

Thema: Längenbestimmungen mit Interferenzexperimenten

In der ersten Aufgabe wird der Spurabstand 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 Spurabstand einer CD-ROM zu untersuchen, wird diese als Reflexionsgitter verwendet, wobei der Spurabstand 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 monochromatischen Lichtquelle beleuchtet.

Beschreiben Sie an Hand einer beschrifteten Zeichnung ein Experiment zur Erzeugung eines Interferenzbildes unter Verwendung einer CD-ROM als Reflexionsgitter. **[4 BE]**

- 1.2** Bei der Beugung an einem Transmissionsgitter gelten die Gleichungen:

$$\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{g} \quad \text{und} \quad \tan \alpha_n = \frac{a_n}{e}.$$

λ : 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, α_n : Beugungswinkel.

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

Bestimmen Sie die Gitterkonstante g der CD-ROM mit Hilfe der Gleichung $g = \frac{n \cdot \lambda}{\sin(\tan^{-1}(\frac{a_n}{e}))}$

und dem Material M2.

Schätzen Sie die Messunsicherheit der ermittelten Gitterkonstante g ab, die sich aufgrund der Breiten der 1. Maxima in M2 ergibt. **[12 BE]**

- 1.3** Eine DVD besitzt einen Spurabstand von $0,74 \mu\text{m}$.

Ermitteln Sie mit Hilfe der Gleichungen aus 1.2 die Mindestbreite des Schirms, damit eine Messung des Spurabstandes entsprechend dem Experiment aus 1.1 mit einer blau leuchtenden LED ($\lambda = 473 \text{ nm}$) möglich ist. **[4 BE]**

Aufgabe 2

Mit einem Michelson-Interferometer soll die Wellenlänge λ von Mikrowellen bestimmt werden. M3 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]**

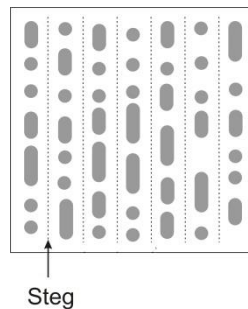
- 2.2** Die Tabelle in M4 zeigt die Verschiebungen d von Sp1, bei denen Maxima der Ordnung n registriert werden.
Zeichnen Sie ein n - d -Diagramm.
Ermitteln Sie einen funktionalen Zusammenhang $d = f(n)$, wobei Sie Ihre Vorgehensweise in der im Unterricht vereinbarten Weise dokumentieren.
Bestimmen Sie einen möglichst genauen Wert für die Wellenlänge λ der Mikrowellen. **[10 BE]**
- 2.3** Der Metallspiegel Sp2 wird durch eine teildurchlässige Glasplatte Gp2 ersetzt und an die Position gemäß M5 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 M3.
Hinweis: Mehrfachreflexionen zwischen Gp2 und Sp1 sollen vernachlässigt werden. **[4 BE]**

Aufgabe 3

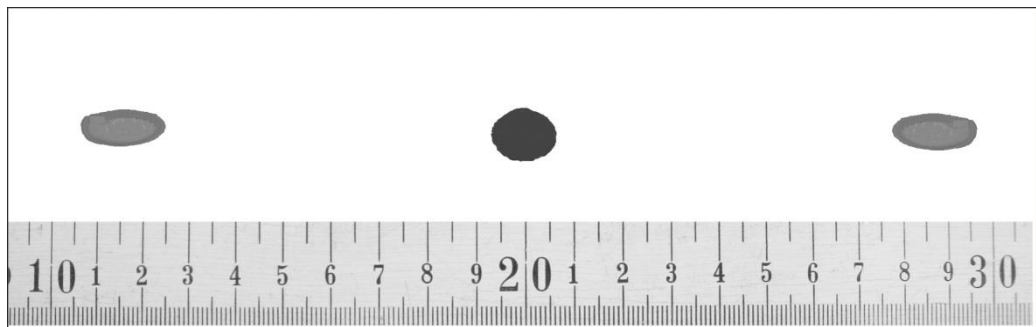
In einem Experiment wird Röntgenstrahlung untersucht, mit dem Ziel, den Netzebenenabstand eines Lithiumfluorid-Kristalls (LiF) zu ermitteln. Außerdem werden Vorgänge in einer Röntgenröhre betrachtet.

- 3.1** M6 zeigt den Aufbau einer Röntgenröhre mit Beschaltung.
Nennen Sie in M6 die Bezeichnungen der gekennzeichneten Bauteile durch Beschriftung.
Beschreiben Sie die Vorgänge in einer Röntgenröhre, die zur Entstehung eines Röntgenbremspektrums führen. **[6 BE]**
- 3.2** M7 zeigt ein Röntgenspektrum. Neben der Bremsstrahlung entsteht in der Röhre auch die sogenannte charakteristische Röntgenstrahlung.
Die Wellenlänge mit der größten Intensität in M7 hat den Wert $\lambda = 7,05 \cdot 10^{-11}$ m. Diese Wellenlänge lässt sich mit Hilfe der Bragg-Gleichung für Spektren 1. Ordnung ermitteln. Die Gleichung lautet: $\lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \beta$,
 d : Netzebenenabstand, β : Winkel zwischen einfallendem Strahl und Kristalloberfläche.
Bestätigen Sie mit Hilfe dieser Gleichung, dass der Wert für den Netzebenenabstand d des LiF-Kristalls ca. $2,01 \cdot 10^{-10}$ m beträgt. **[4 BE]**
- 3.3** Charakteristische Röntgenstrahlung entsteht durch Übergänge zwischen Energieniveaus der Atome des Anodenmaterials. M8 zeigt ein Energieniveauschema des Anodenmaterials der verwendeten Röhre.
Ermitteln Sie für die charakteristische Strahlung mit der geringeren Intensität aus M7 den zugehörigen Übergang im Energieniveauschema, indem Sie mit der Bragg-Gleichung aus 3.2 zunächst die Wellenlänge bestimmen. **[6 BE]**
- 3.4** Die Bremsstrahlung in M7 setzt bei $\beta = 5,2^\circ$ ein.
Berechnen Sie mit Hilfe der Bragg-Gleichung aus 3.2 die dazu gehörige Wellenlänge λ und die Frequenz f .
Begründen Sie, weshalb im Experiment, das dem Spektrum in M7 zu Grunde liegt, keine kleinere Wellenlänge auftritt. **[6 BE]**

Material

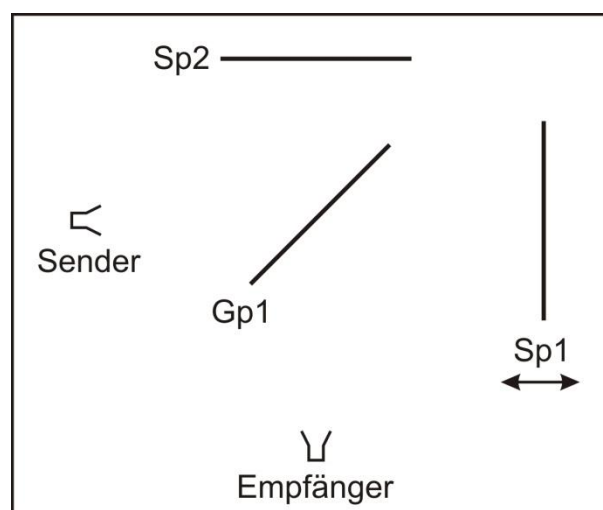


M1: Struktur einer CD-ROM; vereinfachend ist anzunehmen, dass die Reflexion des Lichtes an den Stegen stattfindet. Die Gitterkonstante ist der Abstand zwischen zwei Stegen.



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

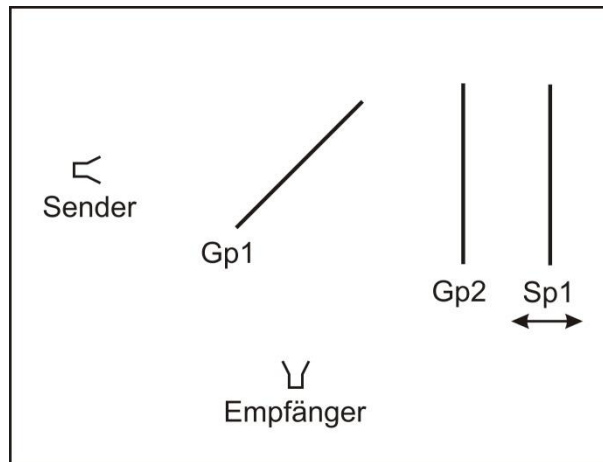
Hinweis: Verwenden Sie zur Messung den abgedruckten Maßstab.



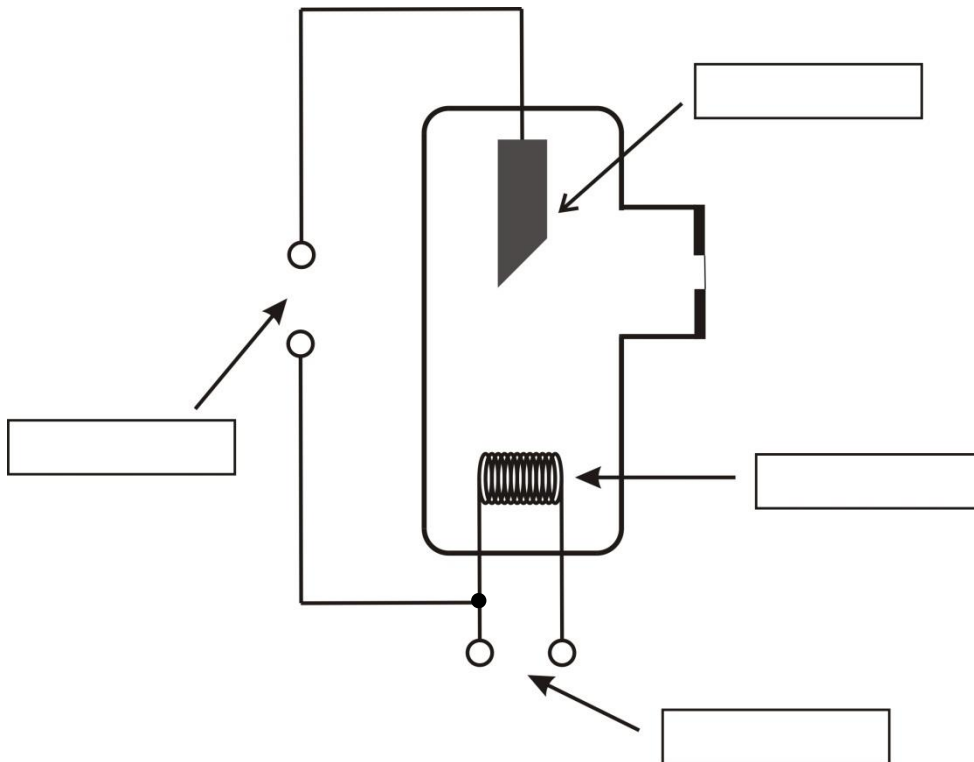
M3: Aufbau eines Michelson-Interferometers – schematisch dargestellt

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

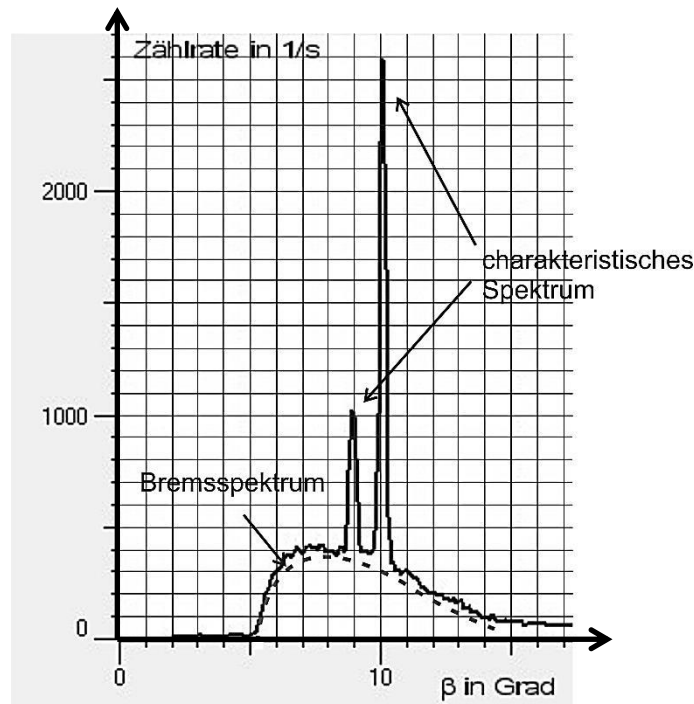
M4: Messwerte für Verschiebungen d , an denen Maxima registriert werden.



M5: Interferometer – veränderte Versuchsanordnung

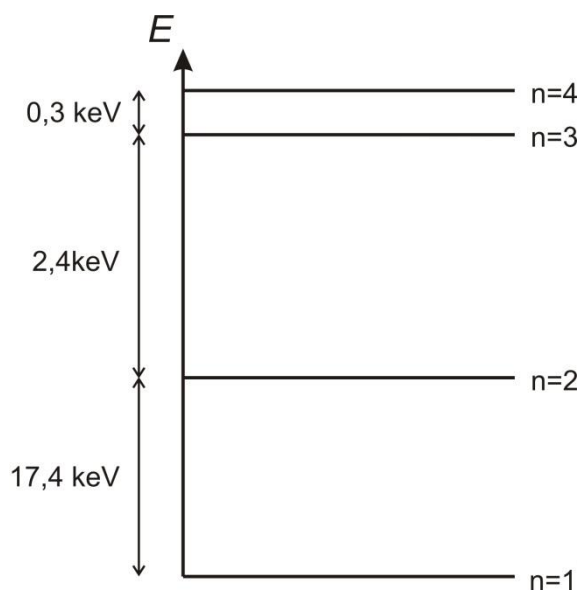


M6: Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre mit Beschaltung



M7: Röntgenspektrum 1. Ordnung, der Verlauf des Bremspektrums ist gestrichelt dargestellt.

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



M8: 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