

Physik IV 2010 - Übung 1

26. Februar 2010

1. Beugung am Spalt.

Σ 3

Die Beugung einer Welle am Einzel- und am Doppelspalt stellt schon in der klassischen Optik ein grundlegendes Phänomen dar, bei dem die phasensensitive Überlagerung von mehreren Teilwellen zu Interferenzeffekten führt. In der Quantenmechanik wird dieses Bild für Materiewellen übernommen und dient zur Erklärung von Interferenzmustern von massiven Teilchen wie Elektronen, Neutronen, Atome oder sogar Moleküle.

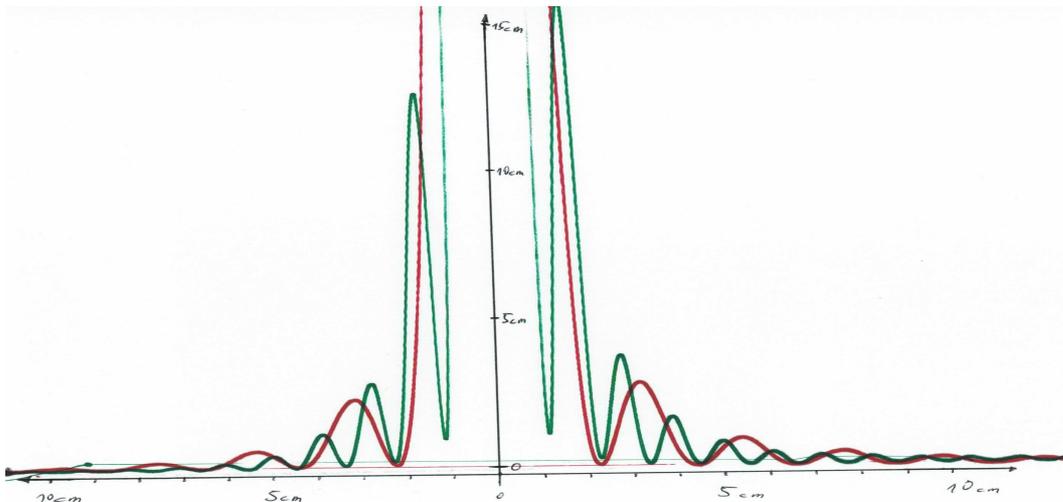


Abbildung 1: Beugungsmuster des in der Vorlesung gezeigten Einzelspaltexperiments.

Das Intensitätsmuster monochromatischen Lichts hinter einem Spalt ergibt sich aus der kohärenten Addition der Kugelwellen jedes einzelnen Punktes im Spalt (Huygens'sches Prinzip). Das elektromagnetische Feld im Abstand R hinter einem Spalt der Breite D ($D \ll R$) ergibt sich

damit zu

$$E = E_0 \frac{\sin \beta}{\beta} \sin(\omega t - kR).$$

E_0 ist hier die Amplitude des Feldes, $\lambda = 2\pi/k$ die Wellenlänge des einfallenden monochromatischen Lichts und $\beta = \frac{kD}{2} \sin \theta$. θ bezeichnet den Winkel zwischen Strahlrichtung und Beobachtungspunkt (Abb. 2).

(a) Leiten Sie – ausgehend von der obigen Gleichung – die Formel

$$I(\theta) = I(0) \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$$

für die Intensität im Zeitmittel her und bestimmen sie das Intensitätsmaximum $I(0)$. [1]

(b) In Abbildung 1 ist das Beugungsmuster aus dem Vorlesungsversuch gezeigt. Der Abstand des Schirms zum Spalt beträgt hier $R = 3.6$ m und die Spaltbreite $D_1 = 0.1$ mm bzw. $D_2 = 0.2$ mm. Erklären Sie, welche Linie zu welcher Spaltbreite passt und ermitteln Sie die Wellenlänge des verwendeten Lasers. [1]

(c) Wie verändert sich das Beugungsmuster, wenn anstatt einer monochromatischen Lichtquelle eine Lichtquelle mit einer spektralen Verteilung im sichtbaren Bereich ($\sim 400 - 700$ nm) verwendet wird? [1]

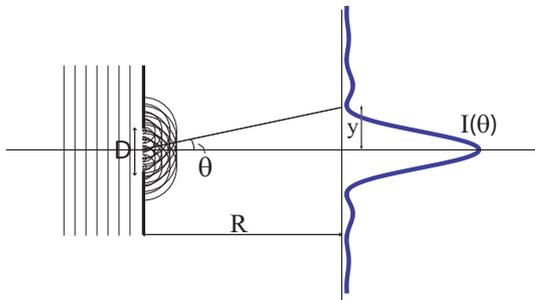


Abbildung 2: Einzelspalt

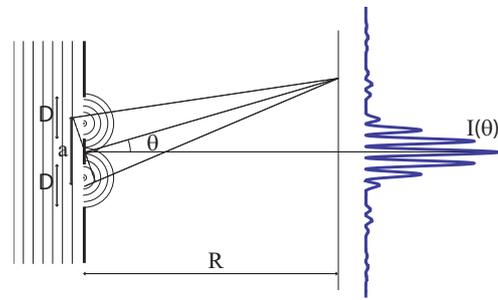


Abbildung 3: Doppelspalt

2. Beugung am Doppelspalt

$\Sigma 2\frac{1}{2}$

Für die Berechnung des Intensitätsmusters eines Doppelspalts wird das Feld beider Einzelspalte (siehe Aufgabe 1) kohärent addiert. Unter der Annahme, dass der Abstand R des Doppelspalts vom Schirm viel grösser als der Spaltabstand a und der Spaltbreite D ist, ergibt sich die Feldamplitude in Abhängigkeit vom Streuwinkel θ zu

$$E = E_0 \frac{\sin \beta}{\beta} \{ \sin(\omega t - kR + \alpha) + \sin(\omega t - kR - \alpha) \}.$$

- (a) Berechnen Sie die Phasendifferenz 2α zwischen dem Feld des ersten und des zweiten Spalts anhand der Abbildung 3. [$\frac{1}{2}$]
- (b) Geben Sie eine Formel zur Berechnung des Interferenzmuster $I(\theta)$ des Doppelspalts an und berechnen sie den Winkel θ zum 1. Interferenzminimums. Wie äussert sich eine Veränderung der Spaltbreite? Vergleichen Sie mit dem Einzelspalt. [1]
- (c) Wie gross ist die Intensität entlang der Strahlachse ($\theta = 0$)? Vergleichen Sie dieses Resultat mit dem Fall einer inkohärenten Beleuchtung der beiden Spalte durch unterschiedliche Lichtquellen, wo die Intensitäten anstatt der Amplituden summiert werden. [1]

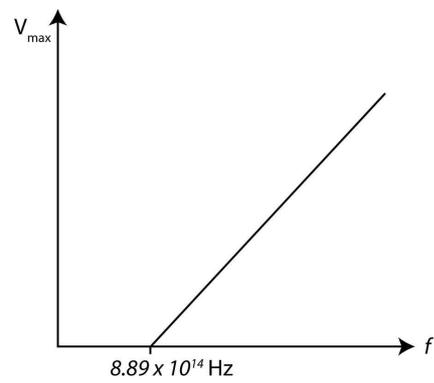
3. Detektion von Photonen. Σ 2

- (a) Wie viele Photonen werden in einem typischen Doppelspaltexperiment detektiert? Die Spaltbreite sei 0.1 mm und der Spaltabstand viel kleiner als der Strahldurchmesser von 10 mm. Der rote Laser wird bei einer Frequenz von 645 nm und einer Leistung von 10 mW betrieben und die Integrationszeit beträgt 10 s. [1]
- (b) Nehmen Sie an, eine Kerze emittiert $P = 0.02$ W hauptsächlich gelben Lichts. Das menschliche Auge kann bei Dunkelheit das Licht der Kerze bis zu einer Entfernung von etwa 50 km wahrnehmen. Schätzen Sie damit ab, wieviele Photonen pro Sekunde das Auge erreichen. [1]

4. Der Photoelektrische Effekt. Σ $2\frac{1}{2}$

Die Abbildung unten zeigt die Frequenzabhängigkeit der Grenzspannung V_{max} von aus Magnesium emittierten Elektronen.

- (a) Erklären Sie die Bedeutung der Grenzspannung V_{max} . Wie kann die Form der Kurve durch die quantenmechanische Beschreibung von Licht erklärt werden? [$\frac{1}{2}$]
- (b) Berechnen Sie die Austrittsarbeit von Magnesium in eV. [$\frac{1}{2}$]
- (c) Wie gross ist die maximale kinetische Energie der aus dem Magnesium emittierten Elektronen, wenn das auftreffende Licht eine Frequenz von $f = 1.5 \times 10^{15}$ Hz hat? [$\frac{1}{2}$]



- (d) Die Emission des ersten Elektrons aus dem Metall erfolgt instantan nach dem Einschalten der Lichtquelle - unabhängig von der Intensität des Lichts. Erklären Sie dieses Resultat. Diskutieren Sie, welches Resultat sie stattdessen ausgehend von einer klassischen Betrachtungsweise erwarten würden.

[1]