

Leistungskurs Physik
Thema: Schwingungen und Wellen

Aufgabe 1) zum Thema Schwingungen und Wellen

Hinweise für die Kurslehrkraft

Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.

Aufgabe 1) darf mit jeder der drei anderen Aufgaben des Aufgabensatzes kombiniert werden.

Die nachfolgende Aufgabe ist nicht mit der Durchführung eines Experimentes verbunden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.

Leistungskurs Physik
Thema: Schwingungen und Wellen

Aufgabe 1 Mehrfachspalt – Doppelspalt – Einfachspalt

Ein He-Ne-Laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$) beleuchtet zunächst einen Einfachspalt, dann einen Doppelspalt und anschließend verschiedene Mehrfachspalte. Die jeweiligen Interferenzbilder werden auf einem 19 m entfernten Schirm dargestellt. Die **Abbildungen in der Anlage** sind Ergebnisse von Computersimulationen dieser Experimente. Die Spaltbreite d und der Spaltabstand g sind in allen Experimenten gleich, die Anzahl der Spaltöffnungen wird von Abbildung zu Abbildung erhöht.

- a) Erklären Sie jeweils mit Hilfe des Wellenmodells den in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Intensitätsverlauf. Stellen Sie dabei einen Zusammenhang zwischen den beiden Abbildungen her. Begründen Sie, dass das erwartete Maximum 5. Ordnung beim Doppelspalt nicht auftritt.

Leiten Sie anhand entsprechender Skizzen Formeln zur Bestimmung des Abstandes der Minima beim Einzelspalt und der Maxima beim Doppelspalt her. Berechnen Sie die Spaltbreite d und den Spaltabstand g .

(Zwischenergebnis: $d = 0,12 \text{ mm}$; $g = 0,6 \text{ mm}$)

(24 Punkte)

- b) Bei besonders schmalen Einfachspalten kann es vorkommen, dass ein Maximum 2. Ordnung nicht mehr beobachtbar ist.

Bestimmen Sie die Spaltbreite d , die der Einfachspalt mindestens haben muss, damit gerade noch das Minimum 2. Ordnung beobachtet werden kann.

(4 Punkte)

- c) Erläutern Sie das Auftreten der Nebenmaxima und -minima zwischen den Hauptmaxima 0. und 1. Ordnung am Vierfachspalt (Abb. 4). Geben Sie allgemein die Zahl der Nebenmaxima in Abhängigkeit von der Zahl der Spalte an.

(8 Punkte)

- d) Die unteren Abbildungen zeigen drei Spalte mit variabler Breite (Abb. 7) sowie das von einem dieser Spalte erzeugte Interferenzbild (Abb. 8). Ordnen Sie begründet das Bild dem richtigen Spalt zu.

(4 Punkte)

Anlage: Abbildungen 1 bis 8

Hilfsmittel:

Formelsammlung,
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,
deutsches Wörterbuch

Leistungskurs Physik
Thema: Schwingungen und Wellen

Anlage: Abbildungen 1 bis 8



Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3

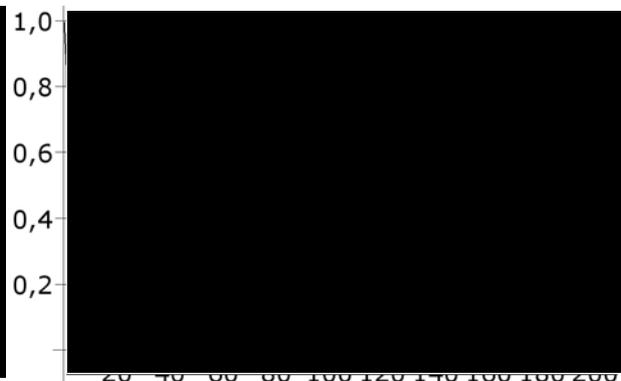


Abb. 4



Abb. 5

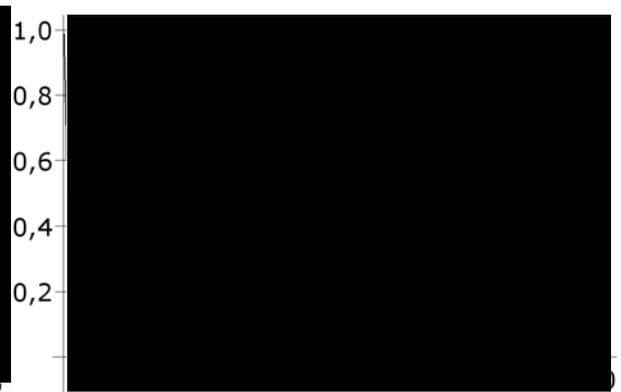


Abb. 6

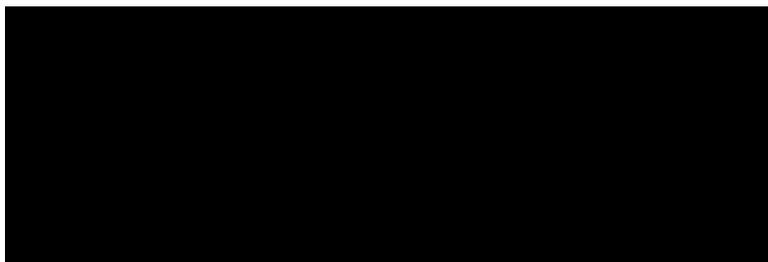


Abb. 7 Spalte mit variabler Breite

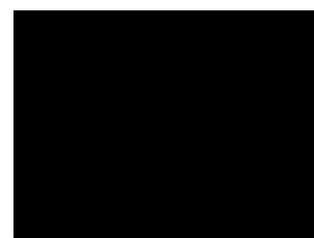


Abb. 8 Interferenzbild

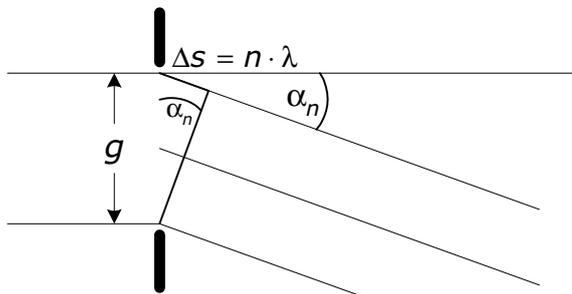
Leistungskurs Physik
Thema: Schwingungen und Wellen

Aufgabe 1) Mehrfachspalt – Doppelspalt – Einfachspalt
Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

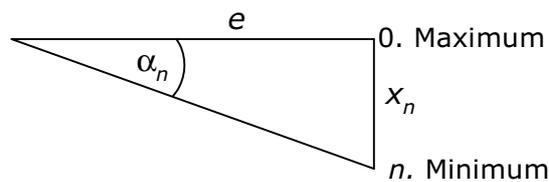
Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte	
		maximal	erreicht
a)	<p><u>Erklärung der Intensitätsverläufe</u></p> <p>Bei den Abbildungen handelt es sich um Interferenzfiguren. <i>Es wird erwartet, dass die Prüflinge konstruktive und destruktive Interferenz erklären. Diese Erklärung kann in der Theorie der Teilbündel oder der der Zeigerdiagramme erfolgen.</i></p> <p><u>Zusammenhang zwischen Abb. 1 und Abb. 2</u></p> <p>Wird die einzelne Spaltöffnung als ein Wellenzentrum angesehen, müssten alle Maxima beim Doppelspalt dieselbe Höhe haben. Unter Berücksichtigung der endlichen Spaltbreite nimmt ihre Intensität so ab, dass sich Abb. 1 als Hüllkurve ergibt.</p> <p>Die Einzelspalte senden kein Licht in die Richtung aus, in der das Maximum 5. Ordnung des Doppelspalts auftreten würde ($x_{1, \text{Spalt}} = x_{5, \text{Doppelspalt}}$).</p>	4	
		2	
		2	

Leistungskurs Physik
Thema: Schwingungen und Wellen

Spalt:



z.B. 2 Teilbündel für 1. Minimum

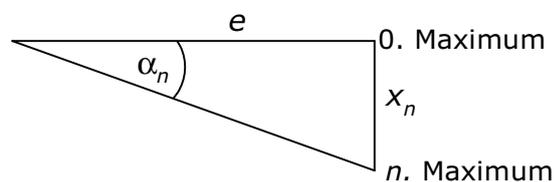
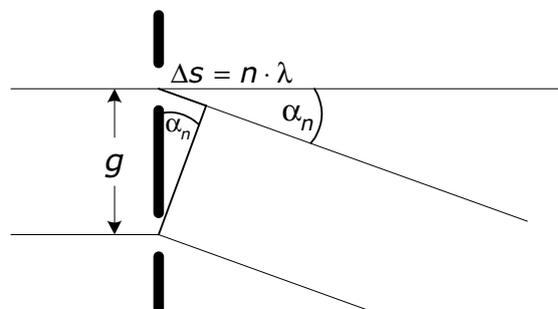


Jeder Spaltspalt ist Elementarwellenerreger, Auswahl geeigneter Teilbündel führt auf die Beziehungen $\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ und

$$\tan \alpha_n = \frac{x_n}{e}$$

Kleinwinkelnäherung liefert für Minima: $\frac{x_n}{e} = \frac{n \cdot \lambda}{d}$

Doppelspalt:



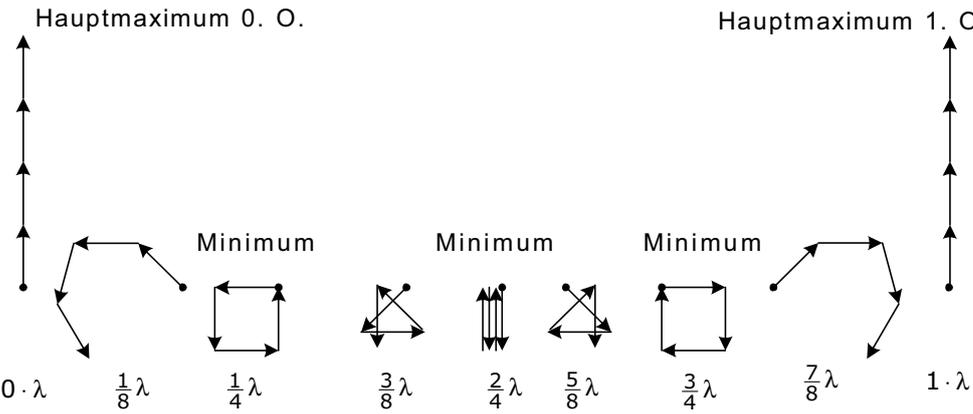
Spalte als Elementarwellenerreger, Formeln wie oben, Kleinwinkelnäherung liefert jetzt für Maxima:

$$\frac{x_n}{e} = \frac{n \cdot \lambda}{g}$$

6

6

Leistungskurs Physik
Thema: Schwingungen und Wellen

	<p><u>Berechnung von Spaltbreite und Spaltabstand:</u></p> <p>Breite: Abb. 1 wählen, Wert für $x_1 = 100$ mm ablesen $d = \frac{\lambda \cdot e}{x_1}$ angeben; $d = 0,12$ mm berechnen</p> <p>Abstand: Abb. 2 wählen; Wert für $x_1 = 20$ mm ablesen Berechnungsvorschrift angeben: $g = \frac{\lambda \cdot e}{x_1}$; $g = 0,6$ mm berechnen</p>	4	
b)	<p>Der Beugungswinkel muss kleiner als 90° sein: $\sin \alpha_2 = \frac{2\lambda}{d} < 1$, d.h. $d > 2\lambda = 1,3 \mu\text{m}$</p>	4	
c)	<p>Erläuterung des Sachverhaltes anhand eines Zeigerdiagramms.</p>  <p>Hauptmaximum 0. O. Hauptmaximum 1. O.</p> <p>Minimum Minimum Minimum</p> <p>$0 \cdot \lambda$ $\frac{1}{8} \lambda$ $\frac{1}{4} \lambda$ $\frac{3}{8} \lambda$ $\frac{2}{4} \lambda$ $\frac{5}{8} \lambda$ $\frac{3}{4} \lambda$ $\frac{7}{8} \lambda$ $1 \cdot \lambda$</p> <p>Minima auch für $\Delta s = m \cdot \frac{1}{4} \lambda$ ($m = 1, 2, 3$) Zwischen den Minima liegen Nebenmaxima. Zwischen 2 Hauptmaxima liegen für $\Delta s = m \cdot \frac{1}{n} \lambda$ ($m = 1, \dots, n - 1$) Minima. Zwischen je 2 Minima liegt 1 Nebenmaximum; davon gibt es also $n - 2$ Stück.</p>	8	
d)	<p>Für den Abstand x_n des n-ten Minimums vom Zentralmaximum gilt $x_n = \frac{n \cdot \lambda_n \cdot e}{d}$. In der vorliegenden Aufgabe ist d nicht konstant, sondern als variabel aufzufassen. Man erkennt, je größer d ist, desto kleiner wird x_n sein. Deshalb kommen die Spalte 1 und 2 nicht in Frage. Spalt 3 ist also der gesuchte.</p>	4	
		40	

Leistungskurs Physik
Thema: Ladungen und Felder

Aufgabe 2) zum Thema Ladungen und Felder

Hinweise für die Kurslehrkraft

Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.

Aufgabe 2) darf mit jeder der drei anderen Aufgaben des Aufgabensatzes kombiniert werden.

Die nachfolgende Aufgabe ist nicht mit der Durchführung eines Experimentes verbunden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.

Hinweis: Statt der Bezeichnung magnetische Flussdichte wird in einigen Fachbüchern neuerdings die Bezeichnung magnetische Feldstärke verwendet. Wenn diese Bezeichnung im Unterricht verwendet wurde, so sollten die Prüflinge darauf hingewiesen werden, dass im Aufgabentext unter der magnetischen Flussdichte die Größe B , gemessen in Tesla, zu verstehen ist.

Leistungskurs Physik
Thema: Ladungen und Felder

Aufgabe 2) Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern

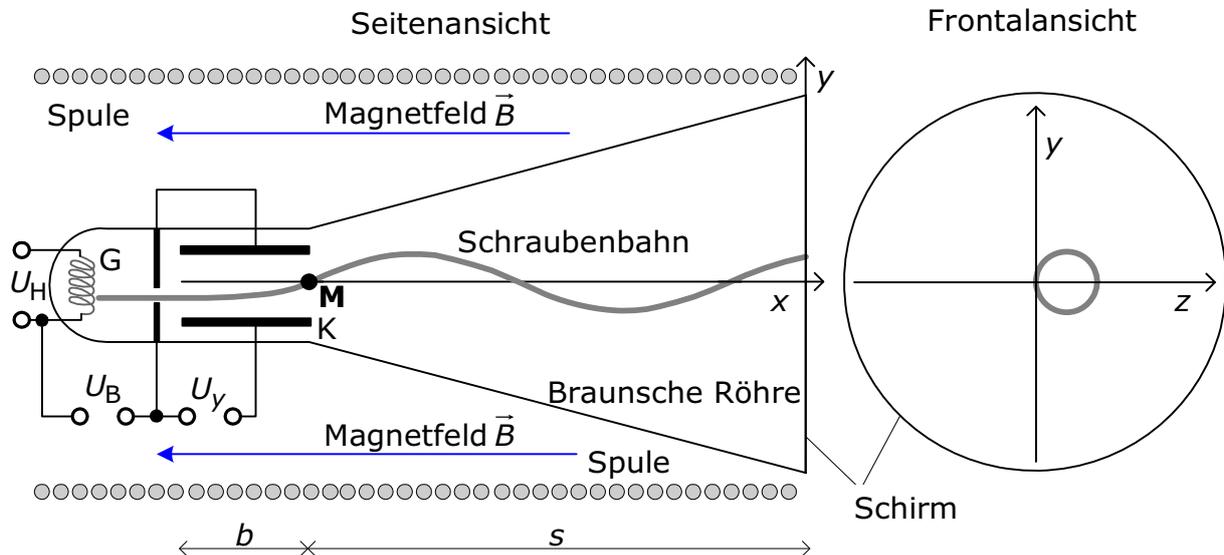


Abb. 1 Braunsche Röhre im Magnetfeld einer Spule

In einer Versuchsanordnung befindet sich eine Braunsche Röhre im homogenen Magnetfeld einer Spule (siehe Abb. 1). Elektronen aus der Glühkathode G werden in x -Richtung durch die Spannung U_B beschleunigt. Sie gelangen horizontal mit der Geschwindigkeit v_x in das homogene elektrische Feld des Kondensators K mit angelegter Spannung U_Y . Nach der Ablenkung im Kondensator bewegen sich die Elektronen auf einer Schraubenbahn, bis sie auf den Schirm treffen. In der Frontalansicht des Schirmes ist grau die Projektion der Schraubenbahn auf die Schirmebene eingezeichnet.

- a) Das Magnetfeld ist zunächst ausgeschaltet. Bestimmen Sie allgemein die Geschwindigkeit v_x , mit der die Elektronen in den Ablenk Kondensator eintreten (nichtrelativistische Rechnung für allgemeine Beschleunigungsspannung U_B).

(3 Punkte)

- b) Nun wird das Magnetfeld eingeschaltet. Begründen Sie, warum die Bewegung der Elektronen bis zur Ablenkung im Kondensator nicht durch das Magnetfeld beeinflusst wird. Erläutern Sie das Zustandekommen der Schraubenbahn. Beschränken Sie sich auf den Bereich außerhalb des Kondensators. Zeigen Sie, dass für die Umlaufdauer T der Schraubenbahn die Formel $T = \frac{2\pi \cdot m}{e \cdot B}$ gilt. Geben Sie Voraussetzungen dafür an, dass die Umlaufzeit konstant ist.

(14 Punkte)

weiter auf der nächsten Seite

Leistungskurs Physik
Thema: Ladungen und Felder

- c) Die Flussdichte B wird nun so eingestellt, dass die Elektronen nach einem halben Umlauf auf ihrer Schraubenbahn auf den Schirm treffen. Ihren Auftreffpunkt \mathbf{P} sowie die Projektion ihrer Flugbahn auf den Schirm zeigt Abb. 2.

Ergänzen Sie auf Ihrem Aufgabenblatt die Auftreffpunkte \mathbf{R} bzw. \mathbf{S} der Elektronen für die Fälle, dass entweder

bei konstanter magnetischer Flussdichte B nur die Ablenkspannung U_y halbiert wird (\mathbf{R})

oder

bei konstanter Ablenkspannung U_y nur die magnetische Flussdichte B halbiert wird (\mathbf{S}).

Erklären Sie Ihre Ergebnisse. Leiten Sie dazu die Formeln $v_y = \frac{e \cdot U_y \cdot b}{m \cdot v_x \cdot d}$ und $r = \frac{m \cdot v_y}{e \cdot B}$

für die Geschwindigkeitskomponente v_y und für den Bahnradius r her, wobei b wobei b für die Länge und d für den Abstand der Kondensatorplatten steht.

(16 Punkte)

- d) Polarlichter sind Leuchterscheinungen in 70 bis 1000 km Höhe, die in der Nähe der Erdmagnetpole zu sehen sind. Elektrisch geladene Teilchen des Sonnenwindes treten in das äußere (inhomogene) Erdmagnetfeld ein. Erklären Sie die physikalischen Hintergründe für das Leuchten. Erläutern Sie anhand einer geeigneten Skizze, warum diese Leuchterscheinung bevorzugt in Polnähe zu beobachten ist.

(7 Punkte)

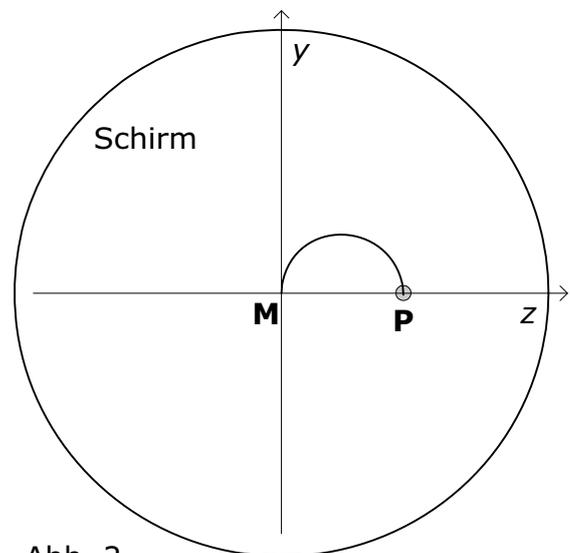


Abb. 2
Projektion der Schraubenbahn auf den Schirm

Hilfsmittel:

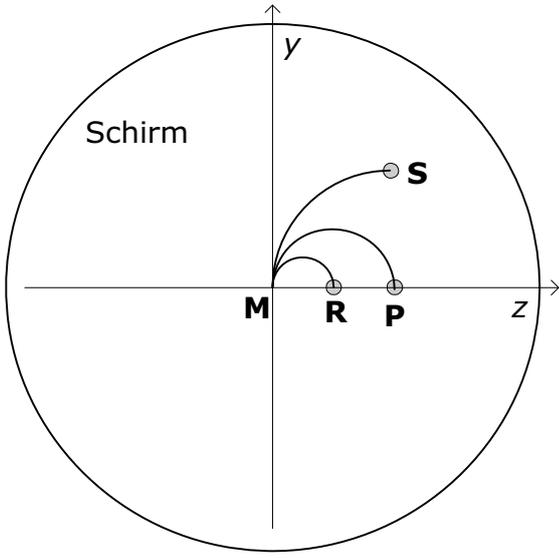
Formelsammlung,
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,
deutsches Wörterbuch

Leistungskurs Physik
Thema: Ladungen und Felder

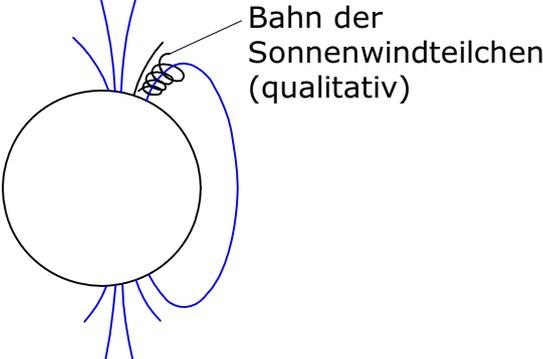
Aufgabe 2) Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern
Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte	
		maximal	erreicht
a)	$\frac{1}{2} m \cdot v_x^2 = e \cdot U_B$ <p>Daraus ergibt sich $v_x = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m}}$.</p>	3	
b)	<p>\vec{v}_x ist parallel zu \vec{B}, d. h. es kann keine Lorentzkraft wirken. v_x ändert sich nicht.</p> <p>Durch das elektrische Feld des Kondensators erhalten die Elektronen einen zunehmenden Geschwindigkeitsanteil senkrecht zu \vec{B}, der nach Durchlaufen des Kondensators den Wert v_y erreicht. (<i>Hinweis: Es genügt, wenn auf v_y hingewiesen wird; die Ablenkung innerhalb des Kondensators braucht nicht untersucht zu werden.</i>) Die Lorentzkraft wirkt jetzt als Radialkraft und zwingt die Elektronen auf eine Kreisbahn. Unabhängig davon führen die Elektronen eine gleichförmige Bewegung in x-Richtung aus. Es entsteht eine Schraubenbahn.</p> $\frac{m \cdot v_y^2}{r} = e \cdot v_y \cdot B$ $v_y = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v_y}$ <p>Aus diesen Gleichungen ergibt sich: $T = \frac{2\pi \cdot m}{e \cdot B}$</p> <p>Die Umlaufdauer ist unter der Voraussetzung konstanter Flussdichte konstant.</p>	2 5 2 2 3	

Leistungskurs Physik
Thema: Ladungen und Felder

c)	<p>Für die Beschleunigung im Kondensatorfeld gilt:</p> $m \cdot a = e \cdot \frac{U_y}{d} \Rightarrow a = \frac{e \cdot U_y}{m \cdot d}.$ <p>Im Kondensator: <i>b</i> gibt die Länge der Kondensatorplatten an, $v_y = a \cdot t$, wobei $t = \frac{b}{v_x}$; danach ist v_y konstant.</p> <p>Formeln für v_y und r herleiten</p> $v_y = \frac{e \cdot U_y \cdot b}{m \cdot v_x \cdot d} \text{ und } r = \frac{m \cdot v_y}{e \cdot B} \text{ (siehe b)}$ <p>Wird nur U_y halbiert, so halbiert sich v_y und damit auch r. Die Umlaufzeit T bleibt unverändert. Die Elektronen treffen im Punkt R auf den Schirm.</p> <p>Wird nur B halbiert, so wird r verdoppelt und T auch verdoppelt (siehe b). Die Elektronen treffen im Punkt S auf den Schirm.</p> <p>Ergänzen der Zeichnung auf dem Aufgabenblatt:</p> 	6	
		6	
		4	

Leistungskurs Physik
Thema: Ladungen und Felder

d)	<p>Die Teilchen des Sonnenwindes stoßen mit Gasteilchen der Atmosphäre zusammen und regen diese auf ein höheres Energieniveau an. Bei den folgenden Übergängen in den Grundzustand wird die Energie als Photon im sichtbaren Bereich abgegeben.</p> <p>Die Sonnenwindteilchen werden auf Spiralbahnen (siehe b) zu den Magnetpolen hin abgelenkt und treten dort in die Atmosphäre ein.</p> <p>Da B zu den Polen hin stärker wird, verringert sich der Radius r (siehe c). Die Stöße finden so häufig und so nah beieinander statt, dass die Lichterscheinung beobachtbar wird.</p> <p>Skizze:</p> 	3	
		4	
		40	

Aufgabe 3) zum Thema Quantenphysik

Hinweise für die Kurslehrkraft

Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.

Aufgabe 3) darf mit Aufgabe 1) oder Aufgabe 2) kombiniert, aber nicht mit Aufgabe 4) zusammen verwendet werden.

Das nachfolgend beschriebene Experiment ist Grundlage der Aufgabe und soll vorgeführt werden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.

Hinweis zum Ausdrucken: Die Aufgabenstellung enthält eine Abbildung, an der eine Messung vorgenommen werden soll (Seite 6). Bitte ändern Sie beim Ausdrucken und Kopieren die Größe nicht. Der große Ring hat 7 cm Durchmesser; bei geänderter Skalierung ändern sich die Ergebnisse entsprechend.

Hinweise zum Demonstrationsexperiment:

Den Schülerinnen und Schülern werden zwei Experimente vorgeführt. Sie erhalten das Messergebnis von Experiment 1 als Graphik sowie ein Foto des Ergebnisses von Experiment 2 in der Anlage zur Aufgabenstellung.

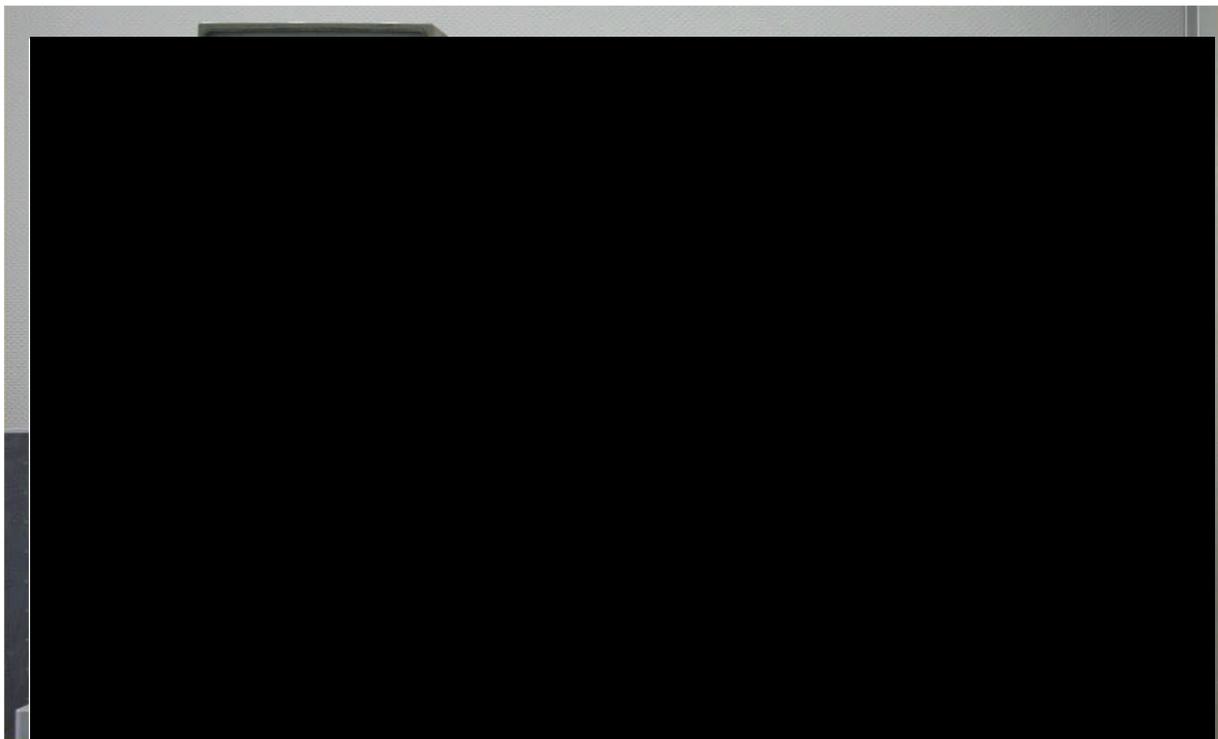


Abb. 2 möglicher Versuchsaufbau für Experiment 1

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Experiment 1:

Das Spektrum der Röntgenstrahlung einer Anode aus Kupfer wird nach dem Bragg-Verfahren aufgenommen. Durch eine Lochblende fällt ein schmales Röntgenstrahlenbündel auf einen Lithiumfluorid-Kristall. Die Strahlungsintensität wird mit dem Geiger-Müller-Zählrohr in Abhängigkeit vom Glanzwinkel gemessen. Durch Drehen des Kristalls wird der Glanzwinkel variiert. Die Zählrate der reflektierten Strahlung wird in Abhängigkeit vom Glanzwinkel gemessen.

Um den Zeitaufwand für die Messung zu begrenzen genügt es, die Intensität für einige ausgewählte Winkel zu messen, z.B. charakteristische Linien oder kurzwellige Grenze. Die Namen dieser markanten Bereiche dürfen dabei nicht genannt werden.

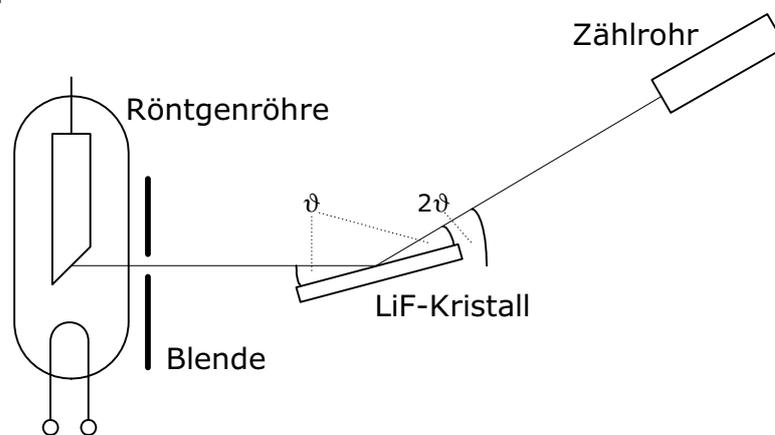


Abb. 2 schematischer Aufbau zu Experiment 1

mögliche Versuchsergebnisse

Auftreff- winkel	8°	9°	10°	12°	14°	16°	18°	20,5°	22°	23°	24°	26°	28°
Impulse pro 10 s	50	500	2200	3100	2300	1600	1100	5600	1300	10700	600	300	200

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Experiment 2:

Die Aufnahme eines Röntgenfilms mit dem Kristallpulver-Verfahren wird nachgestellt. An die Stelle des Lithiumfluorid-Kristalls wird nun ein Röhrchen oder eine Tüte mit NaCl-Kristallpulver gebracht. Dahinter befindet sich im Realversuch ein Röntgenfilm. Bei der Nachstellung empfiehlt es sich, für die Prüflinge eine Abbildung der Röntgenaufnahme anzubringen. Es werden die folgenden Informationen gegeben: Die Tüte bzw. das Röhrchen enthält Natriumchlorid-Kristallpulver. Im Realversuch wäre anstelle der Abbildung ein lichtdicht verschlossener Röntgenfilm angebracht, auf dem nach dem Entwickeln eine Schwärzung entsprechend der Abbildung zu sehen wäre.

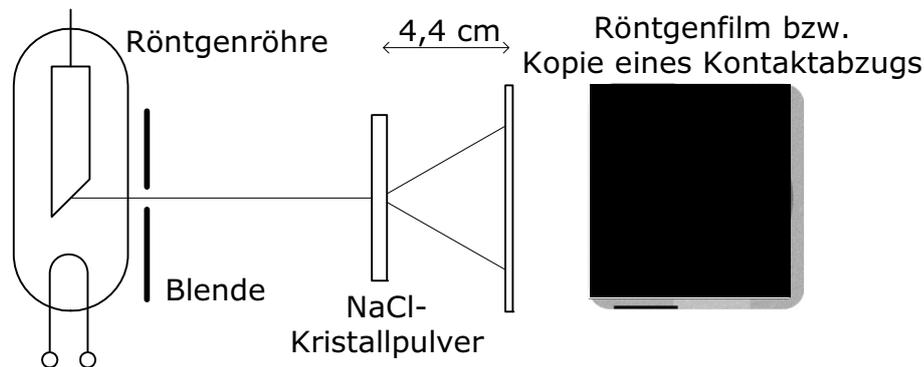


Abb. 3 schematischer Aufbau zu Experiment 2

Um den Zusammenhang mit Experiment 1 zu verdeutlichen, sollte die Kristallpulver-Probe auf Höhe der Drehachse des LiF-Kristalls befestigt werden. An die Stelle des Röntgenfilms tritt eine Kopie von Abb. 2 des Arbeitsmaterials (Anlage 2) in Originalgröße; der Abstand soll wie in der Aufgabenstellung 4,4 cm betragen. Durch diese Anordnung ist die eingebaute Winkelskala gedanklich nutzbar; andere Abmessungen oder Abstände könnten zu Irritationen führen.

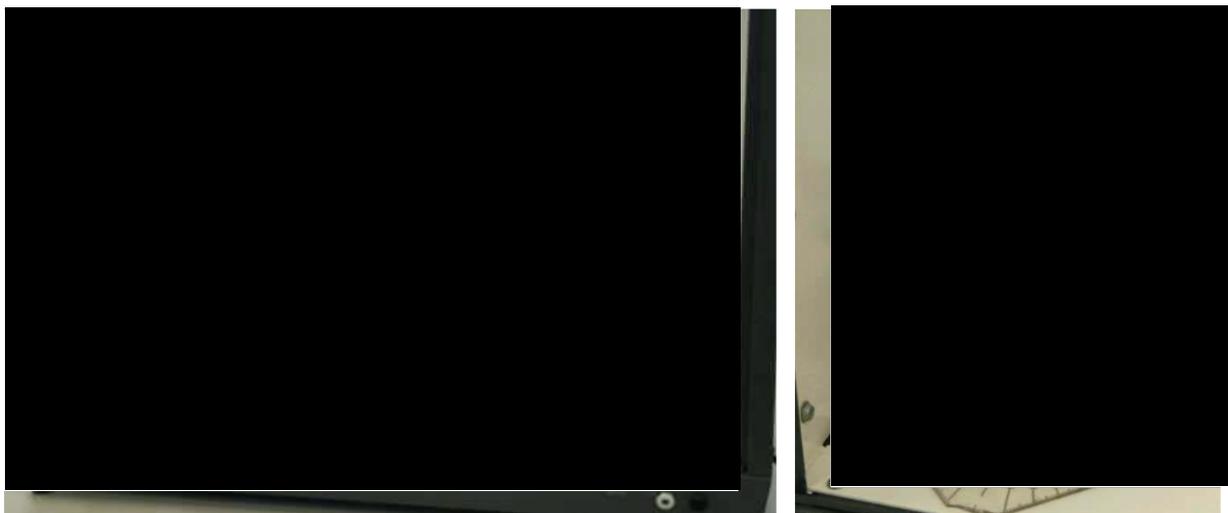


Abb. 4 und 5 nachgestellter Versuchsaufbau zu Experiment 2

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Aufgabe 3) Experimente mit Röntgenstrahlen

Es wird ein Experiment zur Natur von Röntgenstrahlung (Experiment 1) durchgeführt. Ein Experiment zur Analyse von Kristallen (Experiment 2) wird nachgestellt.

- a) Beschreiben Sie Experiment 1. Erläutern Sie das Diagramm Abb. 1 (siehe **Anlage 1**). Gehen Sie insbesondere auf die physikalischen Vorgänge ein, die zur Entstehung von Röntgenstrahlung führen.

(13 Punkte)

- b) Leiten Sie eine Formel zur Wellenlängenbestimmung der Röntgenstrahlung in Experiment 1 her. Bestimmen Sie charakteristische Werte und erläutern Sie diese.

(11 Punkte)

- c) Erklären Sie die Entstehung der Abbildung 2 (siehe **Anlage 2**). Es sind deutlich zwei Ringstrukturen erkennbar. Sie gehören zu zwei verschiedenen Netzebenenabständen im NaCl-Kristall und werden durch Röntgenstrahlung der Wellenlänge 157 pm erzeugt. Berechnen Sie die Netzebenenabstände.

(12 Punkte)

- d) Erklären Sie, ob man Veränderungen auf der Röntgenaufnahme (Abb. 2, siehe **Anlage 2**) erwarten kann, wenn man

1. den Abstand des NaCl-Kristallpulvers zum Film vergrößert bzw.
2. die Anodenspannung erhöht.

(4 Punkte)

Anlage 1: Abbildung 1; Versuchsparameter von Experiment 1

Anlage 2: Abbildung 2; Versuchsparameter von Experiment 2

Hilfsmittel:

Formelsammlung,
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,
deutsches Wörterbuch

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Anlage 1: Abbildung 1; Versuchsparameter für Experiment 1

Die Anodenspannung beträgt $U_a = 20$ kV. Der Netzebenenabstand von Lithiumfluorid beträgt $d = 2,01 \cdot 10^{-10}$ m. Abb. 1 stellt ein mögliches Messergebnis dar.

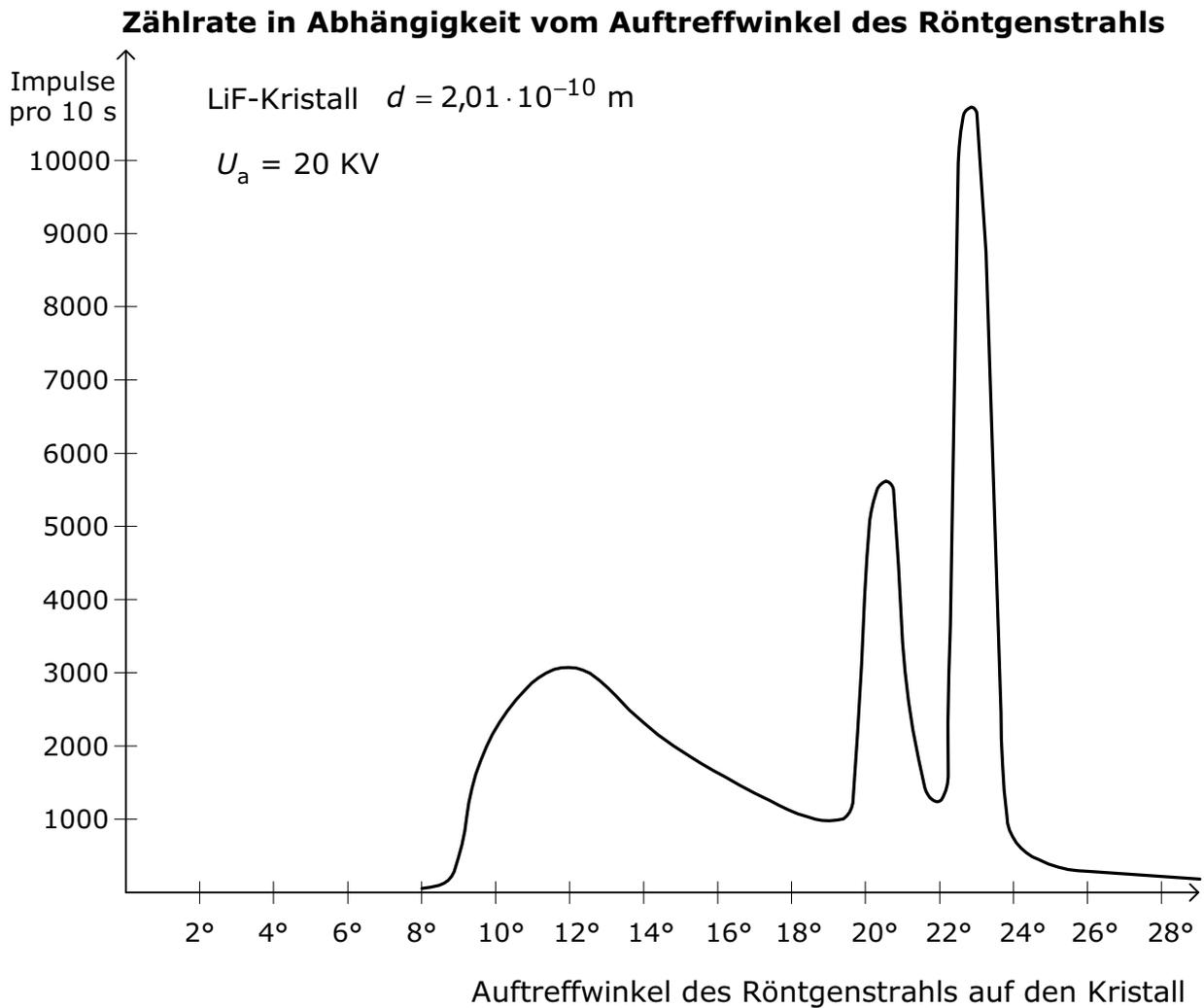


Abbildung 1: Röntgenspektrum

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Anlage 2: Abbildung 2; Versuchsparameter für Experiment 2

Die Anodenspannung beträgt $U_a = 20$ kV. Der Abstand des Röntgenfilmes vom Kristallpulver beträgt 4,4 cm.

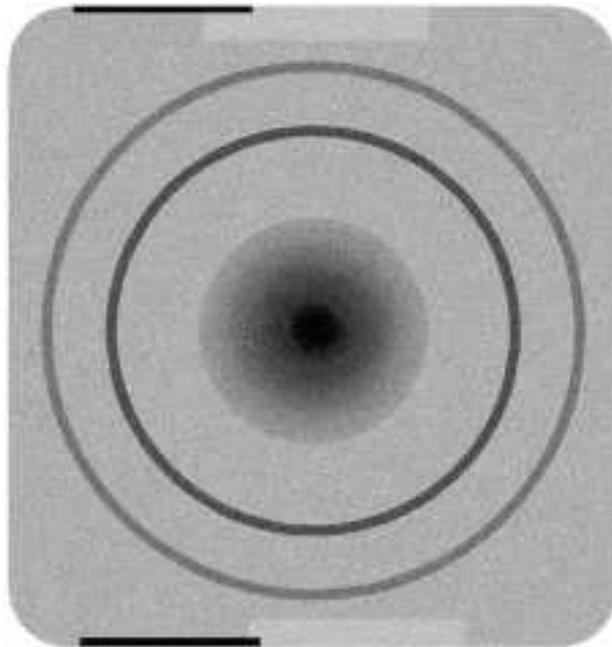


Abbildung 2: nachgestellte Röntgenaufnahme in Originalgröße

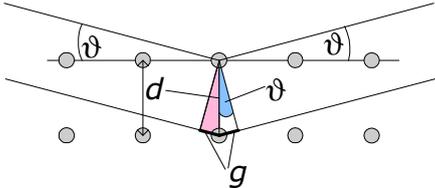
Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Aufgabe 3) Experimente mit Röntgenstrahlen

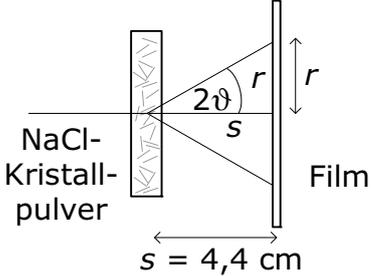
Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte	
		maximal	erreicht
a)	<p>Beschreibung des Experiments: Röntgenröhre, Kristall, Zählrohr; Messung der Zählrate in Abhängigkeit vom Glanzwinkel.</p>	3	
	<p>Der Verlauf des Graphen wird durch die beiden unterschiedlichen Prozesse für die Entstehung von Röntgenstrahlung bestimmt, die ihren Anteil zum Gesamtspektrum liefern. Typisch ist die Existenz einer kürzesten Wellenlänge sowie das Auftreten lokaler Maxima. Das Diagramm zeigt, dass die Intensität der Strahlung von der kürzesten Wellenlänge (beim kleinsten Winkel) beginnend ansteigt, die genannten Maxima durchläuft und zu größeren Wellenlängen (Winkeln) hin wieder abfällt und schließlich den Wert Null erreicht.</p>	2	
	<p>Dieser Intensitätsverlauf ergibt sich aus den folgenden Überlegungen:</p> <p>Dringt ein Elektron in die Elektronenhülle eines Anodenatoms ein, dann wird es im Coulombfeld abgelenkt. Dies bedeutet jedoch eine Beschleunigung und führt zur Abstrahlung elektromagnetischer Wellen in Form eines Röntgenquants der Energie $h \cdot f = \Delta E_{kin}$. Diese Energie ΔE_{kin} ist der dabei auftretende Energieverlust des Elektrons. Bei dieser Art der Erzeugung von Röntgenquanten können alle Energien zwischen Null und einer maximalen Energie für das Quant auftreten. Die maximale Energie $h \cdot f$ entsteht dann, wenn das Elektron seine gesamte kinetische Energie abgibt. Auf die Wellenlänge (Winkel) bezogen kann man sagen, dass das Röntgenbremsspektrum eine kurzwellige Grenze besitzt. Sie hängt nur von der Anodenspannung, nicht jedoch vom Anodenmaterial ab.</p>	4	
	<p>Das auf die Anode auftreffende Elektron kann tief in die Hülle der Atome eindringen und aus einer inneren, normalerweise voll besetzten Schale ein Elektron herausschlagen. Diese Lücke wird sofort von Elektronen der weiter außen liegenden Schalen (L-, M-Schale usw.) ersetzt. Diese Elektronen geben Energie in Form von Röntgenquanten mit der für die Anodensubstanz charakteristischen Frequenz (Wellenlänge) ab. Das resultierende charakteristische Spektrum ist vom Anodenmaterial abhängig. Seine spezifischen Linien überlagern sich mit dem Bremsspektrum.</p>	4	

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

<p>b)</p>	<p>Das Spektrum wird durch Bragg-Reflexion der polychromatischen Strahlung gewonnen. Dabei werden Interferenzmaxima 1. Ordnung winkelabhängig mit einem Geiger-Müller-Zählrohr registriert.</p> <p>Herleitung der Bragg-Bedingung: Skizze, z.B.</p>  <p>Röntgenstrahlen werden an den Ionen des Kristallgitters gestreut, durch Streuzentren in unterschiedlichen Netzebenen verschieden lange Wege (Gangunterschiede) für benachbarte Streuzentren im Netzebenenabstand d, Gangunterschied $\Delta s = 2 \cdot g$; im kleinen Dreieck gilt $\sin \vartheta = \frac{g}{d}$; für konstruktive Interferenz $\Delta s = n \cdot \lambda$, Einsetzen $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \sin \vartheta$</p> <p>Die Bragg-Bedingung $n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \vartheta$ ist jeweils nur für Strahlung einer Wellenlänge erfüllt. Durch Einstellen des Zählrohres auf den doppelten Glanzwinkel wird nur Strahlung dieser Wellenlänge registriert.</p> <p>Es gilt mit $n = 1$ und $d = 2,01 \cdot 10^{-10}$ m z.B.</p> <p>$\vartheta = 9^\circ \Rightarrow \lambda_{\min} = 63$ pm (kurzwellige Grenze)</p> <p>$\vartheta = 21^\circ \Rightarrow \lambda_1 = 144$ pm (charakteristische Strahlung)</p> <p>$\vartheta = 23^\circ \Rightarrow \lambda_2 = 157$ pm (charakteristische Strahlung)</p>	<p>7</p>	<p>4</p>
-----------	---	----------	----------

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

<p>c)</p>	<p>Charakteristische Röntgenstrahlung wird durch das Kristallpulver gestreut und mit dem Röntgenfilm als Ring registriert, Bremsstrahlung führt zum Hintergrund.</p> <p>Im Kristallpulver sind alle Kristallorientierungen statistisch verteilt über den ganzen Raum anzutreffen. Die Richtungen, die die Bragg-Bedingungen erfüllen, sind auch vorhanden, sie streuen die Strahlung in einem Kegel mit dem halben Öffnungswinkel 2ϑ in den Raum, was als Kreis auf dem Film sichtbar wird</p>  <p>Auswertung</p> $\sin \vartheta = \frac{1 \cdot \lambda}{2d} \quad \text{und} \quad \tan 2\vartheta = \frac{r}{s}; \quad d = \frac{1 \cdot \lambda}{2 \sin \left(0,5 \cdot \arctan \frac{r}{s} \right)} \quad \text{oder}$ <p>explizite Angabe des jeweiligen Winkels und Einsetzen in die Bragg-Bedingung</p> <p>$r_1 = 2,65 \text{ cm} \quad s = 4,4 \text{ cm} \quad \lambda = 157 \text{ pm} \quad d_1 = 293 \text{ pm}$ $r_2 = 3,5 \text{ cm} \quad s = 4,4 \text{ cm} \quad \lambda = 157 \text{ pm} \quad d_2 = 238 \text{ pm}$</p>	<p>3</p> <p>4</p> <p>5</p>	
<p>d)</p>	<p>Der Radius wird proportional zum Abstand größer. Das ergibt sich aus Teilaufgabe c).</p> <p>Die Kreisradien sind von der Anodenspannung unabhängig, es ändert sich nur die Intensität. Die Anodenspannung muss allerdings den Mindestwert überschreiten, der zur Erzeugung von Röntgenstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 157 \text{ pm}$ erforderlich ist.</p>	<p>4</p>	
		<p>40</p>	

Aufgabe 4) zum Thema Quantenphysik

Hinweise für die Kurslehrkraft

Die Lehrkraft wählt zwei der Aufgaben 1) bis 4) aus. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten beide Aufgaben.

Aufgabe 4) darf mit Aufgabe 1) oder Aufgabe 2) kombiniert, aber nicht mit Aufgabe 3) zusammen verwendet werden.

Die nachfolgende Aufgabe ist nicht mit der Durchführung eines Experimentes verbunden. Den Schülerinnen und Schülern dürfen nur die Schülerversion der Aufgabe sowie die angegebenen Hilfsmittel ausgehändigt werden.

Aufgabe 4) Beugung von Heliumatomen an Transmissionsgittern

Beugungsexperimente können nicht nur mit Licht, sondern auch mit Materiestrahlen durchgeführt werden. Dazu müssen die Teilchen auf entsprechend hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden. Eine einfache Möglichkeit besteht für elektrisch geladene Teilchen z. B. mit folgender Anordnung:

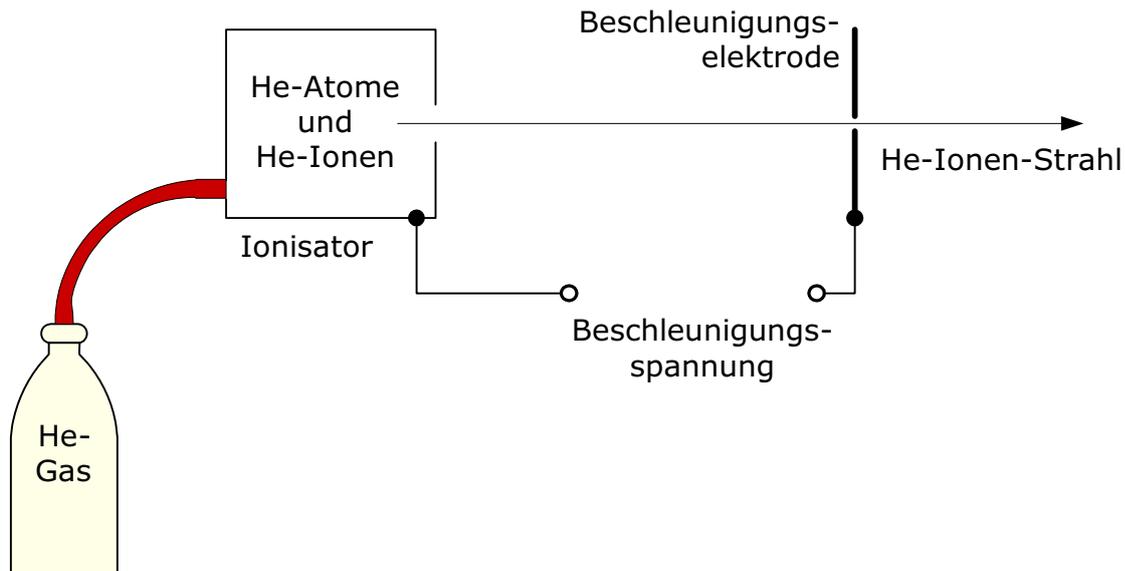


Abb. 1: schematischer Aufbau zum Erzeugen eines Helium-Ionenstrahls

- a) Nennen Sie mindestens zwei Möglichkeiten, Heliumatome zu ionisieren. Geben Sie die elektrische Beschaltung der Anordnung an. Berechnen Sie die Spannung, die erforderlich ist, um zweifach ionisiertem Helium eine Geschwindigkeit von 1500 km/s zu verleihen. Diskutieren Sie die Auswirkungen, wenn im Ionisator ein Gemisch aus einfach und zweifach ionisiertem Helium entsteht.

(9 Punkte)

weiter auf der nächsten Seite

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Göttinger Physikern ist es sogar gelungen, ein Experiment zur Beugung von (neutralen) Heliumatomen durchzuführen. Sie verwendeten die in Abbildung 2 dargestellte Apparatur, um einen parallelen Strahl aus Helium-Atomen auf ein Gitter zu schicken. Die He-Atome hatten alle in etwa die gleiche Geschwindigkeit und wurden nach dem Gitterdurchgang für verschiedene Winkel ϑ mit einem Detektor gezählt. Das Versuchsergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Winkel ϑ ist in mrad angegeben, $1 \text{ mrad} = 10^{-3} \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} \cdot 10^{-3}$.



Abb. 2 schematischer Versuchsaufbau; Abstand der Gitteröffnungen $d = 100 \text{ nm}$

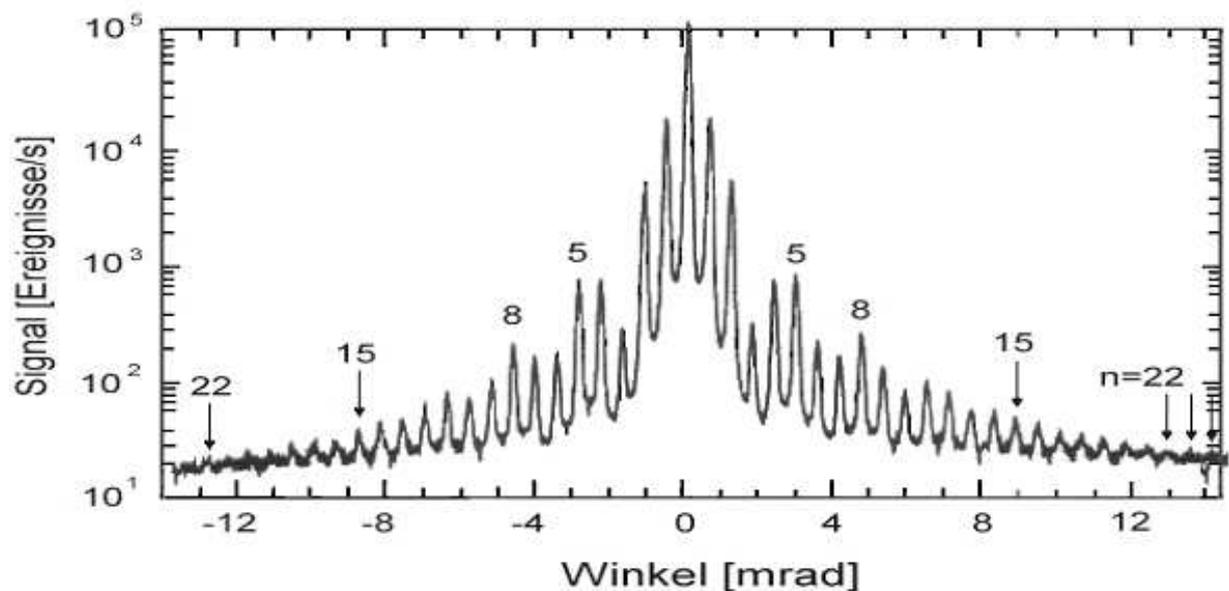


Abb. 3: Anzahl detektierter He-Atome in Abhängigkeit vom Winkel; die Nummern geben die Ordnung der Maxima an.

- b) Leiten Sie die Bedingung $n \cdot \lambda = d \cdot \sin \vartheta$ für eine konstruktive Interferenz am Gitter her. Erläutern Sie rein qualitativ das Versuchsergebnis und begründen Sie, warum diejenigen Heliumatome, die jeweils zu einem Intensitätsmaximum beitragen, bei diesem Experiment die gleiche Geschwindigkeit besitzen müssen. Berechnen Sie die de Broglie-Wellenlänge der Heliumatome mit Hilfe der in Abbildung 3 dargestellten Versuchsergebnisse und bestimmen Sie daraus die Geschwindigkeit der Heliumatome.

(21 Punkte)

weiter auf der nächsten Seite

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

c) Diskutieren Sie ausführlich die folgende Aussage eines Mitschülers:

„Damit es hinter dem Gitter zu Interferenzerscheinungen kommen kann, muss jedes Heliumatom mindestens durch zwei der Öffnungen gleichzeitig geflogen sein.“

(6 Punkte)

d) Die Göttinger Physiker haben mit einem ähnlichen Versuch nachgewiesen, dass sich Heliumatome unter bestimmten Bedingungen (tiefe Temperaturen) zu sogenannten Clustern (2, 3 oder mehr Atome in einem Verband) zusammenfinden. Das Messergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt. Dabei treten jetzt viel mehr Maxima auf. Mit 1 sind die Maxima des einzelnen Heliumatoms, mit 2 die eines sogenannten Heliumdimers und mit 3 sind die Maxima eines Heliumtrimers aus 3 Atomen gekennzeichnet.

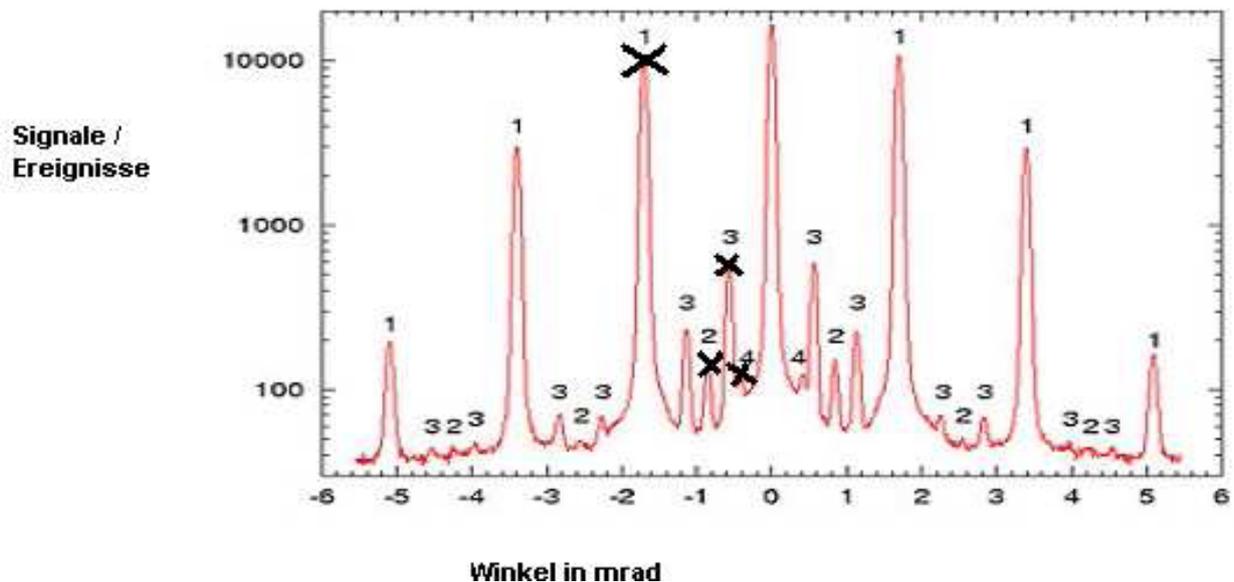


Abb. 4: Anzahl detektierter Teilchen in Abhängigkeit vom Winkel; die Nummern geben die Anzahl der He-Atome im Cluster an; die Maxima 1. Ordnung sind jeweils mit Kreuzen gekennzeichnet.

Erklären Sie die Lage der Maxima erster Ordnung (Kreuze) zueinander. Dabei wird vorausgesetzt, dass alle Teilchen sich mit etwa gleicher Geschwindigkeit bewegen.

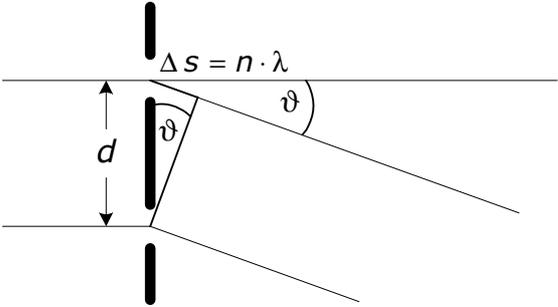
(4 Punkte)

Hilfsmittel:

Formelsammlung,
nichtprogrammierbarer Taschenrechner,
deutsches Wörterbuch

Leistungskurs Physik
Thema: Quantenphysik

Aufgabe 4) Beugung von Heliumatomen an Transmissionsgittern
Erwartete Schülerleistungen und Bewertungskriterien

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	Punkte	
		maximal	erreicht
a)	<p>Ionisierung z.B. thermisch, ionisierende Strahlung, Gasentladung</p> <p>Polung der Beschleunigungsspannung angeben: – an der Beschleunigungselektrode, + am Gehäuse des Ionisators.</p> <p>Die Masse beträgt $4 u = 6,692 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ (Elektronenmassen vernachlässigt), die Ladung beträgt $2e$.</p> <p>$2eU = \frac{1}{2}mv^2$ führt auf $U = \frac{mv^2}{4e} \approx 23\,500 \text{ V}$.</p> <p>Die einfach ionisierten Teilchen erfahren nur die halbe Beschleunigung und erreichen deshalb eine kleinere Geschwindigkeit (<i>Der Faktor $\sqrt{\frac{1}{2}}$ wird wegen der qualitativen Betrachtung nicht erwartet</i>).</p>	2 5 2	
b)	<p>Skizze mit Größen</p>  <p>Formel für die Maxima aufstellen: $\sin \vartheta = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ $n \cdot \lambda = d \cdot \sin \vartheta$</p>	5	

