

## Thema: Interferenz

In Aufgabe 1 wird Interferenz von Licht am Gitter behandelt. In Aufgabe 2 geht es um die Eigenschaften verschiedener Quantenobjekte. Aufgabe 3 befasst sich mit Michelson-Interferometern.

### Aufgabenstellung

#### Aufgabe 1

Im Unterricht haben Sie sich mit der Interferenz von Licht beschäftigt, die infolge des Durchtritts durch ein optisches Strichgitter (kurz auch: „optisches Gitter“ oder „Gitter“) stattfindet.

- 1.1 Skizzieren Sie eine Ihnen aus dem Unterricht bekannte Versuchsanordnung zur Bestimmung der Wellenlänge des Lichtes eines Lasers mit Hilfe eines Gitters und eines Schirmes.

Es gelten bei solchen Anordnungen die folgenden Bedingungen für konstruktive Interferenz:

$$\sin \alpha_k = \frac{k \cdot \lambda}{g}$$

$$\tan \alpha_k = \frac{s_k}{d}$$

$\lambda$ : Lichtwellenlänge  
 $g$ : Gitterkonstante (bzw. „Spaltabstand“)  
 $k$ : Ordnung des Maximums,  $k = 1, 2, 3, \dots$   
 $\alpha_k$ : Winkel zwischen der Richtung des Maximums nullter und der des Maximums  $k$ -ter Ordnung  
 $d$ : Abstand zwischen Gitter und Schirm  
 $s_k$ : Abstand zwischen dem Maximum nullter und dem  $k$ -ter Ordnung

Erläutern Sie die obere der beiden Formeln mit Bezug auf Abb. 1.

Leiten Sie aus den beiden obigen Formeln die folgende Gleichung für  $\lambda$  her:

$$\lambda = \frac{g}{k} \cdot \sin \left( \tan^{-1} \left( \frac{s_k}{d} \right) \right)$$

Die Tabelle 1 enthält Messdaten der Untersuchung grünen Laserlichtes mit Hilfe eines Gitters mit der Gitterkonstanten  $g = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  und dem Abstand  $d = 30,0 \text{ cm}$ .

Bestimmen Sie daraus einen möglichst genauen Wert für die Wellenlänge  $\lambda$  des Lasers. **[13 BE]**

- 1.2 Die unter Aufgabe 1.1 behandelte Anordnung wird jeweils in einzelnen Details verändert.

a) Das grüne Laserlicht wird ersetzt durch Laserlicht roter Farbe.

Beschreiben Sie, wie sich dadurch das Interferenzmuster auf dem Schirm verändert.

Erläutern Sie kurz, wodurch diese Veränderungen zustande kommen.

b) Die Gitterkonstante wird verkleinert, z.B. auf  $g = 10,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ .

Begründen Sie, warum die oben genannten Abstände  $s_k$  dabei größer werden. **[8 BE]**

- 1.3 Abb. 2 zeigt, in zufälliger Reihenfolge sortiert, Ausschnitte von Interferenzmustern, die hinter drei verschiedenen Gitteranordnungen entstehen. Es handelt sich dabei um ein horizontales und ein vertikales Gitter, sowie um ein Paar gekreuzter Gitter.

Ein Laser durchleuchtet hinter einem ersten optischen Strichgitter mit der Gitterkonstanten  $g_1 = 6,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  noch ein zweites, welches  $g_2 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  besitzt und mit seinen Spalten um  $90^\circ$  gegenüber denen des vorderen gedreht ist.

In Abb. 3 ist ein Ausschnitt des Interferenzmusters skizziert, welches auf einem dahinter aufgestellten Schirm entsteht.

Geben Sie begründet an, welches der Gitter horizontale und welches vertikale Spalte hat. **[6 BE]**

Zentralabitur 2014	Physik	Schülermaterial	
Aufgabe II	gA	Nachschreibtermin	Bearbeitungszeit: 220 min

## Aufgabe 2

Diese Aufgabe behandelt Experimente zur Interferenz von einzelnen Quantenobjekten.

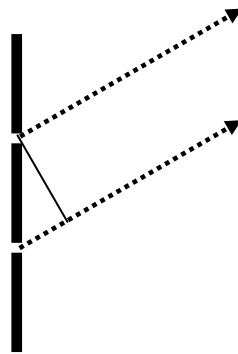
- 2.1** In einem Doppelspaltversuch mit Licht sendet die Lichtquelle jeweils nur einzelne Photonen aus, so dass sich immer höchstens eines davon im Versuchsaufbau befindet. Dabei erhält man im Laufe der Zeit Verteilungen der „Photonentreffer“ auf dem Schirm wie in den Bildern der Abb. 4 a) bis 4 c) und den darunter abgebildeten Diagrammen dargestellt.
- Erläutern Sie die in Abb. 4 a) bis 4 c) dargestellte Versuchsbeobachtung für einzelne Photonen. **[7 BE]**
- 2.2** Ungefähr 40 Jahre nach de Broglies Veröffentlichung zur Welleneigenschaft von Elektronen gelang es, die Interferenz von Elektronen an einem Doppelspalt zu beobachten. Für einen solchen Versuch kann man Elektronen auf eine Geschwindigkeit von z.B.  $v = 115 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  bringen.
- Berechnen Sie die zugehörige De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen.
- Bestimmen Sie die theoretisch notwendige Elektronengeschwindigkeit zum Erreichen der Wellenlänge  $\lambda = 390 \text{ nm}$ , die in etwa dem unteren Ende des sichtbaren Lichtwellenlängenbereiches entspricht. **[4 BE]**
- 2.3** Auch recht große massive Quantenobjekte, wie z.B. „fußballförmige“  $\text{C}_{60}$ -Moleküle der Masse  $m = 1,2 \cdot 10^{-24} \text{ kg}$ , konnte man in einem aufwändigen Experiment zur Interferenz bringen. Die Moleküle wurden dabei gemäß Abb. 5 in einem feinen Strahl aus einem Heizofen heraus auf ein geeignetes Gitter geschickt. Dabei registriert der bewegliche Detektor  $\text{C}_{60}$ -Moleküle an verschiedenen Stellen wie in der Abb. 6 dargestellt.
- Bestimmen Sie anhand von Abb. 6 die Wellenlänge, die man den Molekülen zuordnen kann. Hinweis: Bestimmen Sie dazu die Lage des Interferenz-Maximums erster Ordnung und verwenden Sie die bekannten Verfahren zur Gitterinterferenz.
- Berechnen Sie einen theoretischen Wert für die Wellenlänge der  $\text{C}_{60}$ -Moleküle aus diesem Experiment unter Berücksichtigung der Versuchsdaten zu Abb. 5. **[7 BE]**

## Aufgabe 3

Es sollen nun Interferenzphänomene in Michelson-Interferometern betrachtet werden.

- 3.1** Zeichnen Sie in die unvollständige Prinzip-Skizze des Michelson-Interferometers der Abb. 7 die relevanten Lichtwege mit Richtungspfeilen sowie die fehlenden Komponenten ein. **[3 BE]**
- 3.2** Beschreiben Sie, wie man mit Hilfe eines Michelson-Interferometers die Wellenlänge von Mikrowellen ermitteln kann. **[6 BE]**
- 3.3** Bei konstanter Wellenlänge  $\lambda = 2,4 \text{ cm}$  der Mikrowellen lassen sich mit Michelson-Interferometern auch bestimmte Positionsänderungen eines der Spiegel vermessen. Abb. 8 zeigt den während so einer Spiegelverschiebung aufgezeichneten Intensitätsverlauf am Detektor.
- Werten Sie die Abb. 8 aus, um die beiden in den Kästen fehlenden Angaben zu ergänzen.
- Zeichnen Sie in die Abb. 8 einen zusätzlichen Intensitäts-Graphen ein, wie er sich bei der doppelten Wellenlänge ergeben würde. **[6 BE]**

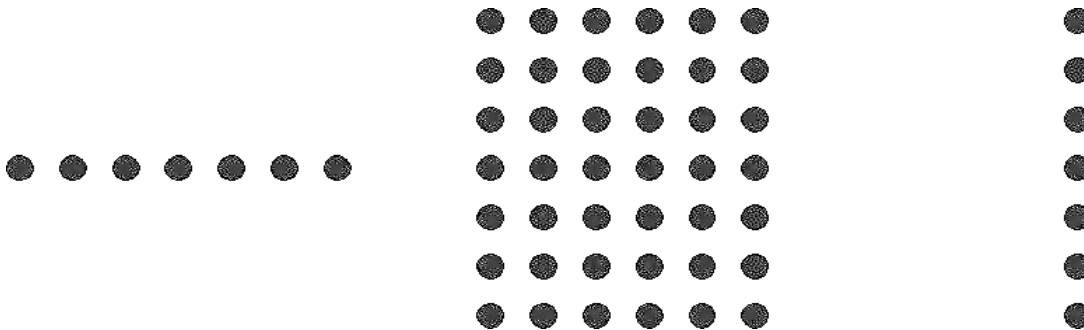
## Material



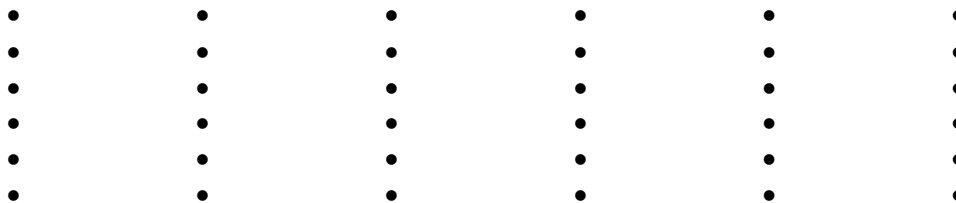
**Abb. 1:** Skizze zur Formelerklärung in Aufgabe 1.1

Ordnung $k$	1	3	6	10
Abstand $s_k$ zwischen dem Maximum nullter und dem $k$ -ter Ordnung auf dem Schirm (in cm)	1,2	3,9	7,8	13,7

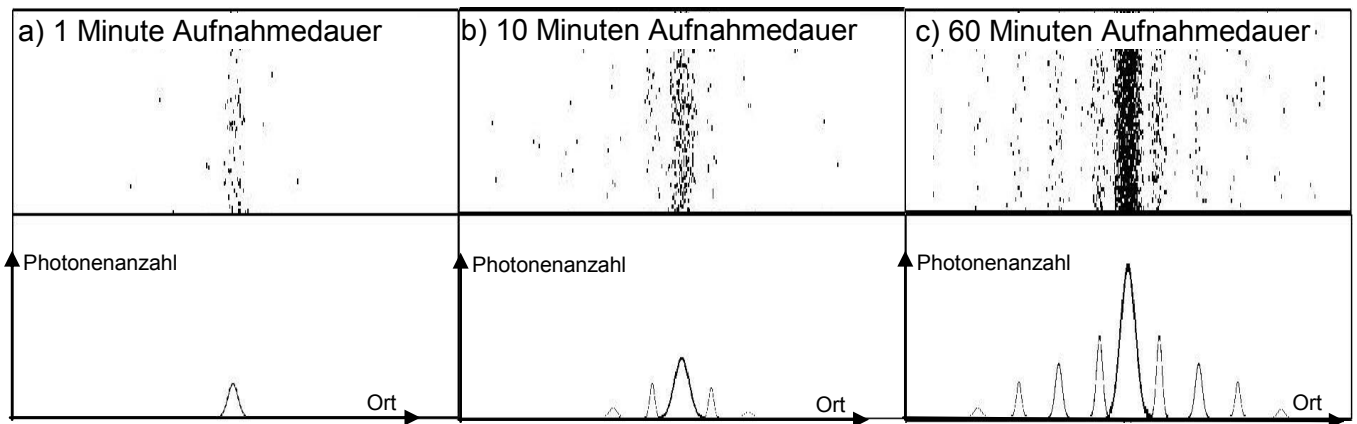
**Tabelle 1:** Messdaten, aufgenommen mit einem grünen Laser, einem Gitter mit der Gitterkonstanten  $g = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  sowie einem Abstand von  $d = 30,0 \text{ cm}$  zwischen Gitter und Schirm.



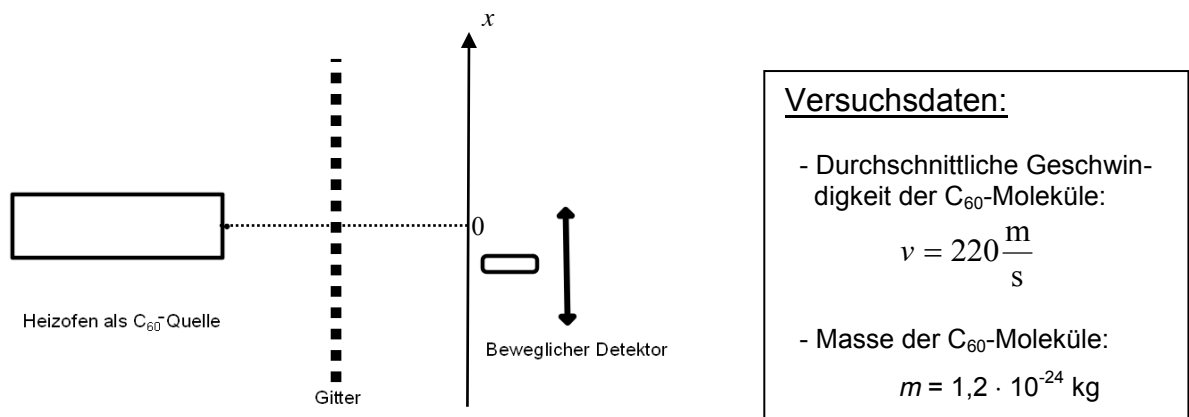
**Abb. 2:** Skizzen von Interferenzmuster-Ausschnitten dreier Gitteranordnungen mit ähnlichen Spaltabständen



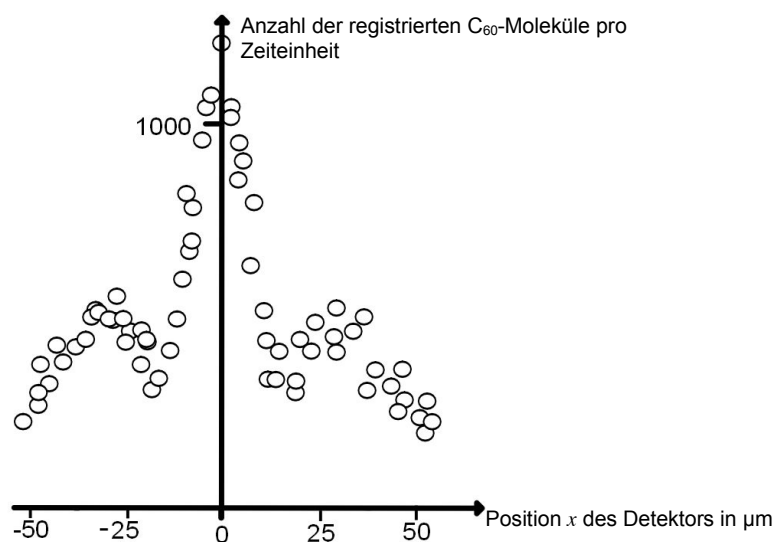
**Abb. 3:** Skizze eines Ausschnitts des Interferenzmusters hinter den gekreuzten optischen Gittern mit unterschiedlichen Gitterkonstanten



**Abb. 4 a) bis 4 c):** Skizzen der „Photonen-Treffer“ auf dem Schirm und ihrer Häufigkeitsverteilungen bei verschiedenen Aufnahmedauern



**Abb. 5:** Draufsicht auf eine schematische Darstellung des Versuchs mit  $C_{60}$



**Abb. 6:** Beugungsbild aus dem  $C_{60}$ -Versuch mit der Gitterkonstanten  $g = 100 \text{ nm}$  und einem Abstand zwischen Gitter und Detektor von  $d = 1,25 \text{ m}$

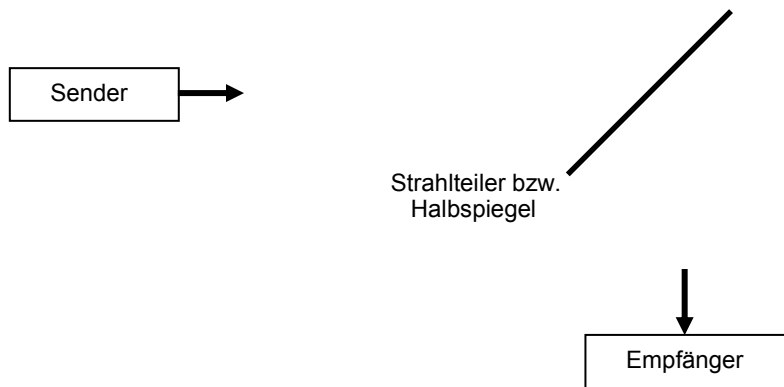


Abb. 7: Unvollständige Prinzip-Skizze eines Michelson-Interferometers

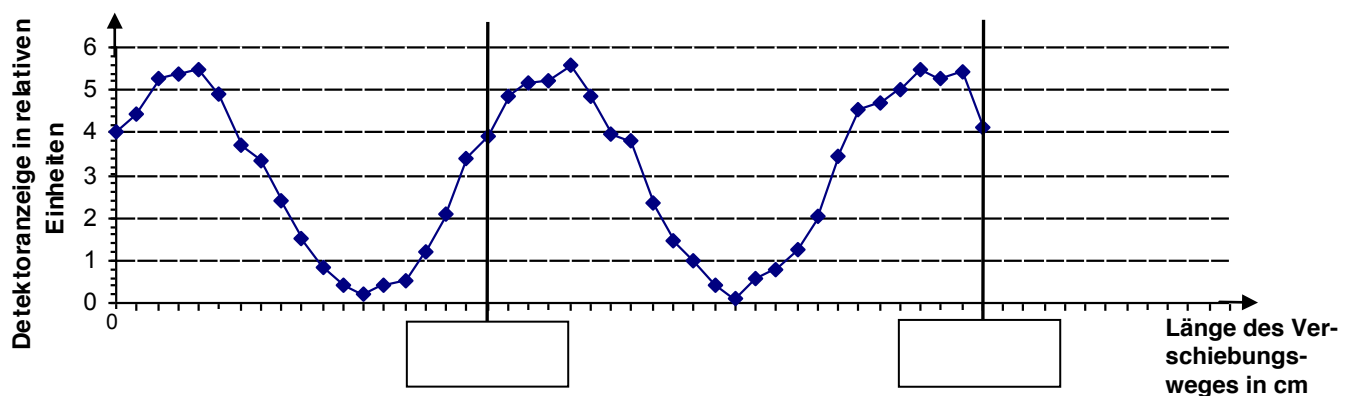


Abb. 8: Verlauf der Detektoranzeige beim Spiegelverschieben am Michelson-Interferometer  
 Hinweis: Die Einheit der Detektoranzeige ist hier ohne Bedeutung, sie entspricht der gemessenen Intensität.

### Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung