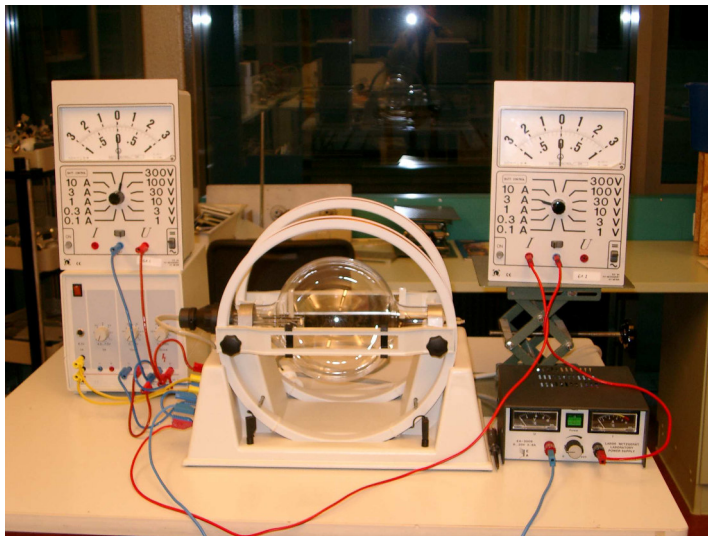


Aufgabe zum Thema „Ladungen und Felder“

Hinweise für die Kurslehrkraft

Das nachfolgende Experiment ist Grundlage der Aufgabe und soll vorgeführt werden; den Schülerinnen und Schülern ist nur der Text auf Seite 2 auszuhändigen.

Das Fadenstrahlrohr mit Helmholtzspulen wird aufgebaut. Die Beschleunigungsspannung wird eingestellt. Anschließend wird die Stromstärke durch die Helmholtz-Spulen verändert, bis sich eine Kreisbahn ergibt. Dies wird für verschiedene Stromstärken wiederholt. Die Schüler messen Stromstärke und Radius der Kreisbahn (über Spiegel und Maßstab).

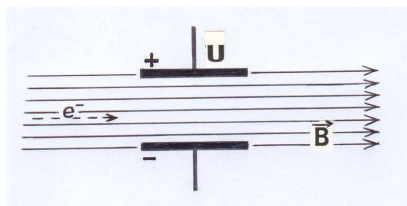


Mögliche Messtabelle ($U = 250 \text{ V}$)

r in cm	2	3	4	5
I in A	3,9	2,6	1,9	1,6

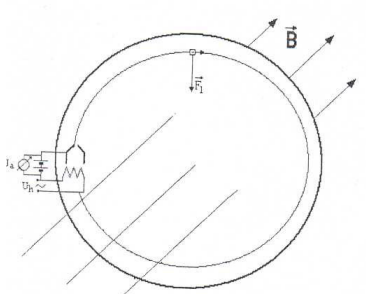
Aufgabe zum Thema „Ladungen und Felder“

1. Zeichnen Sie eine Skizze der Versuchsanordnung mit elektrischer Beschaltung. Beschreiben Sie den vorgeführten Versuch und begründen Sie die Entstehung der beobachteten Bahn der Elektronen. Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen ins Magnetfeld eintreten. Muss hier relativistisch gerechnet werden? Begründen Sie Ihre Aussage.
2. Ermitteln Sie aus den Messwerten die spezifische Elektronenladung $\frac{e}{m}$ und geben Sie den prozentualen Fehler des Mittelwertes an. Leiten Sie die zur Berechnung notwendige Formel $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$ her.
(Hinweis: Der Betrag der magnetischen Feldstärke B des Helmholtzspulenpaares lässt sich nach Helmholtz berechnen mit: $B = 0,715 \cdot \frac{\mu_0 n I}{R}$; $n = 154$ Anzahl der Windungen, $R = 0,2$ m Radius der Helmholtz-Spulen)
3. Verwendet man ein Fadenstrahlrohr, das unter niedrigem Druck mit Neongas als Leuchtgas gefüllt ist, so erkennt man einen rot leuchtenden Kreis. Bestimmen Sie mit Hilfe des vereinfachten Termschemas von Neon (Neon besitzt zwei Anregungsniveaus mit 18,5 eV bzw. 16,6 eV) die Wellenlänge des roten Lichts. Entsteht im Fadenstrahlrohr noch andere Strahlung? Bestimmen Sie ggf. die Wellenlänge.
4. Das Fadenstrahlrohr wird jetzt so gedreht, dass die Elektronenstrahlrichtung und Magnetfeldrichtung übereinstimmen. Zusätzlich soll der Strahl durch einen Ablenkkondensator beeinflusst werden. Erläutern Sie die dann entstehende Bahnform hinter dem Kondensator.



Hilfsmittel: Formelsammlung, nicht programmierbarer und nicht graphikfähiger Taschenrechner, deutsches Wörterbuch

Erwartungshorizont Aufgabe „Ladungen und Felder“

Teilaufgabe	Erwartete Leistung	I	II	III	
a	<p>Skizze mit Beschaltung Röhre mit Leuchtgas vom homogenen Magnetfeld durchsetzt, das von den Helmholtz-Spulen erzeugt wird.</p>  <p>Das Magnetfeld sorgt mit wachsendem I für eine stärkere Krümmung des Elektronenstrahls bis eine Kreisbahn entsteht. Da sich die Elektronen senkrecht zum Magnetfeld bewegen, wirkt die Lorentzkraft senkrecht zur Bewegungsrichtung und zum Magnetfeld. So entsteht die Kreisbahn.</p> $\frac{1}{2}mv^2 = eU \text{ (Energieansatz)}$ <p>Umformung liefert $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$</p> <p>v berechnen $v = \approx 0,03 \cdot c$, daher ist eine relativistische Betrachtung nicht notwendig.</p>	3	4		
b	<p>Messwerte für Radius und Stromstärke bestimmen Magnetfeld berechnen Werte für e/m berechnen Mittelwert bestimmen, Abweichung bestimmen Herleitung der Formel:</p> $\frac{mv^2}{r} = evB \text{ (Lorentzkraft als Zentralkraft)}$ <p>Ansatz aus a) $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ einsetzen und Umformung</p> <p>liefert: $\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r}$</p>	4 2 2	5		
c	<p>Leuchten als Wechselwirkung zwischen Neonatomen und Elektronen erkennen Elektronen regen Neonatome auf höheres Energieniveau an, diese können unter Aussendung eines Photons in geringeres Niveau übergehen. Das rote Leuchten entspricht dem Übergang von 18,5 eV auf 16,6 eV. Es wird ein Photon mit 1,9 eV</p>		2 2		

	<p>emittiert, dem entspricht eine Wellenlänge $(\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c \cdot h}{E})$ von $\lambda = 651 \text{ nm}$ (roter Bereich).</p> <p>Es sind aber auch Übergänge von den beiden Anregungsniveaus in den Grundzustand denkbar. Diesen Übergängen entsprechen Wellenlängen von 67 nm bzw. 75 nm (UV-Strahlung)</p>	1	2		
d	<p>Nach Durchqueren des Kondensators haben die Elektronen eine zusätzliche Geschwindigkeitskomponente v_y. Das B-Feld wirkt senkrecht auf den Anteil v_y und bewirkt eine Kreisbahn.</p> <p>Die Geschwindigkeitskomponente v_x bleibt durch das Magnetfeld unbeeinflusst und sorgt für eine zusätzliche geradlinige Bewegung in Richtung des B-Feldes.</p> <p>Die unabhängige Überlagerung dieser Anteile erzeugt die Schraubenbahn.</p>		4		

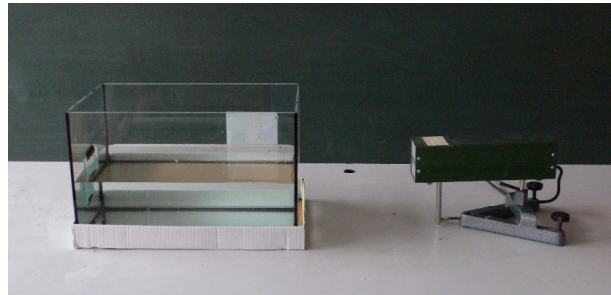
Aufgabe zum Thema „Schwingungen und Wellen“

Hinweise für die Kurslehrkraft

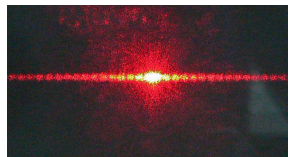
Das nachfolgende Experiment ist Grundlage der Aufgabe und soll vorgeführt werden; den Schülerinnen und Schülern ist nur der Text auf Seite 2 auszuhändigen.

An der einen Wand eines Aquariums wird innen ein Doppelspalt angebracht, an der gegenüber liegenden Wand ein Schirm. Der Doppelspalt wird von einem Laser so beleuchtet, dass das Licht im ersten Versuch ganz in Luft verläuft, im zweiten ganz in Wasser. Auf dem Schirm werden die jeweiligen Interferenzmuster ausgewertet.

Möglicher Versuchsaufbau:



Mögliches Ergebnis:

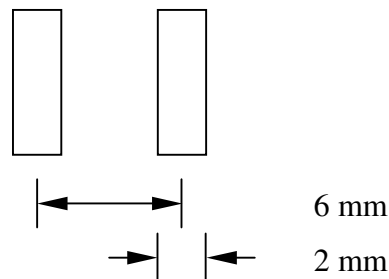


Mögliche Messwerte:

1. Der verwendete Doppelspalt weist eine Spaltbreite von 0,1 mm und einen Spaltmittenabstand von 0,3 mm auf. Das sind auch die Ergebnisse der Teilaufgabe 3. Bei Verwendung eines anderen Spaltes müssen die Werte auf dem Aufgabenblatt entsprechend verändert werden!
2. Die Länge des verwendeten Aquariums beträgt 39,3 cm.
3. Bei einem Abstand von $a = 0,84$ mm für die beobachteten Minima ergibt sich für die Wellenlänge des Lasers in Luft $\lambda = 641$ nm.
Bei einem Abstand von $a = 0,63$ mm für die beobachteten Minima ergibt sich für die Wellenlänge des Lasers in Wasser $\lambda = 481$ nm.
Daraus errechnet sich die gesuchte Geschwindigkeit zu $c_w = 2,250 \cdot 10^8$ m/s.

Aufgabe zum Thema „Schwingungen und Wellen“

1. Beschreiben Sie das vorgeführte Experiment, begründen Sie die Anordnung von Doppelspalt und Schirm und leiten Sie eine Formel zur Bestimmung der Wellenlänge des Lichtes mit Hilfe eines Doppelspaltes her.
2. Erklären und begründen Sie ausführlich Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Beobachtung, wenn im Experiment mit Luft als Medium ein Spalt des Doppelspaltes abgedeckt wird.
3. Der Doppelspalt aus dem Experiment befinde sich 20 cm vor einer Sammellinse. Auf einem 4 m entfernten Schirm beobachtet man das folgende Bild:



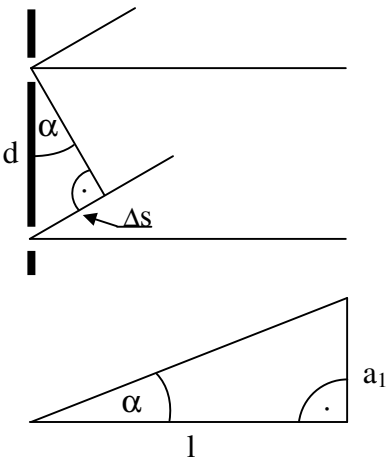
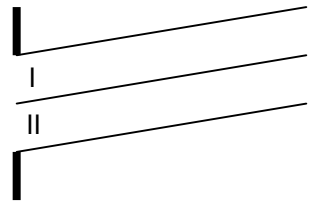
Erläutern Sie den Begriff der Brechzahl. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des verwendeten Laserlichtes in Wasser.

Die Lichtgeschwindigkeit beträgt in Luft $2,998 \cdot 10^8$ m/s.

4. a) Beschreiben und erklären Sie, welche Beobachtungen man macht, wenn man statt des Lasers weißes Licht verwendet.
- b) Beschreiben und erklären Sie, welche Beobachtungen man macht, wenn man bei Verwendung eines Lasers vor einem der beiden Spalte ein wenige μm dickes, planparalleles Glasplättchen anbringt.

Hilfsmittel: Formelsammlung, nichtprogrammierbarer Taschenrechner, deutsches Wörterbuch

Aufgabe zum Thema „Schwingungen und Wellen“

Teil-aufg.	Erwartete Leistung	I	II	III	Σ	P	Bemerkungen
1	Beschreibung: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Laserlicht ▪ Wasserbehälter ▪ Doppelspalt/Schirm ▪ Innen an den Wänden ▪ System von Interferenzstreifen 	5			5		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brechung an den Glaswänden beeinflusst ▪ Abstände auf dem Schirm 		2		2		
	Skizze mit genauen Erläuterungen 	4			4		
	$\sin \alpha = \Delta s / d$, $\tan \alpha = a_1 / l$ für kleine Winkel gleichsetzen, für a_1 gilt $\Delta s = \lambda$ und damit $\lambda = a_1 d / l$		5		5		
2	Jetzt Beugung am Einzelspalt:  Graphiken wie diese zur Begründung der Formel $\sin \alpha_n = n \lambda / b$;		1				
			2		10		
		3					

	erkennen, dass beim Doppelspalt die Struktur erhalten bleibt, dass aber eine Feinstruktur dazu kommt (Verdoppelung des Einzelspaltergebnisses mit quasi unmerklichem Abstand und zusätzliche Interferenzen)		4				
3	<p>$G/B = g/b$ $G = gB/b$ $G = 0,3 \text{ mm (0,1 mm)}$</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quotient der Wellenlängen ▪ stoffpaarabhängig ▪ $c = \lambda \cdot f$ ▪ $n = c_l/c_w = \lambda_l/\lambda_w$ ▪ $c_w = \text{gem. Messwert}$ 	3			8		
4a	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mitte weiß ▪ Dispersion ab 1. Max. ▪ blau innen, rot außen 		3		3		
4b	<ul style="list-style-type: none"> ▪ parallel verschoben ▪ größerer Gangunterschied ▪ Verschiebung des Musters 			3	3		
		17	20	3	40		

Aufgabe zum Thema „Beugung von Elektronen am Doppelspalt“

C. Jönsson hat im Jahr 1961 einen Elektronenstrahl durch einen feinen Doppelspalt geschickt (Spaltbreite $0,3 \mu\text{m}$, Spaltabstand $1,2 \mu\text{m}$). Er erhielt im Abstand von 36 cm ein Schirmbild, das in Bild 1 in 1000-facher Vergrößerung gezeigt ist.

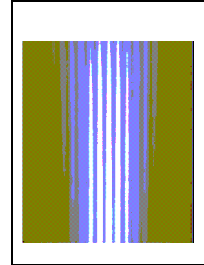
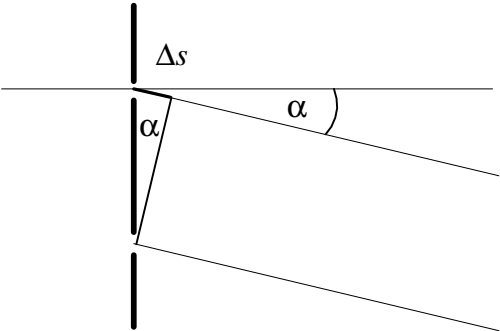
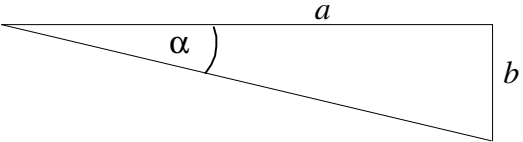


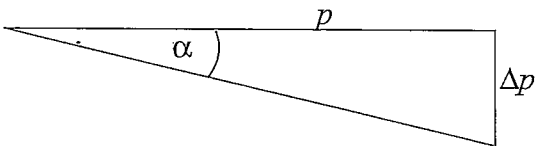
Bild 1

1. Diskutieren Sie dieses Experiment aus der Sichtweise der klassischen Physik. Welche Deutungsprobleme ergeben sich?
2. Interpretieren Sie das Schirmbild wellentheoretisch.
Berechnen Sie die Wellenlänge der ‘Elektronenwelle’ aus den oben angegebenen bzw. dem Bild zu entnehmenden Messdaten. Leiten Sie die verwendeten Formeln her (mit kommentierten Skizzen).
3. Die Elektronen wurden mit einer Spannung von 50 kV beschleunigt. Berechnen Sie (nichtrelativistisch) die den Elektronen von De Broglie zugeordnete Wellenlänge und vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebnis von Aufgabe 2.
4.
 - a) Nennen Sie weitere Experimente, bei denen die ‘Welleneigenschaften’, und solche, bei denen die ‘Teilcheneigenschaften’ des Elektrons zu Tage treten. Welche Gemeinsamkeiten weisen Experimente auf, bei deren Deutung man auf Welleneigenschaften des Elektrons zurückgreift?
Erläutern Sie kurz, wie die Welle-Teilchen-Problematik in der Quantentheorie gelöst wird.
 - b) Wenn nur einer der beiden Spalte geöffnet ist, zeigt sich auf dem Schirm ein verbreitertes Bild des Spalts. Schätzen Sie die Bildbreite mit Hilfe der Unschärferelation $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$.

Hilfsmittel: Formelsammlung; nichtprogrammierbarer Taschenrechner, deutsches Wörterbuch

Aufgabe zum Thema „Beugung von Elektronen am Doppelspalt“

Teil-aufg.	Erwartete Leistung	I	II	III	Σ	P	Bemerkungen
1.	<p>Klassisch werden zwei Streifen erwartet. Jedes Elektron, das auf den Schirm gelangt, sollte durch einen der beiden Spalte fliegen und unbeeinflusst davon bleiben, ob der andere Spalt geöffnet oder geschlossen ist. Wenn Elektronen klassische Teilchen wären, bliebe unverständlich, warum mehr als zwei Streifen entstehen.</p>	3					
2.	<p>Das Schirmbild ist ein typisches Interferenzbild, wie es beim Doppelspalt mit Licht zu erwarten ist. Konstruktive Interferenz: $\Delta s = n \cdot \lambda$ kommentierte Zeichnung:</p>  <p>$\sin \alpha = n \cdot \frac{\lambda}{d}$</p> <p>Bestimmung von α: kommentierte Zeichnung:</p>  <p>$\tan \alpha = \frac{b}{a}$</p> <p>Messung im Bild ergibt: $b = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ $a = 0,36 \text{ m} \Rightarrow \alpha = 2,626 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ$ $\lambda = d \cdot \sin \alpha = 5,5 \cdot 10^{-12} \text{ m.}$</p>	2	3	2	2	1	4

Teil-aufg.	Erwartete Leistung	I	II	III	Σ	P	Bemerkungen
3.	$e \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p = \sqrt{2 \cdot m \cdot U \cdot e}$ $p = 1,207 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$ $\lambda = \frac{h}{p} = 5,49 \cdot 10^{-12} \text{ m,}$	1 2	3				
4a)	<p>Welleneigenschaften: Versuch von Davisson und Germer zur Elektronenbeugung an Mikrokristallen., v. Laue-Diagramme Teilcheneigenschaften: Millikan-Versuch, Fadenstrahlrohr.</p> <p>Welleneigenschaften des Elektrons treten zutage bei Interferenz an Objekten, deren Größe in der Größenordnung der De Broglie-Wellenlänge des Elektrons liegt und wenn Elektronen in entsprechend kleinen Raumbereichen 'eingesperrt' sind, z.B. in Atomen.</p> <p>Quantentheorie: Dem Elektron wird eine ψ-Funktion zugeordnet. ψ wird als Lösung der Schrödingergleichung rechnerisch bestätigt. Durch $\psi^2 \cdot \Delta V$ erhält man die Wahrscheinlichkeit, das Elektron in ΔV zu finden. ψ ist eine Wellenfunktion, die dem Überlagerungsprinzip genügt und Interferenzen zeigt.</p>	2 2	3 2				
4b)	$x \cdot \Delta p = h \Rightarrow \Delta p = \frac{h}{\Delta x} = 2,2 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ <p>kommentierte Zeichnung:</p>  $\tan \alpha = \frac{\Delta p}{p} \Rightarrow \alpha = 0,001^\circ$ $b = a \cdot \tan \alpha \Rightarrow \text{Breite } 0,013 \text{ mm.}$		2 2 2	2			
		16	20	4	40		

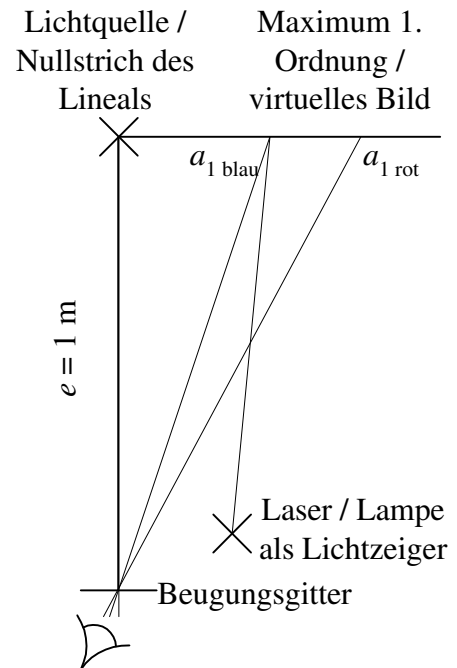
Aufgabe zum Thema Quantenphysik

Hinweise für die Kurslehrkraft

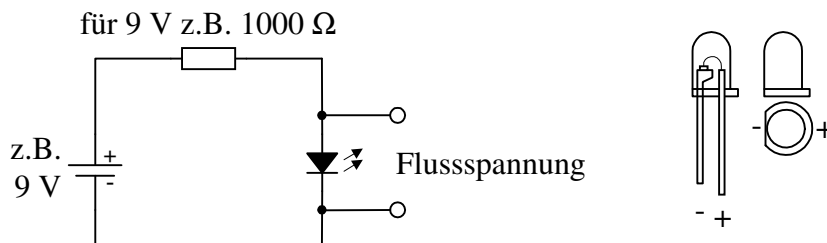
Das nachfolgende Experiment ist Grundlage der Aufgabe und soll vorgeführt werden; den Schülerinnen und Schülern ist nur der Text auf Seite 3 auszuhändigen.

Zwei superhelle Leuchtdioden (blau und rot) werden senkrecht übereinander auf Höhe des Nullstrichs einer Skala (Lineal) angebracht und aus einer Entfernung von z.B. einem Meter durch ein Gitter (z.B. 600 Linien pro Millimeter) subjektiv beobachtet. Mit einem Laser oder einer Lampe mit Linse als Lichtzeiger können die Schülerinnen und Schüler individuell die Lage der Interferenzmaxima auf der Skala markieren.

Dabei sollen keine Vorgaben für das Vorgehen bei der Messung gemacht und keine Messwerte bekannt gegeben werden. Jedoch kann empfohlen werden, den Lichtweg zwischen Gitter und LED mit der Hand zu unterbrechen, um störende Reflexe von den gesuchten Maxima zu unterscheiden. Der Aufbau kann mit dunklen Tüchern oder Pappen so gegen die Raumbeleuchtung abgeschirmt werden, dass eine ungestörte Messung auch ohne Verdunklung möglich ist.

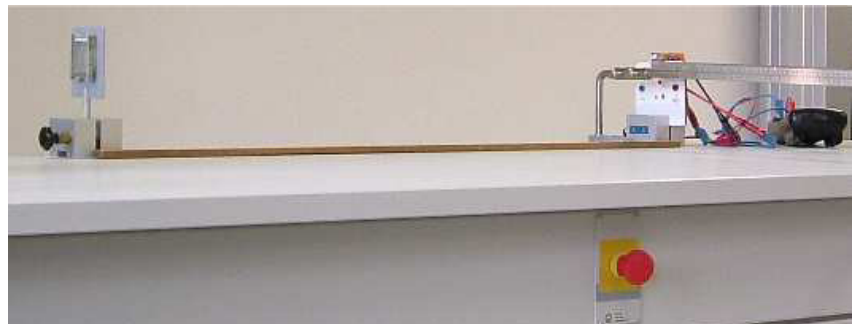


An jeder Leuchtdiode wird mit einem Voltmeter die Flussspannung gemessen.



Falls ein Fertiggerät mit Leuchtdioden zur Verfügung steht, müssen ggf. vorhandene Angaben der Wellenlänge überklebt werden.

Die Längenmessung sollen die Schülerinnen und Schüler einzeln selbst durchführen. Nach dem Ende einer Messung soll der Lichtzeiger in eine definierte Stellung, z.B. an das rechte Ende der Skala zurückgebracht werden.

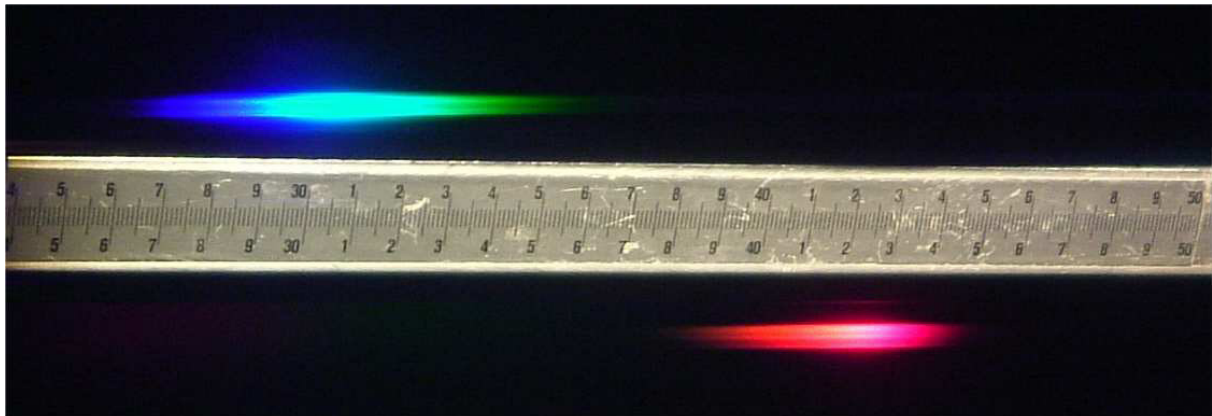
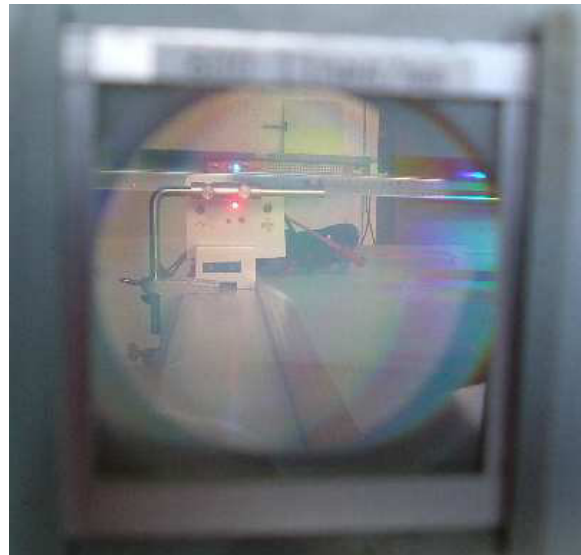


Die Gitterkonstante wird bekannt gegeben bzw. auf die Aufschrift wird hingewiesen.

Aufgabe zum Thema Quantenphysik

möglicher Versuchsaufbau / mögliche Messwerte

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen mögliche Ergebnisse. Den Schülerinnen und Schülern ist nur der Text auf Seite 3 auszuhändigen.



Flussspannung
der blauen LED



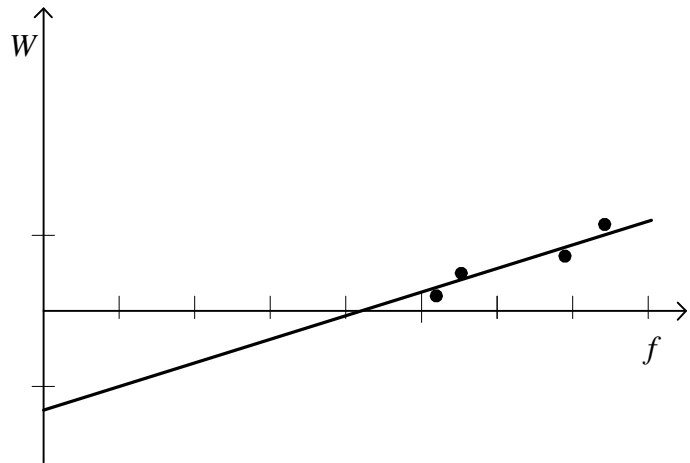
Flussspannung der
roten LED

Aufgabe zum Thema Quantenphysik

1. Durch Messen der Flussspannung einer Leuchtdiode kann das Planck'sche Wirkungsquantum bestimmt werden. Erläutern Sie das Messprinzip und leiten Sie eine Formel her.
2. Beschreiben Sie das vorgeführte optische Experiment. Leiten Sie eine Formel zur Bestimmung der Wellenlänge her.
3. Markieren Sie mit dem Lichtzeiger für jede der beiden Leuchtdioden eine geeignete Stelle auf der Skala. Bestimmen Sie aus jedem der beiden Messwerte das Planck'sche Wirkungsquantum.

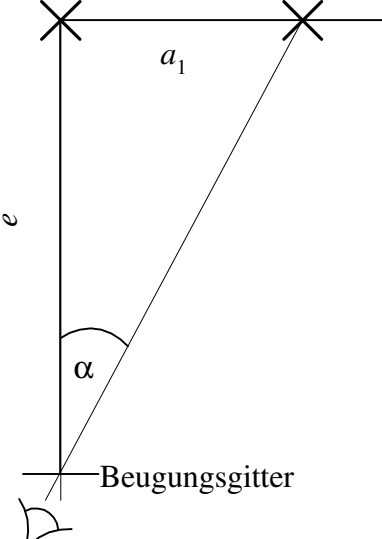
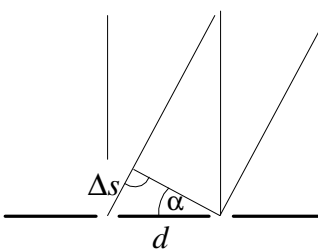
4. Bestimmt man das Planck'sche Wirkungsquantum mit einer Vakuum-Fotozelle, empfiehlt sich für die Auswertung eine Ausgleichsgerade.

Erläutern Sie die Zeichnung. Nehmen Sie Stellung zur mathematischen Vorgehensweise bei den beiden Messwerten aus Aufgabe 3.



Hilfsmittel: Formelsammlung, nichtprogrammierbarer Taschenrechner, deutsches Wörterbuch

Aufgabe zum Thema Quantenphysik

Teil-aufg.	Erwartete Leistung	I	II	III	Σ	P	Bemerkungen
1.	<p>Messprinzip erläutern und Formel herleiten: Energie der Ladungsträger nach $W = U \cdot e$ aus der Spannungsmessung bestimmbar; Energie der Photonen $W = h \cdot f$ nach $c = \lambda \cdot f$ aus der Wellenlänge bestimmbar; Energie der Ladungsträger und Energie der Photonen sind gleich groß; $h = \frac{U \cdot e}{f}$</p>	4					
2.	<p>Skizze mit Strecken und Lichtwegen</p> <p>Lichtquelle / Maximum 0. Ordnung Maximum 1. Ordnung / virtuelles Bild</p>  <p>virtuelle Bilder</p> <p>Formelherleitung mit genauen Erläuterungen zu den beiden Skizzen:</p> $\sin \alpha = \frac{a_1}{\sqrt{e^2 + a_1^2}} \text{ aus der oberen Skizze,}$  <p>$\sin \alpha = \frac{\Delta s}{d}$, für a_1 ist $\Delta s = 1 \cdot \lambda$;</p> <p>Ergebnis $\lambda = \frac{a_1 \cdot d}{\sqrt{e^2 + a_1^2}}$</p>	5					
			2				
			5				

3.	<p>kurzwelliges Ende des Spektrums wählen und begründen: nur hier wird die gesamte Energie der Ladungsträger auf das Photon übertragen</p> <p>Messung ausführen, Messwerte angeben</p> <p>λ berechnen</p> <p>f berechnen</p> <p>h berechnen</p>	4	4	4	4	4	
4.	<p>Erläuterung: Wegen $W = h \cdot f$ ergibt sich eine Gerade, Austrittsarbeit W_A der Elektronen bedingt negativen Achsenabschnitt;</p> <p>Ausgleichsgerade nach dem Prinzip der kleinsten Fehlerquadratsumme legen;</p> <p>Steigung h und Achsenabschnitt W_A (Materialeigenschaft der Fozelle) aus dem Diagramm ablesen.</p> <p>Durch zwei Messpunkte muss man keine Ausgleichsgerade legen.</p> <p>Für Photonen gibt es keine Austrittsarbeit; das Diagramm muss eine Ursprungsgerade sein.</p>	4	1	3			
		17	20	3			