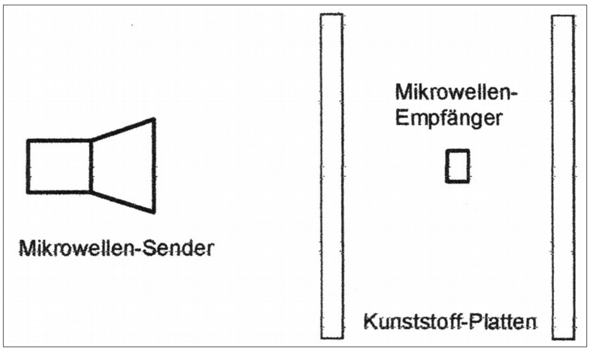
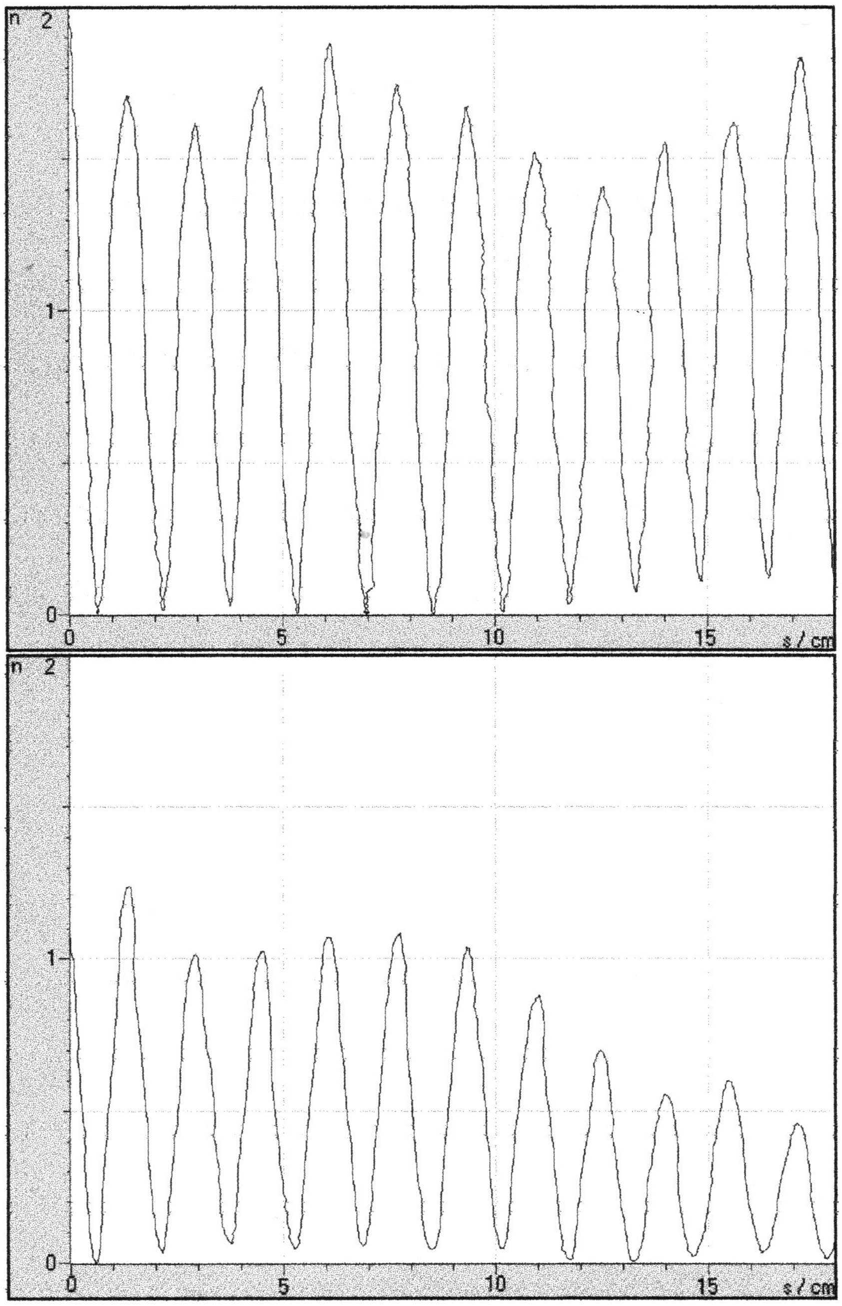
Thema: Untersuchungen zur Wellenstruktur bei Mikrowellen und Elektronen

1 Versuch 1



Der Mikrowellensender strahlt elektromagnetische Wellen einer einzigen Wellenlänge aus. Zwei Kunststoffscheiben, die halbdurchlässig für Mikrowellen sind, sind vor dem Sender entsprechend der Skizze angeordnet. Ein Mikrowellenempfänger wird in Richtung der Ausbreitung der Mikrowellenstrahlung zwischen den Kunststoffscheiben bewegt. Die Intensität der empfangenen Mikrowellenstrahlung wird registriert. Der Versuch wird bei zwei verschiedenen Abständen der Kunststoffplatten durchgeführt. Anmerkung: Die Länge der Messstrecke entspricht nicht dem Abstand der Kunststoffplatten.



1.1 Erörtern Sie, warum und unter welchen Voraussetzungen sich in den beiden Versuchen unterschiedliche Intensitäten ergeben.

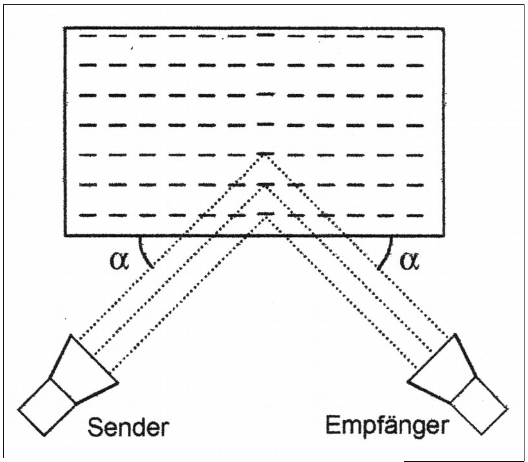
Die Platten sind halbdurchlässig für Mikrowellen, d. h. die Mikrowellen können durch die linke Platte in den Innenraum eintreten und werden dann an den beiden Platten jeweils reflektiert. Durch die Überlagerung entstehen stehende Wellen. Haben die Platten einen Abstand von $\frac{n \cdot \lambda}{2}$ wie im oberen Bild, so interferieren die Wellen konstruktiv, so dass hohe Amplituden auftreten. Destruktive Interferenz mit Amplitude 0 tritt auf, wenn die Platten einen Abstand von $(2n+1) \cdot \frac{\lambda}{4}$ haben. Im unteren Bild liegt der Plattenabstand zwischen den beiden Extremen.

1.2 Ermitteln Sie an Hand der Messgraphen die Wellenlänge der Mikrowellenstrahlung.

Die Abstände der Maxima müssen bestimmt werden. Der Wert ist gleich der halben Wellenlänge. Es ergibt sich ein Mittelwert zwischen 3,1cm und 3,2cm.

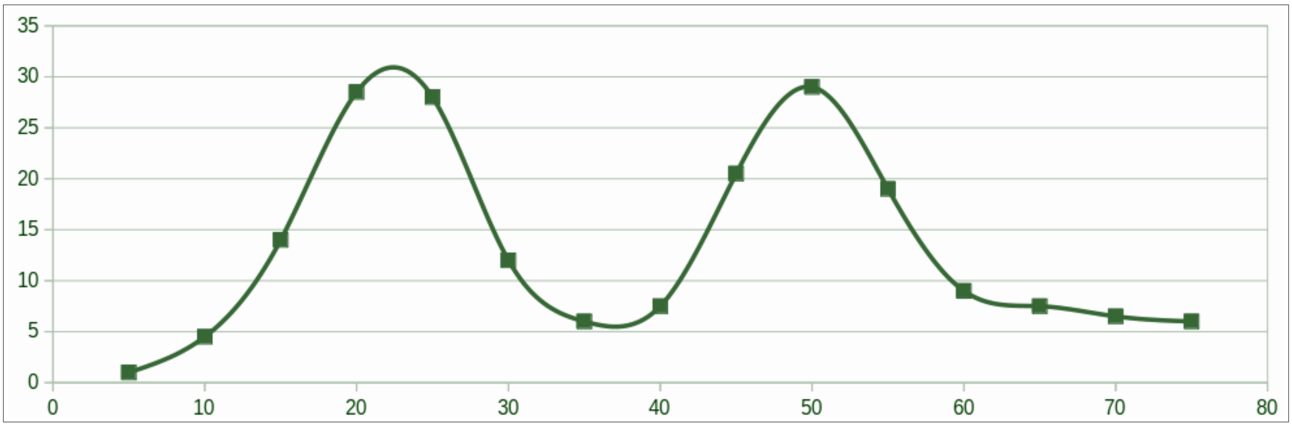
2 Versuch 2

Die im Versuch untersuchten Mikrowellen fallen unter vorgegebenen Winkeln α auf ein räumliches Gitter aus kleinen Metallplättchen.
Der Empfänger steht immer im gleichen Winkel α zum Raumgitter auf der selben Seite wie der Sender (s. Abb.). Es wird die Intensität I der im Empfänger eintreffenden Welle in beliebigen Einheiten gemessen.
Die Mittelpunkte der Metallplättchen besitzen in Länge, Breite und Höhe jeweils einen konstanten Abstand d.
Benutzen Sie für die Rechnung die unter 1. ermittelte Wellenlänge λ der Mikrowellen.
Falls Sie kein Ergebnis erhalten haben, rechnen Sie mit λ=3,4cm.

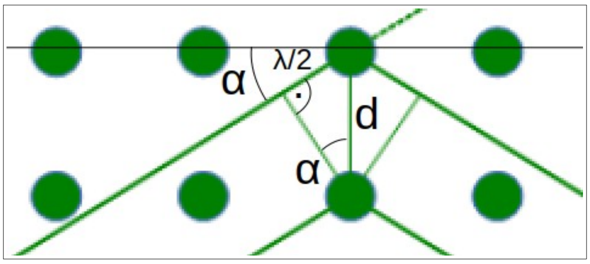


α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
I	1,0	4,5	14,0	28,5	28,0	12,0	6,0	7,5	20,5	29,0	19,0	9,0	7,5	6,5	6,0

2.1 Tragen Sie die Messwerte aus der Tabelle in einem Schaubild auf und verbinden Sie die Messpunkte geeignet durch eine Kurve.



2.2 Zeigen Sie, dass zwischen den Größen α, λ und d für die Intensitätsmaxima folgende Gleichung gelten muss: $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\alpha$.



Die Erklärung erfolgt analog zur Bragg-Reflexion: Zwei Wellenzüge interferieren konstruktiv, wenn der Gangunterschied $n \cdot \lambda$ beträgt. Im rechtwinkligen Dreieck gilt: $\sin\alpha = \frac{\lambda/2}{d} \rightarrow \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\alpha$

Die Gegenkathete zu α kann auch ein Vielfaches von λ/2 sein, also gilt $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\alpha$.

Nach d aufgelöst ergibt sich $d = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot \sin\alpha}$.

2.3 Berechnen Sie mit Hilfe der Messwerte den Abstand zwischen den Mittelpunkten der Metallplättchen.

Die Maxima im Messgraphen liegen bei etwa 22° und 50°. Dass es zwei Maxima gibt, widerspricht nicht der Angabe, es lägen Mikrowellen einer einzigen Wellenlänge vor. Bei den Messwerten handelt es sich um Maxima 1. und 2. Ordnung. Zu n=1 gehört der Winkel 22° und zu n=2 der Winkel 50°. Damit ergibt sich:

$d_1=\frac{1\cdot 3{,}15cm}{2\cdot\sin 22°}=4{,}2cm$; $d_2=\frac{2\cdot 3{,}15cm}{2\cdot\sin 50°}=4{,}1cm$, also rund 4 cm.

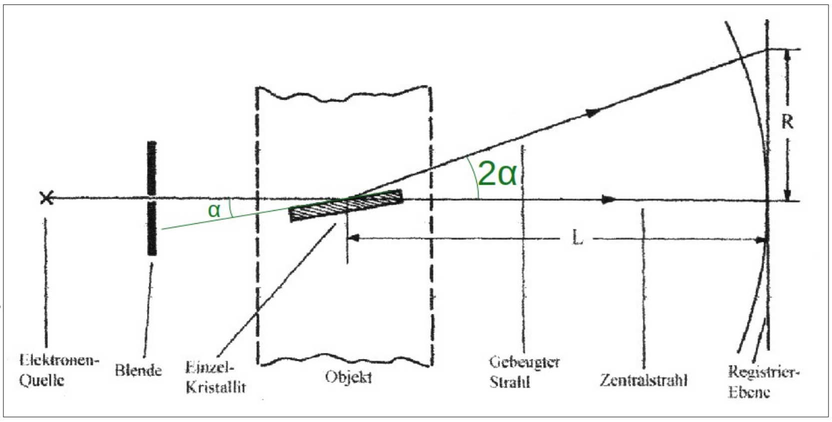
2.4 Begründen Sie, warum es in diesem Versuch nicht mehr Intensitäts-Maxima gibt und machen Sie einen Vorschlag für die Abwandlung des Versuchs mit dem Ziel, mehr Intensitätsmaxima messen zu können.

Anschaulich: Der "Umweg" im oberen Bereich, also $2\cdot\frac{n\cdot\lambda}{2}=n\cdot\lambda$ kann höchstens so lang sein wie der doppelte Abstand 2d der Plättchen, also 8cm. Für n=3 ergäben sich aber über 9cm.

Rechnerisch: $\frac{n\cdot\lambda}{2\cdot d}=\sin\alpha<1 \rightarrow n<\frac{2\cdot d}{\lambda}\approx\frac{2\cdot 4}{3{,}15}=\frac{8}{3{,}15}<3$

Mehr Intensitätsmaxima gäbe es, wenn man z. B. den Abstand zwischen den Plättchen vergrößern würde.

3 Versuch 3



Elektronen werden durch eine Spannung U beschleunigt und treffen auf ein räumliches Gitter aus Graphit. Ähnlich wie in Versuch 2 kann man sich die Graphitteilchen im Kristall in Form eines Punktegitters angeordnet denken. Allerdings treten hier zwei verschiedene Abstände d_1 und d_2 zwischen den Gitterpunkten auf. Das Objekt, auf das die Elektronen treffen, besteht nicht aus einem einzigen Kristall, sondern aus vielen kleinen Raumgittern, die in beliebiger Orientierung zueinander angeordnet sind.

Messwerte: $d_1=2{,}13\cdot 10^{-10}m$ $d_2=1{,}23\cdot 10^{-10}m$ $R_1=1{,}1cm$ $R_2=1{,}9cm$

$U=5000V$

$L=13{,}5cm$ (Entfernung der Graphitfolie von der Beobachtungsebene)

3.1 Begründen Sie, warum man sowohl die Teilchen- als auch die Welleneigenschaft von Elektronen benötigt, um die Entstehung des beobachteten Bildes auf dem Fluoreszenzschirm zu erklären.

Die Ringe kommen auf Grund von Interferenzen zustande → Welleneigenschaft
Die Elektronen stoßen auf Fluoreszenzatome und bringen sie durch Energieabgabe zum Leuchten → Teilcheneigenschaft

3.2 Erklären Sie das Zustandekommen der beobachteten Ringe mit den Radien R_1 und R_2.

Die Kristalle liegen in unterschiedlichster Anordnung vor und reflektieren hauptsächlich unter den Glanzwinkeln. Dadurch entstehen unter bestimmten Winkeln zum Einfallsweg maximale Intensitätsmaxima.
Die beiden Kreise entstehen hier nicht auf Grund unterschiedlicher Gangunterschiede, sondern weil zwei verschiedene Netzebenenabstände d_1 und d_2 vorliegen.

3.3 Berechnen Sie die Wellenlänge λ_e, die den Elektronen auf Grund der Versuchsergebnisse zukommt. Verwenden Sie dabei die Näherung $\tan 2\alpha \approx \sin 2\alpha \approx 2 \cdot \sin\alpha$.

Aus der Skizze liest man ab $\tan 2\alpha = \frac{R}{L}$. Mit der angegeben Näherung und der gegebenen Gleichung $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin\alpha$ folgt $\frac{R}{L} = \tan 2\alpha \approx 2 \cdot \sin\alpha = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ → $\lambda = \frac{d \cdot R}{n \cdot L}$ →

$$\lambda_1 = \frac{2{,}13 \cdot 10^{-10} m \cdot 1{,}1 cm}{1 \cdot 13{,}5 cm} = 1{,}7 \cdot 10^{-11} m \;;\; \lambda_2 = \frac{1{,}23 \cdot 10^{-10} m \cdot 1{,}9 cm}{1 \cdot 13{,}5 cm} = 1{,}7 \cdot 10^{-11} m.$$

Damit gilt für die Wellenlänge der Elektronen $\lambda_e = 1{,}7 \cdot 10^{-11} m$.

3.4 Berechnen Sie die de-Broglie-Wellenlänge der Elektronen und vergleichen Sie den Wert mit dem Versuchsergebnis aus 3.3.

Für die de-Broglie-Wellenlänge benötigt man die Geschwindigkeit der Elektronen.
Die Elektronen werden durch die Spannung U mit der Energie $e \cdot U$ beschleunigt und erhalten dadurch die kinetische Energie $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$. Daraus folgt: $e \cdot U = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ → $v^2 = \frac{2 \cdot e \cdot U}{m}$ → $v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}}$.

Damit haben die Elektronen den Impuls $p = m \cdot v = m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}} = \sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U}$.

Daraus ergibt sich die de-Broglie-Wellenlänge zu

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U}} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34} Js}{\sqrt{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19} C \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31} kg \cdot 5000 V}} = 1{,}7 \cdot 10^{-11} m.$$

Dieser Wert stimmt mit dem Wert aus Aufgabe 3.3 überein.

3.5 Müsste man nicht, wenn Elektronen Welleneigenschaften besitzen, auch einen Versuch bauen können, in dem ein Ergebnis wie in Versuch 1 (Welle zwischen 2 Platten) zu messen wäre? Nehmen Sie zur Durchführbarkeit eines solchen Vorhabens Stellung.

Der vorgeschlagene Versuch würde nicht (mit schulischen Mitteln) möglich sein, da die Wellenlänge zu klein ist (kleiner als ein Atomdurchmesser) und damit die Maxima bei der stehenden Elektronenwelle nicht ausgemessen werden können.