

Klausuraufgaben	Interferenz von Wellen	© Jörn Schneider 2008
------------------------	-------------------------------	--------------------------

Interferenz von Wellen ist ein grundlegendes physikalisches Phänomen. Dabei tritt diese Eigenschaft bei ganz unterschiedlichen Themenbereichen der Physik in Erscheinung. Angefangen bei Wasser- und Schallwellen, den Mikrowellen, dem Licht und den Materiewellen. Egal welche Wellen Interferenzen zeigen, die Gesetzmäßigkeiten sind immer gleich.

Aufgaben:

- a) Bei der Interferenz spricht man von Auslöschung und von Verstärkung. Was ist damit gemeint und welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit es zu diesen Erscheinungen kommt?

- b) Ein Mikrowellensender steht 30cm von einer Metallscheibe entfernt. Die Metallscheibe reflektiert die Mikrowellen, so dass sich eine stehende Welle zwischen Sender und Scheibe ausbildet. Mit dem Mikrowellendetektor findet man jeweils im Abstand von 1,5 cm ein Maximum. Berechne die Wellenlänge und die Frequenz des Mikrowellensenders.

- c) Wird Laserlicht durch einen Doppelspalt geschickt, so erhält man ein typisches Interferenzmuster von Minima und Maxima. Zeichnet man das Muster auf einer Fotoplatte auf und untersucht man diese Fotoplatte mit einem Mikroskop, so findet man einzelne Punkte auf dieser Fotoplatte. Jeder Punkt entspricht genau einem Photon. Führt man diesen Versuch mit stark geschwächtem Laserlicht durch, so dass niemals gleichzeitig zwei Wellenzüge den Doppelspalt erreichen, so findet man trotzdem nach vielen Stunden Belichtungszeit ein Interferenzmuster. Erkläre diesen Sachverhalt.

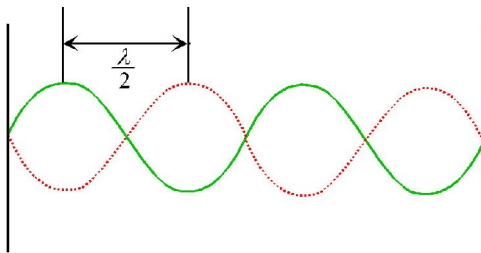
- d) DeBroglie suchte nach einer Lösung im Welle-Teilchen Streit um das Elektron. Er ordnete jedem Teilchen eine spezifische Wellenlänge zu. Zeige anhand einer Rechnung auf, warum diese Welleneigenschaft eines Teilchens in unserer makroskopischen Welt keine Rolle spielt und erläutere das Rechenergebnis.
Vergleiche dazu eine kleine Eisenkugel und ein Elektron.

Eisenkugel: Masse: 50g

Geschwindigkeit: 20m/s

Elektron: Elektronenruhemasse Geschwindigkeit: 10% der Lichtgeschwindigkeit

- a) Zwei Wellen können sich überlagern. Dabei ist der Gangunterschied zwischen den beiden Wellen von Bedeutung. Ist dieser genau ein Vielfaches der Wellenlänge, so verstärken sich die Wellen, es entsteht ein Maximum. Beträgt der Gangunterschied $(2n+1)/2$ mal der Wellenlänge, so löschen sich die Wellen gegenseitig aus. Dies bezeichnet man auch als Interferenz. Es entsteht ein Minimum. Damit es zur Interferenz von Wellen kommt, müssen diese die gleiche Wellenlänge besitzen und vom gleichen Ort ausgehen.
- b) Bei einer stehenden Welle findet man zwei Maxima im Abstand der halben Wellenlänge. Damit ist die Wellenlänge der Welle genau 3cm.



Die Frequenz berechnet sich zu

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$f = \frac{2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{0,03 \text{ m}}$$

$$f = 9,99 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

$$f = 9,99 \text{ GHz}$$

Da Mikrowellen sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, berechnet sich die Frequenz zu 9,99 GHz.

- c) Bei sehr geringen Intensitäten treten die Quanteneigenschaften von Elementarteilchen in den Vordergrund. Aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation sind Impuls und Ort eines Teilchens nicht beliebig scharf zu bestimmen. Am Doppelspalt nimmt die Ortsschärfe zu, daher wächst die Impulsunschärfe an. Hinter dem Spalt ist daher der Ort nicht mehr genau zu lokalisieren allerdings gibt es Orte mit hoher und Orte mit niedriger Wahrscheinlichkeit, ein Photon anzutreffen. Belichtet man über eine lange Zeit, so erhält man wieder das typische Interferenzmuster. Die Orte hoher Wahrscheinlichkeit entsprechen den Maxima der Interferenz, die Orte geringer Wahrscheinlichkeit den Minima.

d) DeBroglie stellte folgende Gleichung für Materiewellen auf:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

$$\lambda_{\text{Eisenkugel}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{0,05 \text{ kg} \cdot 20 \text{ m/s}}$$

$$\lambda_{\text{Eisenkugel}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{Elektron}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2,998 \cdot 10^7 \text{ m/s}}$$

$$\lambda_{\text{Elektron}} = 2,426 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Bei der Eisenkugel beträgt die Wellenlänge ungefähr 10^{-34} m. Eine solch kleine Wellenlänge ist physikalisch völlig unsinnig. Eine Eisenkugel verhält sich nur wie ein Teilchen und hat keine Welleneigenschaften.

Anders das Elektron. Seine Wellenlänge liegt im Bereich eines Atomdurchmessers und ist daher physikalisch sinnvoll. Ein Elektron besitzt daher mehr Welleneigenschaften als Teilcheneigenschaften.