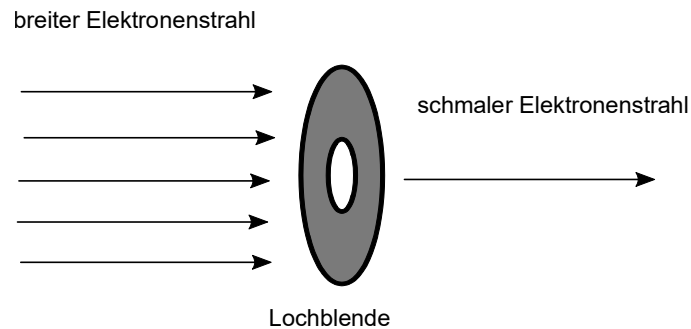


Abb. 3 Lochblende im Elektronenstrahl

3.e Beschreiben Sie unter Berücksichtigung des Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation die Wechselwirkung zwischen Elektron und Lochblende.

Das Elektron bewegt sich mit der in Aufgabe 3.d berechneten Geschwindigkeit v . Berechnen Sie die maximale seitliche Ablenkung Δs des Elektrons, wenn man davon ausgeht, dass das Elektron nach der Lochblende noch eine Wegstrecke von $l = 1,8m$ zurücklegt.

(8 Punkte)

Anhang

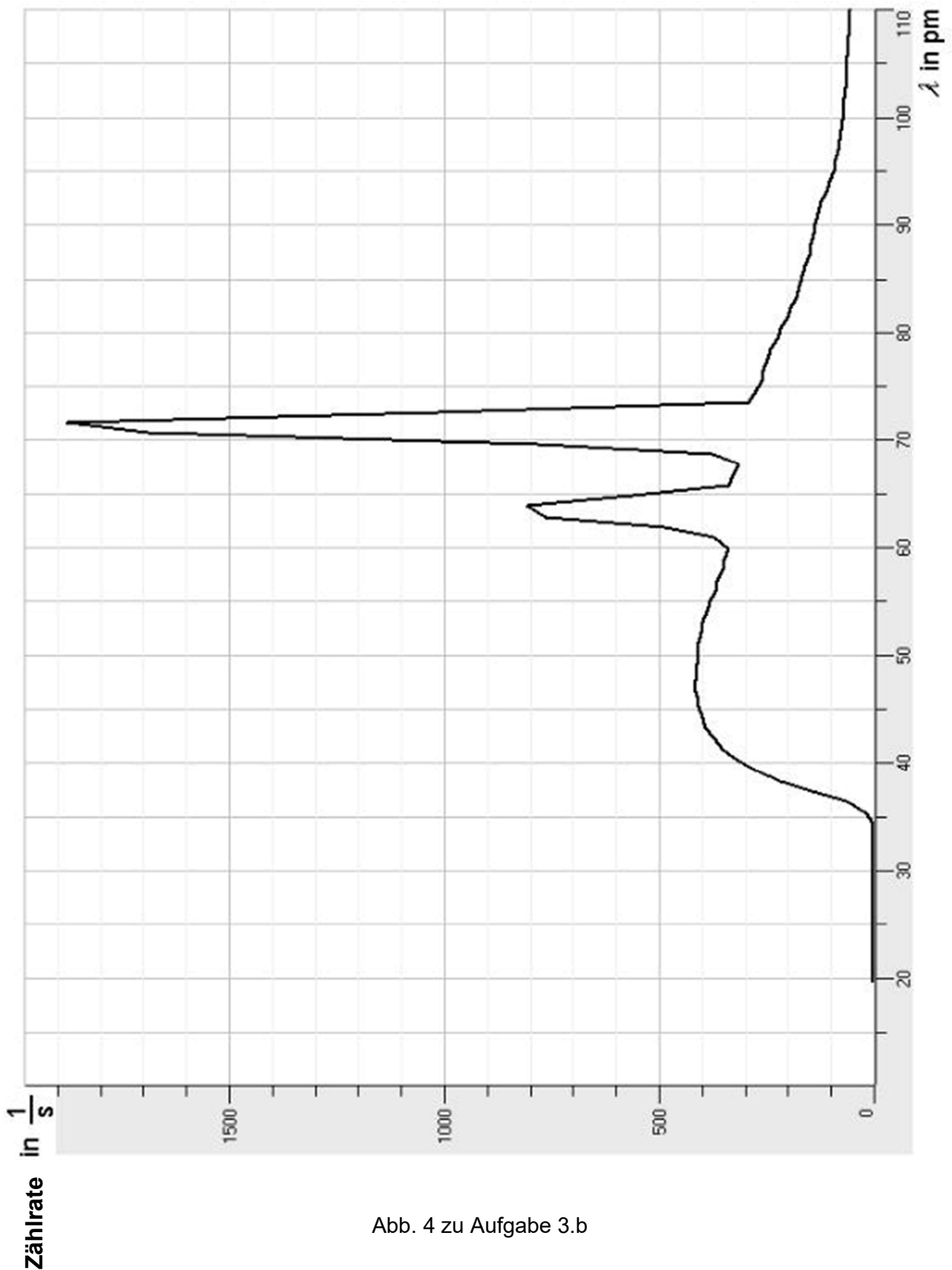


Abb. 4 zu Aufgabe 3.b

Schriftliche Abiturprüfung 2015

Leistungskurs Physik

Freitag, 24. April, 9.00 Uhr

Unterlagen für Referenten und Korreferenten

- Diese Unterlagen sind nicht für Schülerinnen und Schüler bestimmt -

Diese Unterlagen enthalten ...

- Allgemeines,
 - Erwartungshorizonte, Bewertungen und Korrekturhinweise zu den Aufgaben,
 - keine Aufgabenstellungen – Ihre Exemplare entnehmen Sie bitte den Schüleraufgaben – ,
 - einen Protokollbogen zur Auswahl der Aufgaben für die Prüfungsakten Ihrer Schule,
 - einen Rückmeldebogen für die Zentralabiturkommission zur Auswahl der Aufgaben.
-

Allgemeines

- Prüfen Sie die Prüfungsaufgaben vor der Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre Vollständigkeit und formale und inhaltliche Korrektheit und ergänzen Sie sie gegebenenfalls. Bei nicht ausreichender Anzahl erstellen Sie entsprechende Kopien vor Ort. Bei einem schwerwiegenden inhaltlichen Fehler informieren Sie sofort die Senatorin für Bildung und Wissenschaft über die **Hotline (0421...)** von 7.00 bis 9.30. Die von der Senatorin für Bildung und Wissenschaft vorgenommene Korrektur gibt die Schule sofort an die für die schriftliche Prüfung zuständige Lehrkraft weiter.
- Wählen Sie gemeinsam mit Ihrer Korreferentin / Ihrem Korreferenten aus den drei vorgelegten Aufgaben zwei aus. Kommt es zu keiner Einigung, bestimmt die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses die Auswahl der Aufgaben (§ 10 Abs. 2 Nr. 1 AP-V). Protokollieren Sie auf dem beigefügten Protokollformular, welche Aufgaben Sie gewählt haben (Prüferin/Prüfer und Korreferentin/Korreferent und ggf. auch die/der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses unterschreiben das Protokoll).
- Füllen Sie bitte für die Zentralabiturkommission Physik den beigefügten Rückmeldebogen zur Auswahl der Aufgaben aus und schicken ihn an die dort genannte Adresse.
- Fragen Sie vor Verteilung der Aufgaben nach der Arbeitsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler und weisen Sie diese auf die Regelungen des § 5 AP-V (Täuschung und Behinderung) hin.
- Machen Sie die Schülerinnen und Schüler auf die Arbeitshinweise aufmerksam, die am Anfang ihrer Unterlagen für die Prüfung stehen. Geben Sie ihnen ggf. die nötigen Angaben zur Schulnummer sowie zur genauen Kursbezeichnung.
- Die Bearbeitungszeit beträgt 240 Minuten.
- Erlaubte Hilfsmittel: Rechtschreiblexikon, Formelsammlung, Taschenrechner.

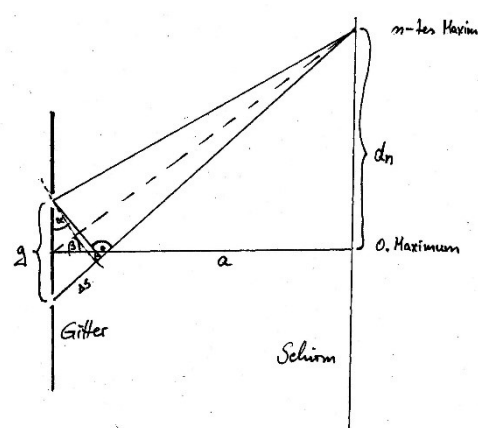
Aufgabe 1 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>In einer kugelförmigen Glasröhre werden Elektronen, die aus einer Glühkathode treten, mit der Spannung U_B beschleunigt. Die Röhre ist mit Gas unter geringem Druck gefüllt. Einige der beschleunigten Elektronen stoßen mit Gasmolekülen zusammen und regen diese zum Leuchten an. Der Elektronenstrahl erzeugt entlang seines Weges also eine feine Leuchtspur.</p> <p>Man benutzt ein Helmholtz-Spulenpaar, weil es durch seine besondere geometrische Anordnung zwischen den beiden Spulen nahe der Spulenachse ein weitgehend homogenes Magnetfeld liefert. Dieser Bereich ist wegen der Kürze und dem großen Radius der Spulen außerdem gut zugänglich für das Experiment.</p>	5	3	0
b.	<p>Die Energiegleichung besagt, dass die Energie $e \cdot U_B$, die den Elektronen verliehen wird beim Durchlaufen der Beschleunigungsspannung U_B gerade ihrer kinetischen Energie $\frac{1}{2} m_e v^2$ entspricht.</p> <p>Die Kraftgleichung besagt, dass die auf die Elektronen wirkende Lorentzkraft $e \cdot v \cdot B$ gerade der Zentripetalkraft $\frac{m_e \cdot v^2}{r}$ auf ihrer Kreisbahn entspricht.</p> <p>Herleitung des Ausdrucks für die Elektronenmasse: Kraftgleichung auflösen nach I) $m_e = \frac{e \cdot B \cdot r}{v}$. Energiegleichung auflösen nach</p> <p>II) $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}}$. II) in I) einsetzen, Gleichung quadrieren und nach m_e auflösen.</p> <p>Mittelwert für die Elektronenmasse: Man erhält fünf verschiedene Elektronenmassen (in 10^{-31} kg): 7,71; 10,00; 8,66; 9,69 und 8,25. Der Mittelwert ist 8,86.</p> <p>Divergente Leuchtspur mit Radiusfehler:</p> <p>Maximaler Wert für die Elektronenmasse: $1,13 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$</p> <p>Minimaler Wert für die Elektronenmasse: $5,65 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$</p>	7	7	0
c.	<p>Energiegleichung nach v auflösen, $U_B = 250 \text{ V}$ benutzen ergibt $v = 9,38 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Diese Geschwindigkeit ist nur ca. drei Prozent der Lichtgeschwindigkeit c und damit weit unterhalb der kritischen Grenze von $0,3 c$.</p>	2	3	0

d.	<p>Der Umfang der Kreisbahn ist $U = \pi \cdot d$. Ein Elektron braucht für einen Vollkreis also die Zeit $t = \frac{U}{v_e} = 4,33 \cdot 10^{-8} s$. In dieser Zeit t „fällt“ ein Elektron aufgrund der Gravitation den Weg $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 9,20 \cdot 10^{-15} m$. Selbst wenn der Elektronenstrahl über mehrere horizontale Vollkreisbewegungen hinweg sichtbar bliebe (das geht schon wg. der im Weg stehenden Beschleunigungseinheit nicht, s. Anm.), und dieses „Fallen“ völlig ungestört auftreten würde, könnte man also mit Sicherheit keine spiralförmige Bahn erkennen. Dafür ist s viel zu klein.</p> <p>(Die Gravitation ist vernachlässigbar im Vergleich zu der viel signifikanteren Wechselwirkung der Elektronen und ihrer Wechselwirkung mit den Gasmolekülen im Fadenstrahlrohr).</p>	4	2	3
e.	<p>Die beschleunigten Elektronen bekommen durch das Drehen der Röhre eine Geschwindigkeitskomponente parallel zur Magnetfeldrichtung. Auf diesen Teil ihrer Bewegung wirkt keine Lorentzkraft, also erfolgt er unabhängig von der außerdem auftretenden Kreisbahn (Superpositionsprinzip).</p>	0	6	0
f.	<p>In der linken Position von Abb.4b) ist die magnetische Feldlinie quasi parallel zur x-Achse. Gemäß der Rechte-Hand-Regel ergibt sich eine Lorentzkraft, die nach unten zur x-Achse hin zeigt. Das Teilchen bewegt sich dadurch (und durch seine von vornherein vorhandene Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung) also auf einer schraubenförmigen Bahn in positive x-Richtung.</p> <p>In der rechten Position von Abb.4b) verläuft die Feldlinie leicht schräg nach rechts unten. Hier herrscht also eine Lorentzkraft, die nach schräg links unten zeigt (sie hat eine Komponente in negative x-Richtung). Das Teilchen bewegt sich dadurch immer noch auf einer schraubenförmigen Bahn, erfährt aber gleichzeitig eine rücktreibende Kraft in negative x-Richtung, wodurch es verzögert wird und letztendlich umkehrt.</p> <p>Abbildung 4a) zeigt räumlich die Inhomogenität des Magnetfeldes, weil die Feldliniendichte von links unten nach rechts oben größer wird. Das Magnetfeld wird nach rechts oben hin also stärker, wodurch der Betrag der Lorentzkraft wächst. Wegen $q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$ wird der Radius der Teilchenbahn also kleiner.</p> <p>Bei der weiter schräg rechts oben liegenden Position des Teilchens ist der Winkel zwischen der Bewegungsrichtung des Teilchens und der lokalen Ausrichtung der magnetischen Feldlinien anders als weiter unten. Zusammen mit den Überlegungen zu Abb. 4b) ergibt sich das Phänomen „Magnetische Flasche“, wodurch das Teilchen gezwungen wird, seine Schraubenbahn in negative x-Richtung fortzusetzen. Es kann somit „gefangen gehalten“ werden auf einem bestimmten Volumen.</p>	2	4	2
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		20	25	5

Aufgabe 2 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

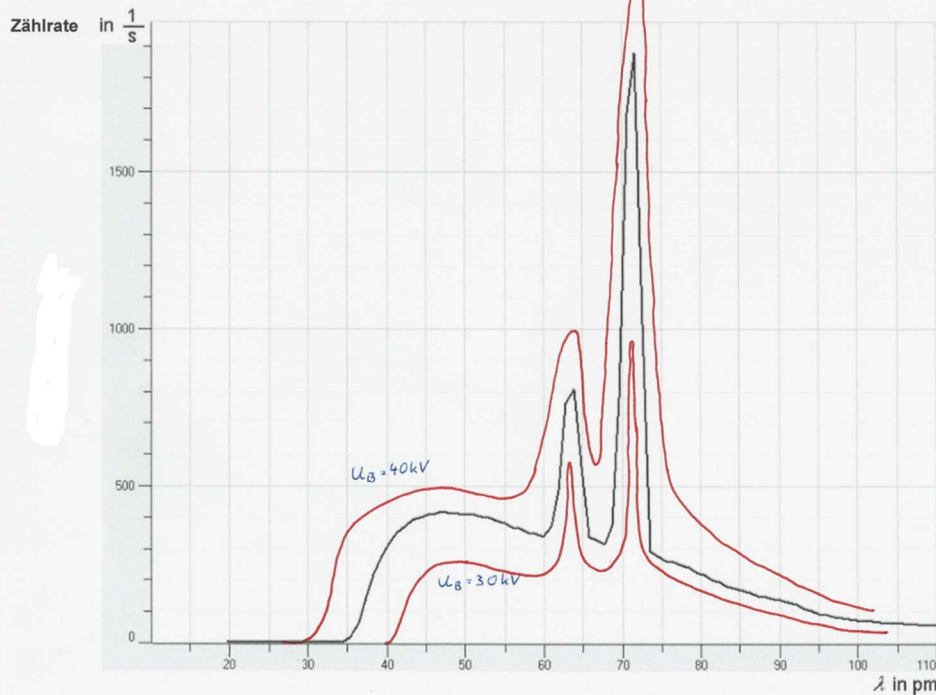
Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>Erklärung der höheren Lautstärke</p> <ul style="list-style-type: none"> Die eingestrahlte Welle wird am geschlossenen Ende reflektiert. Die eingestrahlte und reflektierte Welle überlagern sich. In dem Glasrohr bildet sich eine stehende Welle aus. Dadurch schwingt die Luftsäule im Glasrohr mit der Frequenz des Lautsprechertones und verstärkt diesen. Es liegt Resonanz vor, wenn die Lautsprecherfrequenz eine Eigenfrequenz des Glasrohres trifft. <p>Erklärung der Entstehung der Korkmehlhäufchen</p> <ul style="list-style-type: none"> Schallwellen sind Longitudinalwellen. Die Luftmoleküle sind die Oszillatoren und schwingen um ihre Ruhelage hin und her. Am festen Ende wird die Geschwindigkeitswelle mit einem Phasensprung von $\Delta\varphi = \pi$ reflektiert, so dass sich die eingestrahlte und die reflektierte Welle dort auslöschen. Am festen Ende entsteht deshalb ein Geschwindigkeitsknoten, weil sich die Luft nicht hin und her bewegen kann. Am freien Ende können die Luftmoleküle die Bewegung mitmachen und es entsteht ein Geschwindigkeitsbauch. An den Orten der Geschwindigkeitsknoten bleibt das Korkmehl einfach liegen. An den Orten der Geschwindigkeitsbäuche wird das Korkmehl herumgewirbelt. Die Querrippen an den Orten der Geschwindigkeitsbäuche entstehen durch Verwirbelung der Luftströmung an der Grenzfläche von Luft und Korkmehl. 	5	3	
b.	<p>Bedeutung der Faktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> Der \cos-Term ist der Schwingterm, denn er enthält die Zeit t und die Schwingungsdauer T und gibt den Schwingungszustand eines Oszillators zum Zeitpunkt t an. Der Term $2 \cdot \hat{y} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ ist der Amplitudenterm. Er gibt die Amplitude eines Oszillators am Ort x an. Die Wellenlänge findet man als doppelten Abstand zweier Knoten, denn die Sinusfunktion hat für $x = \frac{\lambda}{2}$ ihre erste Nullstelle. Die Amplituden der beiden sich überlagernden Wellen ist \hat{y}. Die Schwingungsdauer eines Oszillators ist T. 	5		

<p>c.</p>	<p>Es muss der Abstand zweier benachbarter Knoten gemessen werden. Der doppelte Wert liefert die Wellenlänge der stehenden Schallwelle. Es sei n die Knotenanzahl der stehenden Welle. Es passen $\left(\frac{1}{2}n + \frac{1}{4}\right)$ Wellenlängen in die Glasröhre.</p> <p>Daraus ergibt sich $\lambda = \frac{L}{\frac{1}{2}n + \frac{1}{4}}$. Mit $c = \lambda \cdot f$ erhält man die Schallgeschwindigkeit $c = \frac{L}{\frac{1}{2}n + \frac{1}{4}} \cdot f$.</p> <p>Mit den gegebenen Werten erhält man $c_0 = 338,4 \frac{m}{s}$, $c_1 = 339,2 \frac{m}{s}$, $c_2 = 338,9 \frac{m}{s}$ und $c_3 = 339,1 \frac{m}{s}$ damit $\bar{c} = 338,9 \frac{m}{s}$.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> Die Abbildung der Schwingungen wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt. </div> <p style="font-size: small; text-align: center;">veränderte Grafik aus Metzler Physik S.140</p>			
<p>d.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unter Interferenz versteht man die ungestörte Überlagerung zweier Wellen gleicher Frequenz (und damit gleicher Wellenlänge). • Als Schwingung bezeichnet man die periodische Bewegung eines Oszillators um seine Ruhelage. • Eine Welle ist eine sich in einem Medium ausbreitende Störung. • Stehende Wellen sind Wellen, die sich nicht auszubreiten scheinen, weil die Knoten und Bäuche ortsfest bleiben. Deshalb sagt man, dass eine Saite oder eine Luftsäule schwingt. Trotzdem liegt eine Überlagerung zweier Wellen (einlaufender und reflektierter Welle) vor, es ist ein Interferenzphänomen. 				
<p>e.</p>	<p>Der Abstand zweier Bäuche einer stehenden Welle ist gleich der halben Wellenlänge. Daher ist die Gitterkonstante $g = \frac{\lambda}{2}$. Der Beugungswinkel kann über $\tan(\alpha) = \frac{d}{a}$ für sehr kleine Winkel zu $\alpha = 0,0023^\circ$ bestimmt werden. Mit der Gleichung $\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{g}$ ergibt sich $\lambda = g \cdot \sin(\alpha) = 10,64 \text{ pm}$.</p>				
<p>f.</p>		<p>Konstruktive Interferenz tritt auf, wenn der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge beträgt. Anstelle des zu benutzenden Kreisbogens zur Ermittlung des Gangunterschiedes wird eine Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks benutzt. Diese erste Näherung ist für $a \gg g$ gültig. Für optische Gitter oder Doppelspaltexperimente ist diese Näherung immer erfüllt. Es ist dann</p>			

	<p>auch $\beta \approx \alpha$. Die Strahlen verlaufen dann näherungsweise parallel. Es gilt $\sin(\alpha) = \frac{\Delta s}{g}$. Außerdem gilt $\sin(\alpha) = \frac{d_n}{\sqrt{a^2 + d_n^2}}$. Ist nun die Bedingung $g \gg \Delta s$ erfüllt und somit $a \gg d_n$, dann ergibt sich in einer zweiten Näherung $\frac{\Delta s}{g} = \frac{d_n}{a}$ (Es ist auch ein Weg mit $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha)$ möglich). Daraus ergibt sich mit $\Delta s = n \cdot \lambda$ die gesuchte Gleichung.</p> <p>Die deBroglie-Wellenlänge berechnet sich mit dem Impuls $p = m \cdot v$. Die Geschwindigkeit erhält man über die kinetische Energie $\frac{1}{2}mv^2 = e \cdot U$ der Elektronen. Nach kleineren Umformungen ergibt sich $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$. Einsetzen der Werte führt auf $\lambda = 5,5 \text{ pm}$.</p> <p>Aus dem Foto entnimmt man, dass 7,5 Maxima auf 0,001mm liegen. Daher berechnet sich der Spaltabstand zu $g = \frac{5,5 \cdot 10^{-12} \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}}{1,33 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 1,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.</p>	3	7	2
g.	<ul style="list-style-type: none"> • Klassische Teilchen besitzen eine Flugbahn. Das Teilchen muss entweder durch den einen oder durch den anderen Spalt kommen. • Interferenzverlust tritt beim Vorliegen von „Welcher-Weg-Information“ ein. • Bei Interferenz darf man nicht sagen, dass das „Teilchen“ durch den einen oder durch den anderen Spalt gekommen ist. Dies widerspricht eindeutig dem klassischen Teilchenbild • Die quantenmechanische Beschreibung benutzt die Überlagerung zweier Zustandsfunktionen zur Beschreibung des Zustandes des Quants hinter dem Doppelspalt. Die beiden beteiligten Wellenfunktionen entsprechen dem Durchgang eines Quants durch jeweils einen Spalt. • Mit dem Betragsquadrat der Zustandsfunktion (Wellenfunktion) kann man die Auftreffwahrscheinlichkeit auf dem Schirm berechnen. • Mit dem Ausspruch ist überspitzt die Überlagerung, die Addition der beiden Zustandsfunktionen, gemeint. Diese kann mit der Alltagsphysik nicht erfasst werden. • Nicht gemeint ist, dass sich das Elektron aufteilt und hinter dem Spalt wieder zusammenfügt, denn Experimente zeigen, dass stets ganze Elektronen auf dem Schirm auftreffen und im Falle von vorliegender „Welcher-Weg-Information“ stets nur ganze Elektronen angetroffen werden. 		4	3
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	20	25	5	

Aufgabe 3 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen

Erwarteter Inhalt / Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
a.	<p>In einer Glühkatode werden freie Elektronen erzeugt. Diese werden dann von der Katode zu einer Anode hin mit einer Beschleunigungsspannung U_B beschleunigt. An der Anode werden die Elektronen stark abgebremst. Aus der Wechselwirkung der schnellen Elektronen mit dem Anodenmaterial entsteht die sog. Bremsstrahlung. Die gesamte Anordnung befindet sich in einem Vakuum, damit es nicht zu unerwünschten Wechselwirkungen zwischen den Elektronen und Gasmolekülen kommt.</p>	5		
b.	<p>Innerhalb der Anode gibt es zwei verschiedene Arten von Wechselwirkungen: Zum einen die Coulomb-Wechselwirkung zwischen den Elektronen und der Atomhülle. Die negativ geladene Hülle bremst die Elektronen stark ab, diese Abbremsung hat die Aussendung elektromagnetischer Strahlung zur Folge, der sog. Bremsstrahlung. Da die Abbremsung unterschiedlich stark ist, entsteht ein Kontinuum an Strahlung (Spektrum). Die zweite Art der Wechselwirkung hat das für das Anodenmaterial charakteristische Bremsspektrum zur Folge. Die auftreffenden Elektronen schlagen Elektronen aus der K-Schale der Atomhülle heraus. Die frei gewordenen Stellen in der Atomhülle werden nach kurzer Zeit von anderen Elektronen z.B. aus höher liegenden Schalen besetzt. Hierbei senden sie elektromagnetische Strahlung der Energie aus, die dem jeweiligen Energieunterschied der Schalen entspricht. Diese Strahlen kann man im Röntgenspektrum als K_α (L \rightarrow K) oder K_β (M \rightarrow K) Linien erkennen. Das linke Peak zeigt Strahlung mit kleinerer Wellenlänge λ und damit nach $W = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ mit größerer Energie an. Da die Energiedifferenz zwischen der M- und der K-Schale größerer ist als zwischen der L- und der K-Schale, handelt es sich also bei dem linken Peak um die K_β-Linie, das rechte Peak ist die K_α-Linie.</p>	4	6	
c.	<p>Das kurzwellige Ende der Strahlung liegt bei $\lambda = 35 \text{ pm}$. Aus $e \cdot U_B = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ folgt $U_B = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda} = 35,4 \text{ kV}$. Beim Skizzieren der Spektren kann man davon ausgehen, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> • die Form des Spektrums gleich bleibt, bloß insgesamt höher bzw. niedriger ist. • sich die jeweiligen kurzwelligen Enden verschieben ($\lambda_{gr} \approx 41 \text{ pm}$ bei $U_B = 30 \text{ kV}$ und $\lambda_{gr} \approx 31 \text{ pm}$ bei $U_B = 40 \text{ kV}$). • die Lage der K_α- und K_β-Linie erhalten bleibt. 			



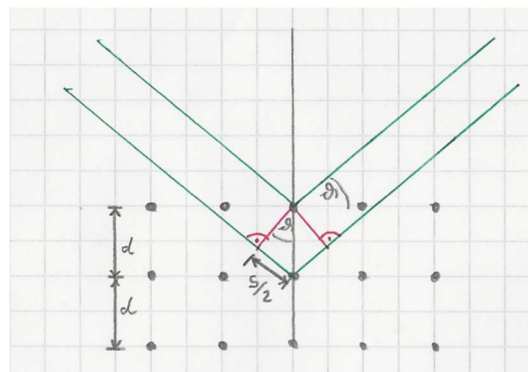
Die Röntgenstrahlung fällt bei der Drehkristallmethode auf einen drehbar gelagerten Einkristall. Die einzelnen Gitterpunkte des Kristalls werden zu Reflexionspunkten. Der reflektierte Strahl wird auf einer geeigneten Apparatur detektiert und der Winkel 2ϑ zwischen einfallenden und reflektierten Strahl bestimmt. Zwischen den einzelnen Strahlen, die an verschiedenen Gitterpunkten reflektiert werden, kommt es zu Interferenzerscheinungen.

Der halbe Weglängenunterschied $\frac{\Delta s}{2}$ lässt sich berechnen mit

$$\sin(\vartheta) = \frac{\Delta s}{2 \cdot d}, \text{ wobei } d \text{ den Abstand der Gitterebenen bezeichnet.}$$

Mit der Interferenzbedingung $\Delta s = n \cdot \lambda$ folgt

$$\sin(\vartheta) = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot d} \Leftrightarrow n \cdot d = 2d \sin(\vartheta)$$



8 7 3

d. Das sichtbare Spektrum des Lichts und somit das Auflösungsvermögen von Lichtmikroskopen liegt zwischen $780\text{nm} > \lambda > 390\text{nm}$. Die DeBroglie-Wellenlänge von beschleunigten Elektronen ist wesentlich kürzer und somit ist auch das Auflösungsvermögen von Elektronenmikroskopen größer. Die quantenmechanische Eigenschaft, die man sich bei Elektronenmikroskopen zu Nutze macht, ist die Welleneigenschaft von Quanten.

$$e \cdot U_B = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m_e}} = 1,33 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$

	<p>Das Auflösungsvermögen entspricht der DeBroglie-Wellenlänge eines mit $U_B = 500V$ beschleunigten Elektrons:</p> <p>Aus $\lambda = \frac{h}{p}$, $p = m_e \cdot v$ und $e \cdot U_B = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ folgt</p> $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot e \cdot U_B \cdot m_e}} = 5,48 \cdot 10^{-11} m \approx 55 pm$	3	6	
e.	<p>Nach der Heisenberg'schen Unschärferelation lassen sich Ort und Impuls eines Quantenobjekts zu einem Zeitpunkt nicht in beliebiger Genauigkeit angeben. Dies kann so interpretiert werden, dass das Elektron, dessen Ort zu einem Zeitpunkt durch den Durchmesser der Lochblende bestimmt ist, durch Wechselwirkung mit seiner Umgebung einen Querimpuls erhält. Der Querimpuls lässt sich berechnen mit</p> $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h \Leftrightarrow v_x \geq \frac{h}{\Delta x \cdot m_e} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} Js}{10 \cdot 10^{-6} m \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} kg} = 72,74 \frac{m}{s}$ <p>Für die $l = 1,8m$ lange Wegstrecke benötigt das Elektron eine Zeit von</p> $\Delta t = \frac{1,8m}{1,33 \cdot 10^7 \frac{m}{s}} = 1,35 \cdot 10^{-7} s$ <p>In dieser Zeit erfährt es eine seitliche Ablenkung von $\Delta s = 72,74 \frac{m}{s} \cdot 1,35 \cdot 10^{-7} s = 9,87 \cdot 10^{-6} m \approx 10 \mu m$.</p>		6	2
Verteilung der insgesamt 50 Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche	20	25	5	