

## Thema: Längenbestimmungen mit Interferenzexperimenten

In der ersten Aufgabe wird der Spurbstand einer CD-ROM ermittelt. Die zweite Aufgabe beinhaltet die Messung einer Wellenlänge mit einem Michelson-Interferometer. In der dritten Aufgabe geht es um Röntgenstrahlung und deren Verwendung bei der Ermittlung eines Abstandes in einem Kristall.

### Aufgabenstellung

#### Aufgabe 1

Um den Spurbstand einer CD-ROM zu untersuchen, wird diese als Reflexionsgitter verwendet, wobei der Spurbstand der Gitterkonstante entspricht. Die Oberflächenstruktur ist in Material 1 (M1) schematisch dargestellt.

- 1.1** Die Gitterkonstante  $g$  einer CD-ROM soll experimentell bestimmt werden. Hierzu wird die CD-ROM mit einer Lichtquelle beleuchtet.

Beschreiben Sie an Hand einer beschrifteten Zeichnung ein Experiment zur Erzeugung eines Interferenzbildes unter Verwendung einer CD-ROM als Reflexionsgitter.

Die CD-ROM wird mit Licht der Wellenlänge  $\lambda = 634 \text{ nm}$  senkrecht beleuchtet. M2 zeigt das zugehörige Interferenzbild.

Erläutern Sie die Entstehung eines solchen Interferenzbildes.

[8 BE]

- 1.2** Bestimmen Sie die Gitterkonstante  $g$  der CD-ROM mit Hilfe der Gleichungen  $\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{g}$  und  $\tan \alpha_n = \frac{a_n}{e}$  und dem Material M2.

$\lambda$ : Wellenlänge des Lichtes,  $g$ : Gitterkonstante,  $n$ : Beugungsordnung,  $a_n$ : Abstand zwischen Maximum  $n$ -ter Ordnung und Maximum 0. Ordnung,  $e$ : Abstand zwischen Gitter und Schirm,  $\alpha_n$ : Beugungswinkel

Schätzen Sie die Messunsicherheit der ermittelten Gitterkonstante  $g$  ab, die sich aufgrund der Breiten der 1. Maxima in M2 ergibt.

Begründen Sie mit Hilfe einer geeigneten Zeichnung, dass die obigen Gleichungen bei dem vorliegenden Experiment benutzt werden können.

[12 BE]

- 1.3** Eine DVD besitzt einen Spurbstand von  $0,74 \mu\text{m}$ . Die Wellenlängen von sichtbarem Licht liegen in einem Bereich von  $390 \text{ nm}$  bis  $770 \text{ nm}$ .

Ermitteln Sie die Wellenlängen aus diesem Bereich, mit denen der Spurbstand einer DVD entsprechend des Versuchs aus 1.1 experimentell bestimmt werden kann.

[4 BE]

- 1.4** Eine CD-ROM wird gemäß M3 senkrecht mit weißem Licht (Wellenlängenbereich von  $390 \text{ nm}$  bis  $770 \text{ nm}$ ) beleuchtet. Betrachtet man die CD-ROM schräg von der Seite, so schillert die CD-ROM in unterschiedlichen Farben.

Erläutern Sie, warum sich die beobachteten Farben des Lichtes verändern, wenn man das Auge auf einer Bahn entsprechend des Materials M3 bewegt.

[4 BE]

#### Aufgabe 2

Mit einem Michelson-Interferometer soll die Wellenlänge  $\lambda$  von Mikrowellen bestimmt werden. M4 zeigt die Versuchsanordnung schematisch. Die zwei Spiegel Sp1 und Sp2 sind aus Metall. Gp1 ist eine Glasplatte, die die Strahlung teilweise durchlässt und teilweise reflektiert.

Hinweis: Mögliche Brechungsvorgänge sollen bei der Bearbeitung dieser Aufgabe vernachlässigt werden.

- 2.1** Der Spiegel Sp1 wird nach rechts verschoben. Die mit dem Empfänger in Abhängigkeit von der Verschiebung  $d$  registrierte Intensität der Strahlung wird als Spannung  $U$  gemessen.

Bei kontinuierlicher Verschiebung von Sp1 treten Maxima und Minima der Spannung  $U$  auf.

Erläutern Sie die Entstehung dieser Maxima und Minima.

[4 BE]

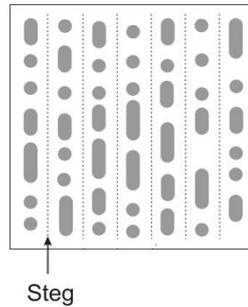
- 2.2** Die Tabelle in M5 zeigt die Verschiebungen  $d$  von Sp1, bei denen Maxima der Ordnung  $n$  registriert werden.  
Zeichnen Sie ein  $n$ - $d$ -Diagramm.  
Ermitteln Sie einen funktionalen Zusammenhang  $d = f(n)$ , wobei Sie Ihre Vorgehensweise in der im Unterricht vereinbarten Weise dokumentieren.  
Bestimmen Sie einen möglichst genauen Wert für die Wellenlänge  $\lambda$  der Mikrowellen.  
Erklären Sie, wie sich das Diagramm verändert, wenn die Wellenlänge  $\lambda$  vergrößert wird. **[12 BE]**
- 2.3** Der Metallspiegel Sp2 wird durch eine teildurchlässige Glasplatte Gp2 ersetzt und an die Position gemäß M6 gestellt. Der Spiegel Sp1 wird wie in der Aufgabe 2.1 verschoben.  
Erläutern Sie, dass mit dieser veränderten Versuchsanordnung die Abstände aufeinander folgender Maxima genauso groß sind wie im Experiment entsprechend M4.  
Hinweis: Mehrfachreflexionen zwischen Gp2 und Sp1 sollen vernachlässigt werden.  
In dem veränderten Experiment unterscheiden sich die Spannungen  $U$ , die für Maxima gemessen werden, deutlich von den Werten der Spannung im ursprünglichen Experiment.  
Stellen Sie eine begründete Hypothese für die unterschiedlichen Werte von  $U$  auf. **[7 BE]**

### Aufgabe 3

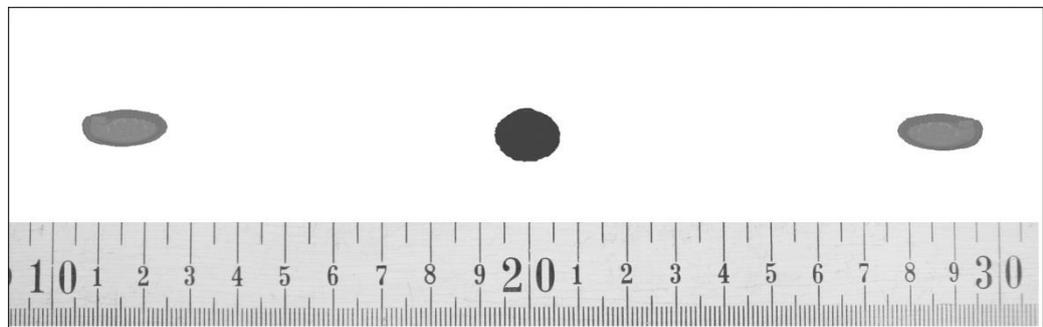
In einem Experiment wird Röntgenstrahlung mit der Drehkristallmethode untersucht, um den Netzebenenabstand eines Lithiumfluorid-Kristalls (LiF) zu ermitteln. Außerdem werden Vorgänge in einer Röntgenröhre betrachtet.

- 3.1** M7 zeigt den Aufbau einer Röntgenröhre mit Beschaltung, M8 zeigt ein Röntgenspektrum.  
Nennen Sie in M7 die Bezeichnungen der gekennzeichneten Bauteile durch Beschriftung.  
Beschreiben Sie die Entstehung der Bremsstrahlung und der charakteristischen Strahlung, wobei Sie beide Strahlungsarten in M8 kennzeichnen. **[9 BE]**
- 3.2** Die Bragg-Gleichung lautet:  $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \beta$ ,  $d$ : Netzebenenabstand,  $\beta$ : Winkel zwischen einfallendem Strahl und der Kristalloberfläche,  $n$ : Beugungsordnung.  
Bei Verwendung eines geeigneten Filters erhält man nahezu monochromatische Röntgenstrahlung mit der Wellenlänge  $\lambda = 7,05 \cdot 10^{-11}$  m. M9 zeigt das Spektrum.  
Bestätigen Sie mit Hilfe der Bragg-Gleichung, dass der Wert für den Netzebenenabstand  $d$  des LiF-Kristalls ca.  $2,01 \cdot 10^{-10}$  m beträgt. **[4 BE]**
- 3.3** Die Bremsstrahlung in M8 setzt bei  $\beta = 5,2^\circ$  ein.  
Berechnen Sie mit Hilfe der Bragg-Gleichung aus 3.2 die dazu gehörige Wellenlänge  $\lambda$  und die Frequenz  $f$ .  
Begründen Sie, weshalb im Experiment, das dem Spektrum in M8 zu Grunde liegt, keine kleinere Wellenlänge auftritt. **[6 BE]**
- 3.4** Mit Hilfe der Gleichung  $E = \frac{h \cdot c}{2 \cdot d \cdot \sin \beta}$  kann die Energie  $E$  eines Photons der Röntgenstrahlung aus dem Spektrum berechnet werden.  
 $h$ : plancksche Konstante,  $c$ : Lichtgeschwindigkeit,  $d$ : Netzebenenabstand  
Leiten Sie diese Gleichung begründet her.  
M10 zeigt ein Energieniveauschema des in der Röhre verwendeten Anodenmaterials.  
Ermitteln Sie die Übergänge im Energieniveauschema, die zu den beiden charakteristischen Spektrallinien in M8 gehören. **[10 BE]**

## Material

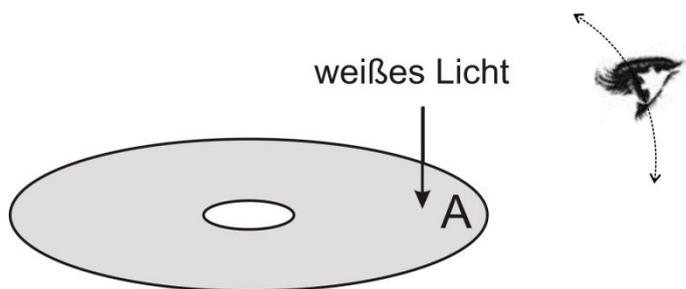


- M1:** Struktur einer CD-ROM; vereinfachend ist anzunehmen, dass die Reflexion des Lichtes an den Stegen stattfindet. Die Gitterkonstante ist der Abstand zwischen zwei Stegen.

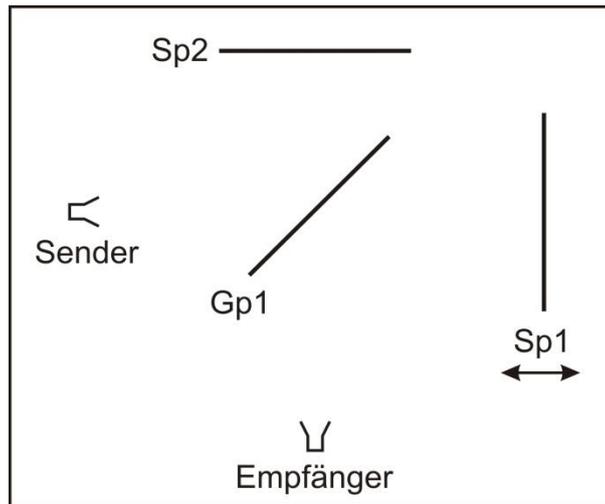


- M2:** Interferenzbild: Der Maßstab zeigt Zentimeter, das Maximum 0. Ordnung ist in der Mitte,  $e = 18,5 \text{ cm}$ ,  $\lambda = 634 \text{ nm}$ .

Hinweis: Verwenden Sie zur Messung den abgedruckten Maßstab.



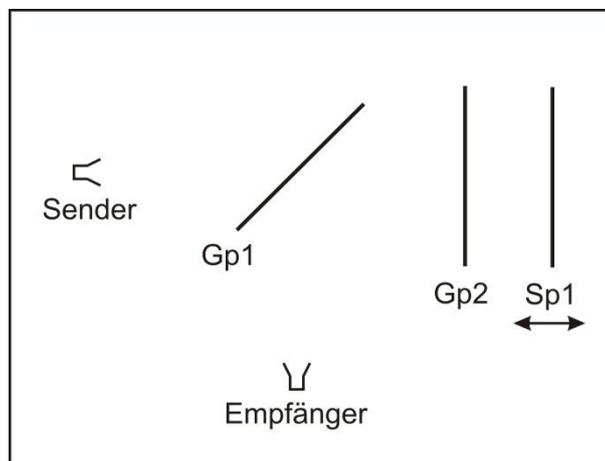
- M3:** Beleuchtung der CD mit weißem Licht



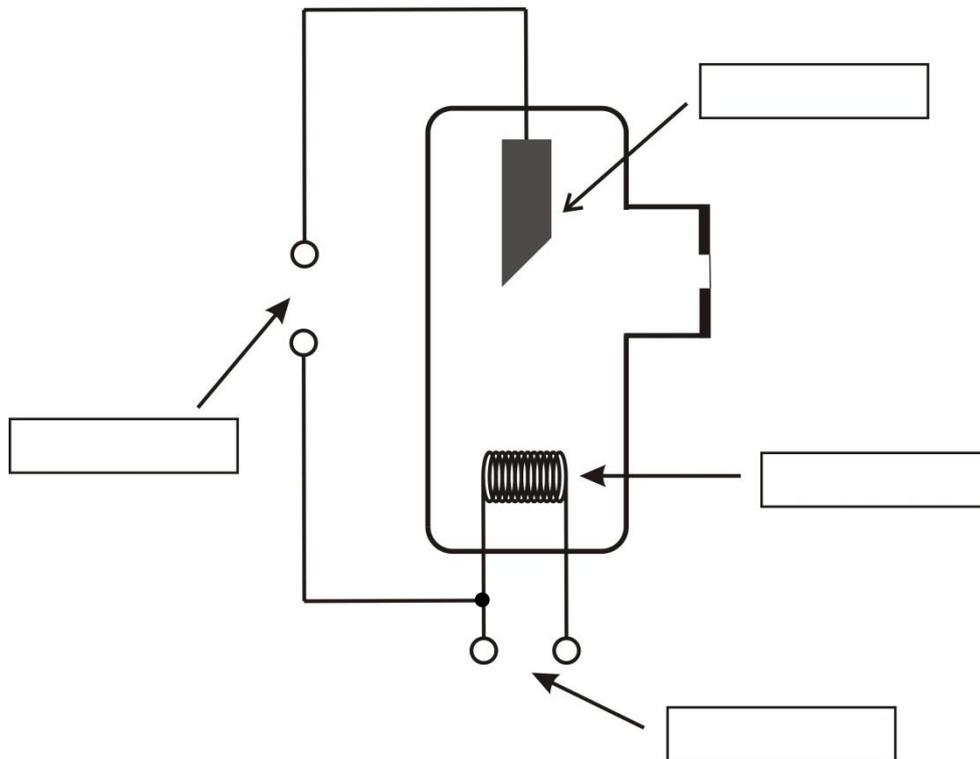
**M4:** Aufbau eines Michelson-Interferometers – schematisch dargestellt

Maximum Nr. $n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Verschiebung $d$ in mm	0,0	16	33	50	65	81	97	114	129

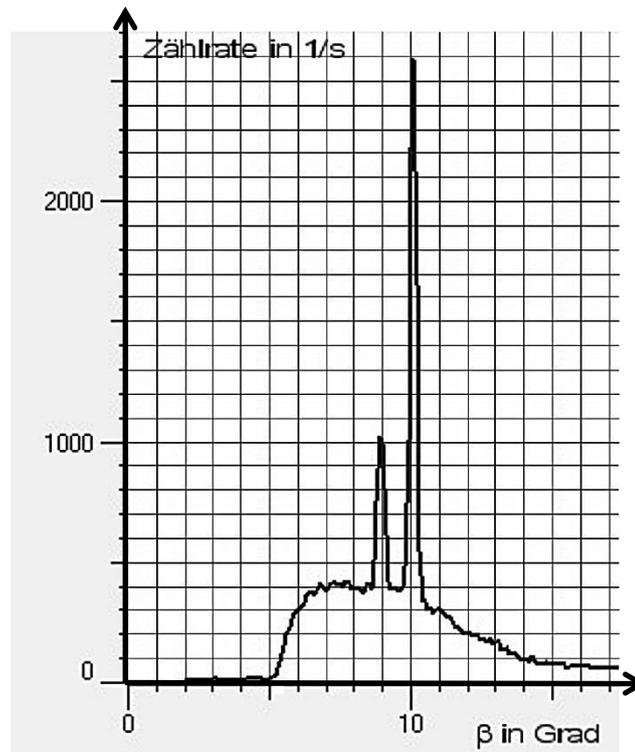
**M5:** Messwerte für Verschiebungen  $d$ , an denen Maxima registriert werden.



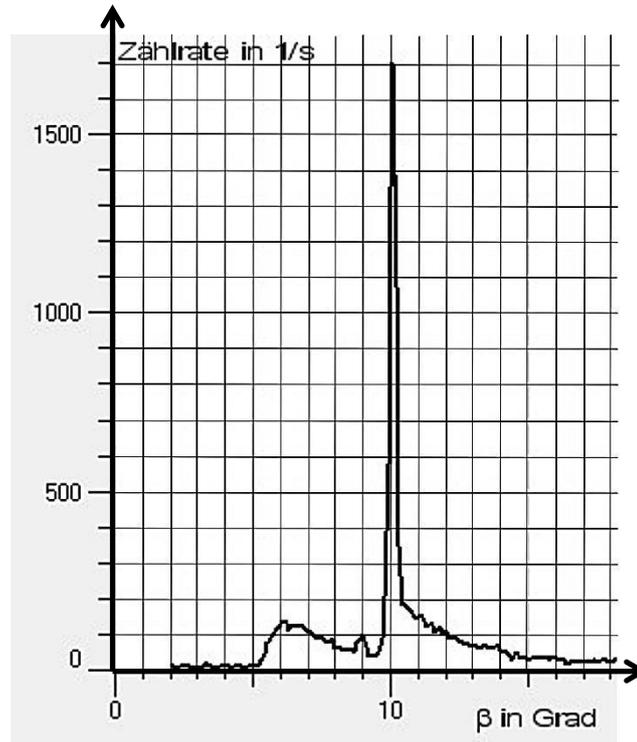
**M6:** Interferometer – veränderte Versuchsanordnung



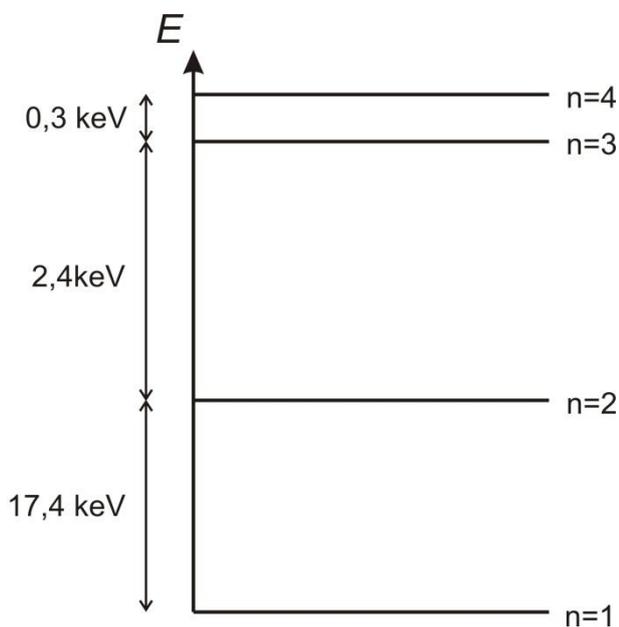
**M7:** Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre mit Beschaltung



**M8:** Röntgenspektrum. Das Spektrum wurde mit einem LiF-Kristall mit dem Netzebenenabstand  $d = 2,01 \cdot 10^{-10} \text{ m}$  aufgenommen.



**M9:** Röntgenspektrum mit Filter. Die Wellenlänge der nahezu monochromatischen Röntgenstrahlung beträgt  $\lambda = 7,05 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ .



**M10:** Ausschnitt aus einem vereinfachten Energieniveauschema des Anodenmaterials, angegeben sind die Energiedifferenzen in keV, nicht maßstabsgerecht.

### Hilfsmittel

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