

Thema: Experimentelle Bestimmung von Konstanten

In der ersten Aufgabe wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht in Luft und in Wasser durch Auswertung von Interferenzmustern bestimmt. Längenbestimmungen mit einem Michelson-Interferometer thematisiert die Aufgabe 2, die Aufgabe 3 beschäftigt sich mit der Röntgenröhre zur Bestimmung einer Naturkonstanten.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Mit einer rot leuchtenden LED (LED-rot) und einem Transmissionsgitter wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht in Wasser bestimmt, siehe Material 1 (M1) und M2. Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die LED-rot Licht nur einer bestimmten Wellenlänge emittiert.

Hinweis: In diesem Zusammenhang gilt die Gleichung $n \cdot \lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a_n}{e}\right)\right)$.

(n : Ordnung des Maximums; λ : Wellenlänge im jeweiligen Medium; g : Gitterkonstante; a_n : Abstand zwischen nulltem Maximum und Maximum n -ter Ordnung; e : Abstand Gitter-Schirm)

1.1 Beschreiben Sie das in M1 dargestellte Interferenzbild.

Erläutern Sie das grundsätzliche Entstehen von hellen und dunklen Bereichen auf einem Schirm bei Interferenzexperimenten mit Licht einer LED-rot.

[7 BE]

1.2 In diesem Experiment soll die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_{Wasser} von Licht in Wasser bestimmt werden. Es gilt dabei $c_{\text{Wasser}} = \frac{\lambda_{\text{Wasser}}}{\lambda_{\text{Luft}}} \cdot c_{\text{Luft}}$.

Ermitteln Sie mithilfe von M1 einen Wert für die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Wasser, wobei Sie Ihren Lösungsweg dokumentieren.

[6 BE]

1.3 Auf dem Schirm (siehe M2) sind aufgrund seiner Abmessungen in diesem Experiment Maxima dritter Ordnung nicht mehr zu erkennen.

Begründen Sie, was für die Ausbreitungsgeschwindigkeit in einer alternativen Flüssigkeit gelten muss, damit Maxima dritter Ordnung auf dem Schirm erkennbar werden.

Erläutern Sie, inwieweit das gleiche Ziel durch ein Abändern der Länge der Küvette erreicht werden könnte.

[6 BE]

1.4 Für dieses Experiment zur Bestimmung eines genauen Wertes von c_{Wasser} stehen zwei Lichtquellen zur Verfügung. Entgegen der oben genannten Vereinfachung besitzt die LED-rot das Spektrum in M3. Zusätzlich ist das Spektrum eines Lasers dargestellt.

Beurteilen Sie auf Grundlage von M3, welche der Lichtquellen hierfür geeigneter ist.

[4 BE]

1.5 In dem Experiment aus M1 und M2 wird die Küvette geleert und vollständig mit Leinöl ($c_{\text{Leinöl}} = 2,02 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) gefüllt, und die LED-rot wird gegen den Laser aus M3 ausgetauscht.

Berechnen Sie den Abstand a_1 des Maximums erster zum Maximum nullter Ordnung, indem Sie zunächst $\lambda_{\text{Leinöl}}$ unter Verwendung der Gleichung aus 1.2 berechnen.

[4 BE]

Aufgabe 2

Mit Michelson-Interferometern werden Wellenlängen und kleine Längenänderungen untersucht.

2.1 Zeichnen Sie einen entsprechenden Versuchsaufbau nach Michelson zur Bestimmung der Wellenlänge von Mikrowellen.

Erklären Sie, dass z. B. Maxima jeweils in den Abständen $\Delta x = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ auftreten.

(Δx : Verschiebungsstrecke eines Spiegels; λ : Wellenlänge; $n = 0, 1, 2, 3, \dots$)

[9 BE]

2.2 Bestimmen Sie aus M4 die Wellenlänge der verwendeten Mikrowellen.

Erläutern Sie, welche Änderungen sich im Diagramm in M4 bei einer Erhöhung der Frequenz der Mikrowellen ergeben. **[6 BE]**

2.3 Mit einem Michelson-Interferometer lässt sich auch die Längenausdehnung von Metallstäben bei Temperaturerhöhung untersuchen (M5). In der Praxis werden solche Experimente mit Laserlicht und einem lichtempfindlichen Detektor durchgeführt.

Der Längenausdehnungskoeffizient α ist gegeben durch: $\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \vartheta}$.

(ΔL : Längenausdehnung des Materials, L_0 : Ausgangslänge, $\Delta \vartheta$: Temperaturerhöhung)

Berechnen Sie mithilfe von M6 die Ausdehnung eines 1,00 m langen Eisenstabes bei einer Temperaturerhöhung von 20,0 °C auf 60,0 °C.

In einem Experiment wird die Längenausdehnung eines Stabes aus einem unbekanntem Metall mit einem Michelson-Interferometer untersucht.

Leiten Sie folgende Gleichung her: $\alpha = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot L_0 \cdot \Delta \vartheta}$ mit $n = 0, 1, 2, 3, \dots$.

Ermitteln Sie aus M6 und M7 das verwendete Material des Stabes, wobei Sie Ihren Lösungsweg dokumentieren. **[7 BE]**

2.4 Begründen Sie, weshalb das Experiment aus 2.3 bei sonst gleichen Versuchsbedingungen mit Mikrowellen der Frequenz $f = 15 \cdot 10^9$ Hz und dazugehörigem Detektor nicht erfolgreich durchgeführt werden kann. **[4 BE]**

Aufgabe 3

Mit einer Röntgenröhre lassen sich Spektren wie in M8 erzeugen. Die kurzwelligen Grenzen derartiger Spektren sollen zur Bestimmung einer Naturkonstanten ausgewertet werden.

3.1 Erläutern Sie die physikalischen Vorgänge in einer Röntgenröhre, die zur Entstehung von Bremsstrahlung führen. **[3 BE]**

3.2 Die kleinste Wellenlänge des Spektrums in M8 beträgt etwa 34,4 pm und wird kurzwellige Grenze genannt.

Bestätigen Sie auf Grundlage von M8 diesen Wert.

Hinweis: Sie dürfen die Gleichung $2d \cdot \sin(\beta) = n \cdot \lambda$ verwenden.

d : Netzebenenabstand
 β : Winkel
 n : Ordnung
 λ : Wellenlänge

Begründen Sie, weshalb in diesem Spektrum keine kleineren Wellenlängen auftreten. **[5 BE]**

3.3 Die Abbildung in M9 zeigt Spektren für vier verschiedene Beschleunigungsspannungen.

Bestätigen Sie durch eine Auswertung von M9 und auf der Grundlage eines zu erstellenden Diagramms die Proportionalität zwischen der Energie eines Photons und seiner Frequenz.

Vergleichen Sie die sich aus Ihrem Diagramm ergebende Proportionalitätskonstante mit dem Planck'schen Wirkungsquantum h . **[11 BE]**

3.4 Die Spektren in M8 und M9 weisen je zwei charakteristische Peaks auf, denen die Wellenlängen 62,9 pm und 71,7 pm zugeordnet werden können.

Begründen Sie, weshalb die Peaks stets bei gleichen Winkeln β_1 und β_2 liegen.

Stellen Sie die Zusammenhänge zwischen den charakteristischen Peaks und dem Energieniveauschema in M10 dar, wobei Sie auch rechnerische Belege dafür anfügen. **[8 BE]**

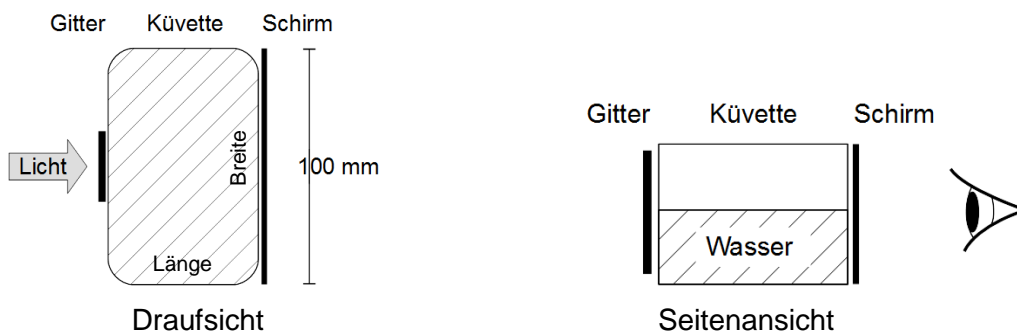
Material



- Abstand Gitter – Schirm: 6,5 cm
- Gitter: 500 Linien pro mm
- Interferenzbild
 obere Hälfte: Strahlengang durch Luft
 untere Hälfte: Strahlengang durch Wasser
- Der fotografierte Maßstab zeigt cm.
- Es gilt in guter Näherung $c_{\text{Luft}} = c_{\text{Vakuum}}$ (c : jeweilige Ausbreitungsgeschwindigkeit).
- Beim Übergang von Licht von einem Medium in ein anderes ändern sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Wellenlänge; die Frequenz hingegen bleibt konstant.

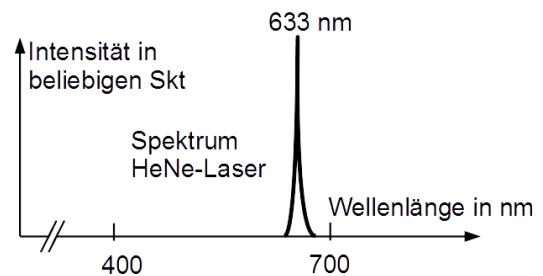
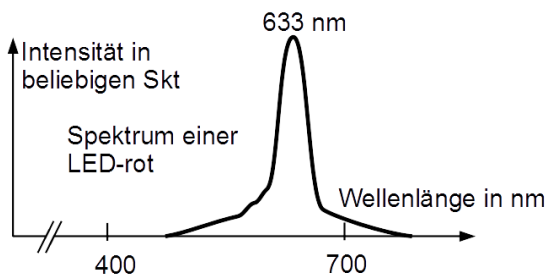
M1: Interferenzbild des Experiments zu Aufgabe 1

Das Bild zeigt eine Aufnahme des Schirms dieses Experiments in Durchsicht, dargestellt ist ein Ausschnitt.

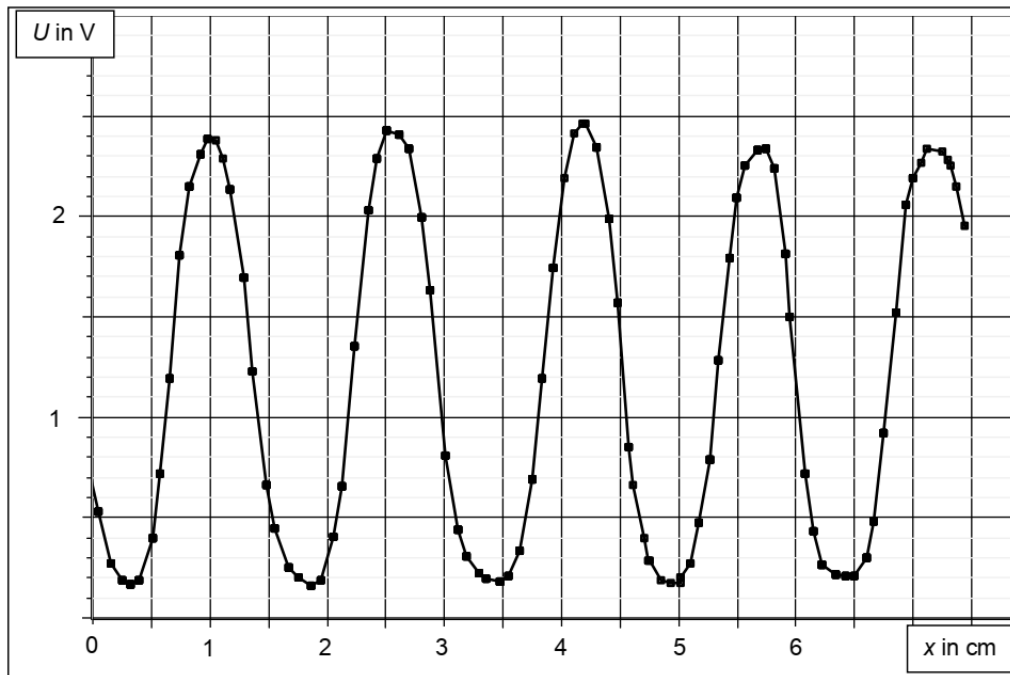


M2: Schematischer Aufbau des Experiments zu Aufgabe 1

Der Raum zwischen Gitter und Schirm wird so mit Wasser gefüllt, dass sich die obere Hälfte des Lichtbündels nur in Luft und die untere nur in Wasser ausbreitet.

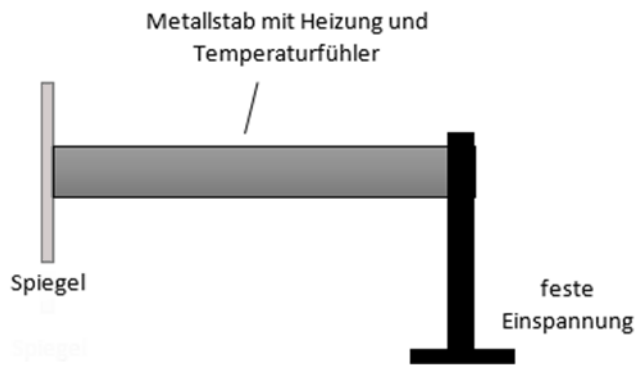


M3: Spektren einer LED-rot und eines HeNe-Lasers



M4: Spannung U am Detektor bei der Verschiebung eines Spiegels

Das Diagramm zeigt typische Spannungswerte vereinfachend als Maß für die Intensität der Mikrowellen bei geeigneter Verschiebung eines Spiegels (reflektierende Platte). x gibt den Ort bezogen auf einen beliebig gewählten Ausgangspunkt an.



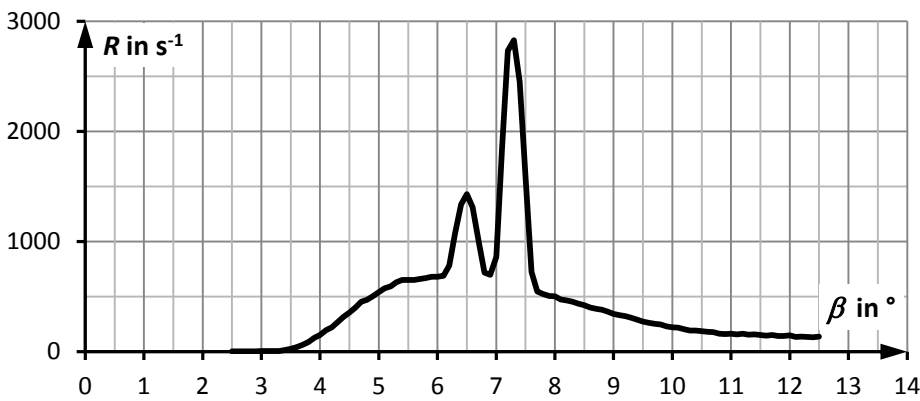
M5: Teil des Versuchsaufbaus zur Untersuchung der Längenausdehnung eines Metallstabes mit einem Michelson-Interferometer

Material	Aluminium	Blei	Eisen	Kupfer	Zinn
α in $10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$	23,9	29,0	12,2	16,5	26,7

M6: Längenausdehnungskoeffizient verschiedener Metalle

$$L_0 = 47,8 \text{ cm} ; \lambda = 632,8 \text{ nm} ; n = 267 ; \vartheta_1 = 25,8 \text{ }^\circ\text{C} ; \vartheta_2 = 36,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

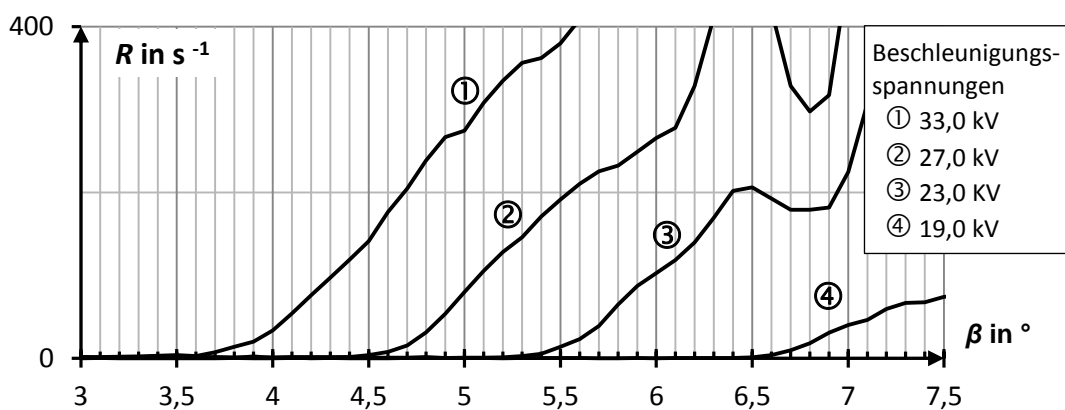
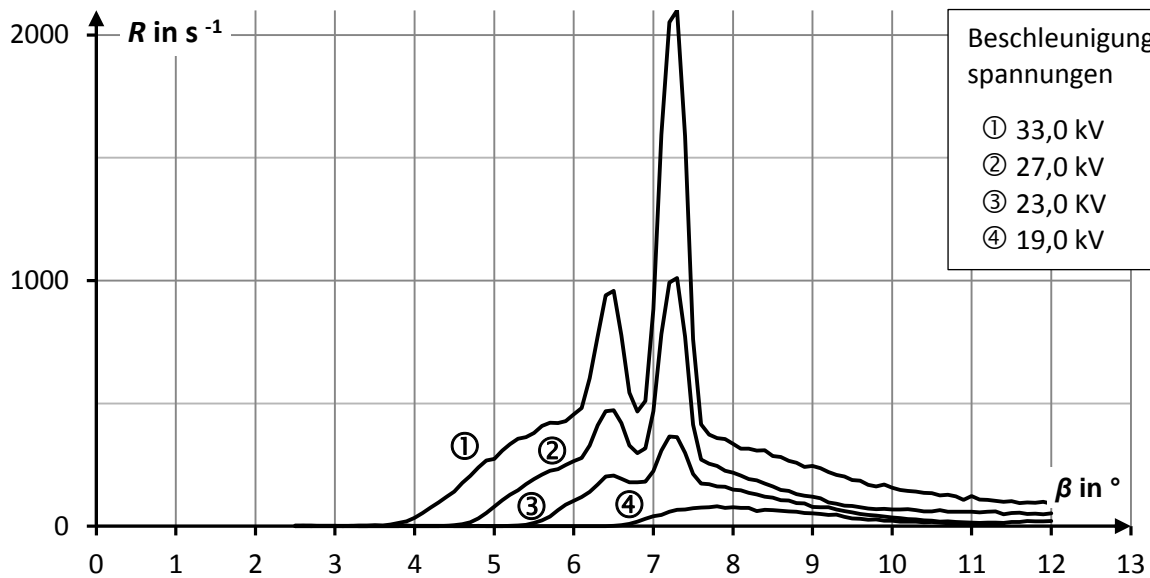
M7: Daten zur Bestimmung des Längenausdehnungskoeffizienten eines unbekanntes Materials



Aufnahme unter Verwendung:

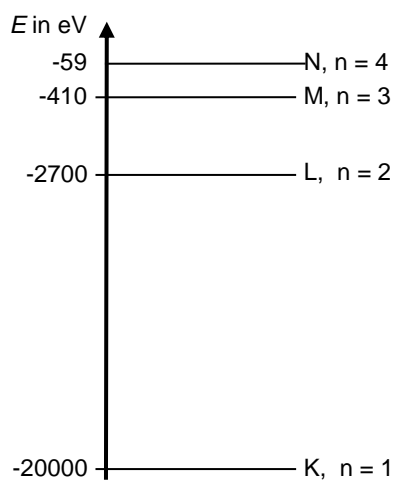
- einer Molybdän-Anode
- der Drehkristallmethode
- eines NaCl-Kristalls mit Netzebenenabstand $d = 282 \text{ pm}$

M8: Röntgenspektrum: Zählrate R in Abhängigkeit vom Winkel β



M9: Vier Röntgenspektren für unterschiedliche Beschleunigungsspannungen U_B

Die untere Abbildung zeigt einen vergrößerten Ausschnitt im Bereich kleiner Winkel β . Aufgetragen ist die Zählrate R in Abhängigkeit vom Winkel β . Zur Aufnahme der Spektren mit der Drehkristallmethode wurde dasselbe Anodenmaterial (Molybdän) verwendet sowie ein NaCl-Kristall mit einem Netzebenenabstand von $d = 282 \text{ pm}$.



M10: Stark vereinfachtes Energieniveauschema von Molybdän
Für die Energien sind Näherungswerte angegeben.

Hilfsmittel

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