

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.

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.

Hinweis: Für Berechnungen 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 nullem Maximum und Maximum n -ter Ordnung; e : Abstand Gitter-Schirm)

Ermitteln Sie jeweils die Wellenlänge in Luft und Wasser anhand von M1, wobei Sie Ihren Lösungsweg dokumentieren.

Bestimmen Sie mit Ihrem Ergebnis und mithilfe der Gleichung $c_{\text{Wasser}} = \frac{\lambda_{\text{Wasser}}}{\lambda_{\text{Luft}}} \cdot c_{\text{Luft}}$ einen Wert für die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Wasser. **[6 BE]**

1.3 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]**

Aufgabe 2

Mit Michelson-Interferometern werden Wellenlängen und kleine Längenänderungen untersucht.

2.1 Zeichnen Sie einen entsprechenden Versuchsaufbau nach dem Prinzip eines Michelson-Interferometers 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; $n = 0, 1, 2, 3, \dots$)

Bestimmen Sie aus M4 die Wellenlänge der verwendeten Mikrowellen. **[12 BE]**

2.2 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 hängt vom Material ab und ist gegeben durch:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \vartheta} \quad (\Delta L: \text{Längenausdehnung des Materials, } L_0: \text{Ausgangslänge, } \Delta \vartheta: \text{Temperaturerhöhung})$$

Berechnen Sie mithilfe von M6 die Ausdehnung eines 1,00 m langen Eisenstabes bei einer Temperaturerhöhung von 20,0 °C auf 60,0 °C. **[2 BE]**

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

Leiten Sie unter Verwendung der Gleichungen aus 2.1 und 2.2 folgende Gleichung her:

$$\alpha = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot L_0 \cdot \Delta \vartheta} \quad \text{mit } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Ermitteln Sie aus M6 und M7 das verwendete Material des Stabes, wobei Sie Ihren Lösungsweg dokumentieren.

Die Materialbestimmung bei sonst gleichen Versuchsbedingungen kann mit Mikrowellen der Wellenlänge $\lambda = 2 \text{ cm}$ und dazugehörigem Detektor nicht erfolgreich durchgeführt werden.

Begründen Sie diesen Sachverhalt, wobei Sie zunächst die Längenausdehnung ΔL des Stabes berechnen. **[8 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, wobei Sie die Bezeichnungen in M9 ergänzen. **[5 BE]**

- 3.2** Das Spektrum in M8 beginnt bei einem Winkel von etwa $\beta_{\text{Grenz}} \approx 3,5^\circ$. Diese Stelle wird kurzwellige Grenze des Röntgenspektrums genannt.

Berechnen Sie die dazugehörige Wellenlänge λ_{Grenz} .

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

(d : Netzebenenabstand, β : Winkel, n : Ordnung, λ : Wellenlänge)

Begründen Sie durch eine geeignete Energiebetrachtung, weshalb grundsätzlich keine kleineren Wellenlängen als λ_{Grenz} in diesem Spektrum vertreten sind. **[5 BE]**

- 3.3** Die Abbildung in M10 zeigt Spektren für vier verschiedene Beschleunigungsspannungen.

Bestimmen Sie die fehlenden Angaben in M11.

Bestätigen Sie auf Grundlage eines zu erstellenden f - E -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]**

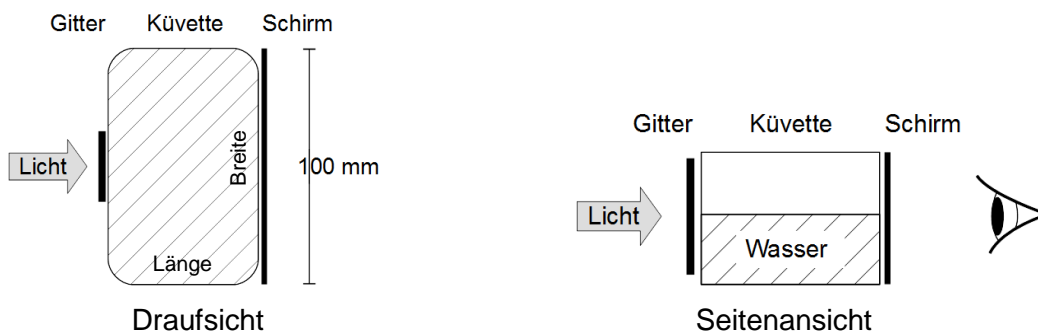
Material



- Abstand Gitter – Schirm: $e = 6,5 \text{ cm}$
- Gitter: $g = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
- 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.

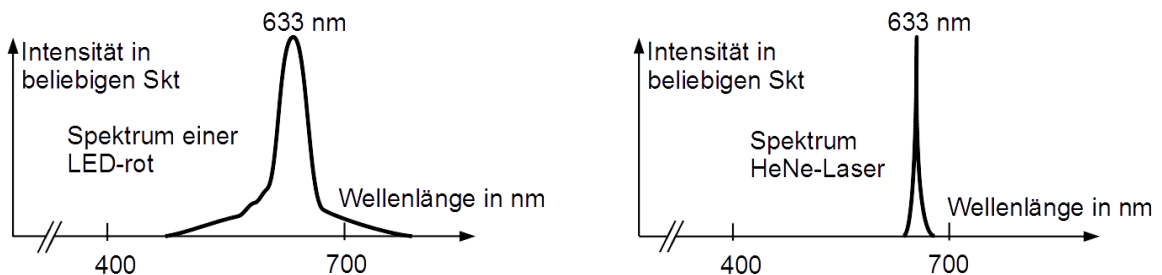
M1: Interferenzbild des Experiments zu Aufgabe 1

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

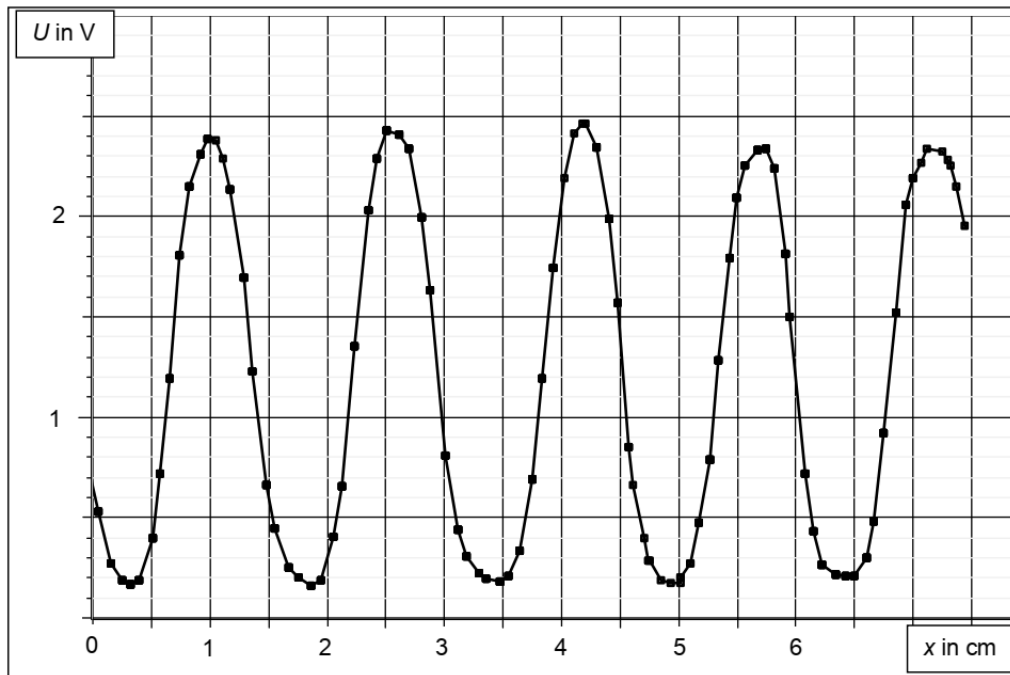


M2: Schematischer Aufbau des Experiments zu Aufgabe 1

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.

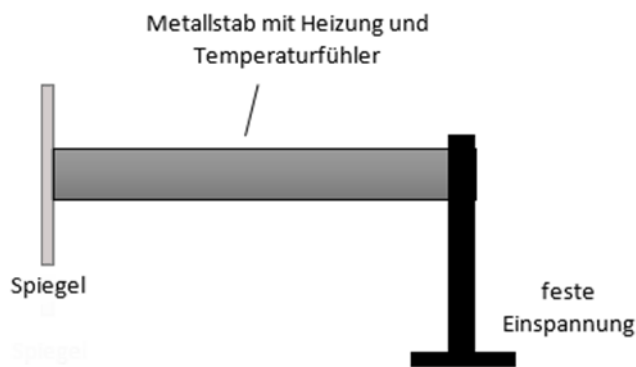


M3: Spektren einer LED-rot und eines HeNe-Lasers



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.



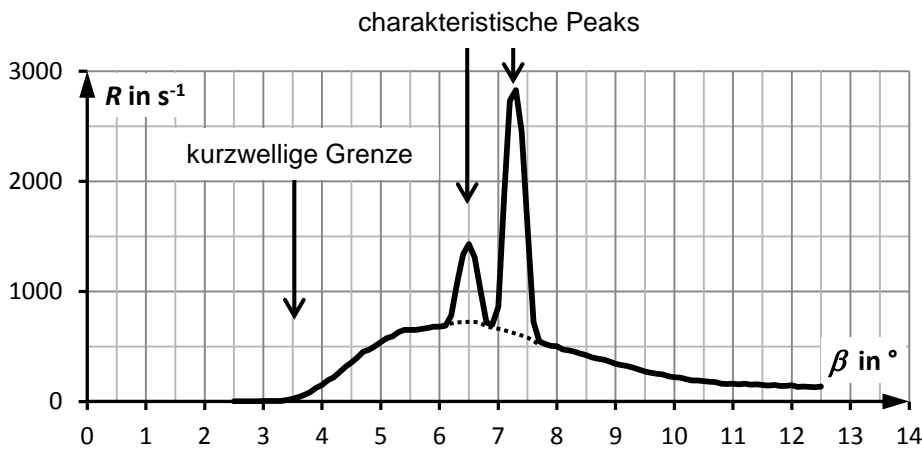
M5: Teil des Versuchsaufbaus zur Untersuchung der Längenausdehnung eines Metallstabes mit einem Michelson-Interferometer

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

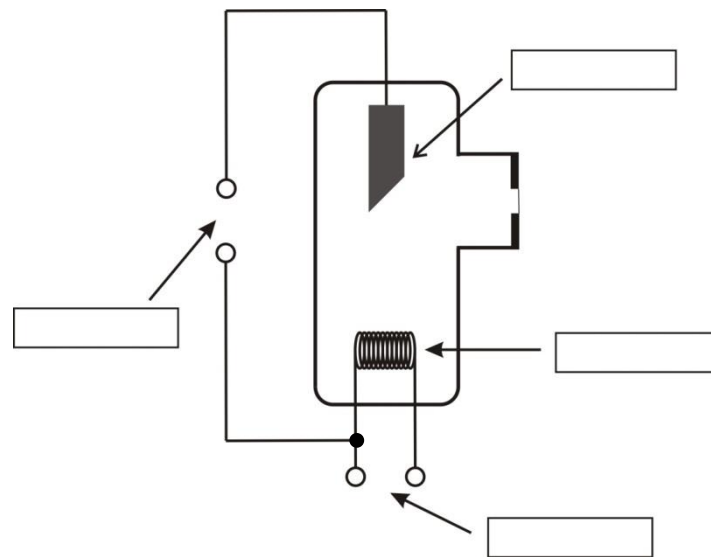


Aufnahme unter Verwendung:

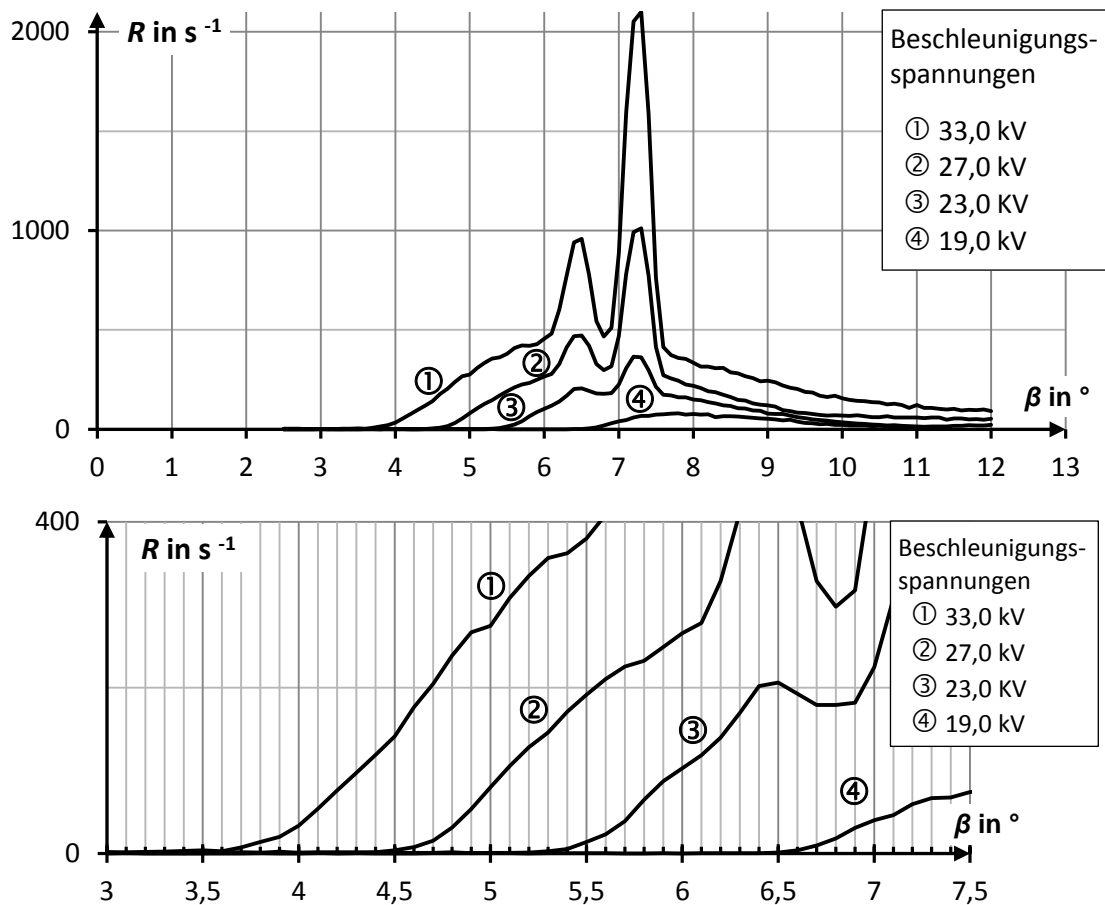
- einer Molybdän-Anode
- der Drehkristallmethode
- eines NaCl-Kristalls mit Netzebenenabstand $d = 282 \text{ pm}$

M8: Röntgenspektrum: Zählrate R in Abhängigkeit vom Winkel β

Das kontinuierliche Bremsspektrum ist überlagert von zwei für die Aufgaben nicht relevanten charakteristischen Peaks. Das Bremsspektrum beginnt bei einem Winkel β_{Grenz} von etwa $3,5^\circ$, dieser wird kurzweilige Grenze genannt.



M9: Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre mit Beschaltung



M10: 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 $d = 282 \text{ pm}$.

Nr. des Spektrums	1	2	3	4
β_{Grenz}	3,8 $^\circ$			6,7 $^\circ$
f in 10^{18} Hz	8,02		5,55	
U_B in kV	33	27	23	19
E in 10^{-16} J		43,3	36,8	30,4

M11: Messwerte, die sich aus dem unteren Diagramm in M10 ergeben

f ist die Frequenz der Röntgenstrahlung an der kurzwelligen Grenze, E ist die Energie der in der Röhre mit U_B beschleunigten Elektronen.

Hilfsmittel

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