

Thema: Messunsicherheiten in zentralen Experimenten der Physik

Bei einem Fadenpendel wird in Aufgabe 1 der Einfluss des Auslenkwinkels auf die Periodendauer untersucht. In Aufgabe 2 erfolgt die Bestimmung der Gitterkonstanten eines Gitters. In Aufgabe 3 werden mittels einer Stromwaage Daten zum magnetischen Feld erfasst und ausgewertet.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

In einem Experiment wird für ein Fadenpendel die Abhängigkeit der Periodendauer T vom Auslenkwinkel α untersucht. Material 1a (M1a) zeigt einen möglichen Versuchsaufbau.

- 1.1 Beschreiben Sie die Durchführung eines Versuchs, um die in M1b dargestellten Messdaten zu erheben, wobei Sie auch auf eine Verringerung der Messunsicherheit eingehen.

Zeichnen Sie ein α - T -Diagramm (M1b) mit geeigneter Skalierung der Hochachse.

Beurteilen Sie für welchen Winkelbereich α von einer konstanten Periodendauer T ausgegangen werden kann. **[9 BE]**

- 1.2 Die Periodendauer T eines Fadenpendels wird durch die folgende Gleichung angegeben:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Prüfen Sie unter Verwendung von M1c und der Berücksichtigung von Messunsicherheiten, ob die Gleichung Gültigkeit besitzt. **[6 BE]**

- 1.3 In einem Experiment mit elektronischer Messwerterfassung wird als Pendelkörper ein Sensor eingesetzt. Die von ihm erfassten Daten zeigt M1d.

Erläutern Sie die Bedeutung der Hochpunkte in diesem Sachzusammenhang.

Ermitteln Sie ausgehend von M1d unter Abschätzung von Messunsicherheiten die Länge l des Fadenpendels. **[6 BE]**

- 1.4 Unter einem harmonischen Oszillator versteht man ein schwingendes System, bei welchem die Rückstellkraft F_R proportional zur Auslenkung s ist. M1e enthält die in M1a dargestellte Rückstellkraft F_R in Abhängigkeit von der Auslenkung s bzw. dem Winkel α .

Prüfen Sie, ob es einen Wertebereich gibt, in dem sich das Pendel wie ein harmonischer Oszillator verhält. **[7 BE]**

Aufgabe 2

In dieser Aufgabe wird die Gitterkonstante eines Transmissionsgitters unter Verwendung von sichtbarem Licht und Beobachtung eines Interferenzbildes untersucht.

- 2.1 Planen Sie den Aufbau eines Experiments zur Bestimmung der Gitterkonstanten eines Transmissionsgitters unter Verwendung von monochromatischem Licht und der objektiven Methode.

Erläutern Sie das Entstehen der Maxima bei der Interferenz an einem Gitter.

Bei der Interferenz am Gitter gilt: $\sin\left(\arctan\left(\frac{a_n}{e}\right)\right) = \frac{n\lambda}{g}$.

n : Ordnung des Maximums, λ : Wellenlänge, g : Gitterkonstante, e : Abstand Gitter – Schirm, a_n : Abstand Maximum n -ter Ordnung – Hauptmaximum

Leiten Sie die Gleichung anhand mindestens einer geeigneten Skizze begründet her. Hinweis: Bei der Herleitung genügt die Betrachtung zweier benachbarter Gitteröffnungen. **[13 BE]**

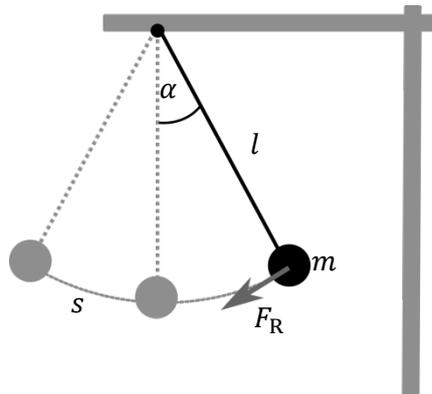
- 2.2** Mit einem geeigneten Aufbau erhält man mit einer rot leuchtenden LED und einem Gitter ein Interferenzbild (M2a). Laut Hersteller weist das Gitter 500 Striche pro Millimeter auf.
Bestimmen Sie unter Verwendung von M2a die Gitterkonstante des Gitters.
Beurteilen Sie die Herstellerangabe unter Einbeziehung der Messunsicherheiten für e und a_n .
Erläutern Sie eine experimentelle Maßnahme zur Verringerung der Messunsicherheiten. **[9 BE]**
- 2.3** In einer Abwandlung des Experiments werden auch Maxima höherer Ordnung beobachtet.
Ermitteln Sie die höchste Ordnung der theoretisch zu beobachtenden Maxima.
In einem Gedankenexperiment wird jeder zweite Spalt des Gitters verdeckt.
Stellen Sie eine begründete Hypothese bezüglich der Veränderungen am Interferenzbild hinsichtlich der Ordnung der theoretisch zu beobachtenden Maxima auf. **[6 BE]**

Aufgabe 3

In M3a ist der schematische Aufbau einer sogenannten Stromwaage dargestellt, mit der die Kraft auf einen stromführenden Leiter in einem Magnetfeld untersucht werden kann. Bei allen Telexperimenten befindet sich der jeweilige Leiter im homogenen Bereich des zeitlich konstanten Magnetfeldes.
Hinweis: Gravitationskräfte sollen bei der Bearbeitung der Aufgabe nicht berücksichtigt werden.

- 3.1** Der Leiter in M3a soll aus der waagerechten Ausgangslage nach unten gezogen werden.
Zeichnen Sie in M3a unter Angabe einer Begründung eine Kombination für die Polung der elektrischen Anschlüsse und die Richtung der magnetischen Flussdichte B ein.
Hinweis: Die magnetische Flussdichte wird auch magnetische Feldstärke genannt. **[3 BE]**
- 3.2** In einem ersten Telexperiment wird bei konstanter Länge s des waagerechten Leiterstücks die Stromstärke I durch den Leiter variiert und die Kraft F auf den Kraftsensor abgelesen (M3b).
Ermitteln Sie mit den Daten aus M3b den funktionalen Zusammenhang $F = f(I)$, wobei Sie Ihre Vorgehensweise in der aus dem Unterricht bekannten Form dokumentieren.
Zur Bestätigung der Definitionsgleichung für die magnetische Flussdichte B wird das erste Telexperiment unter Variation der Leiterlängen s erneut durchgeführt. Die Messdaten sind in M3c grafisch dargestellt.
Erläutern Sie, wie man mit Hilfe von Proportionalitätsfaktoren der vier Messreihen in M3b und M3c die Definitionsgleichung der magnetischen Flussdichte $B = \frac{F}{I \cdot s}$ bestätigen kann.
Bestimmen Sie unter Einbeziehung aller vier Messreihen in M3b und M3c die magnetische Flussdichte im homogenen Bereich des Magnetfeldes in diesen Versuchen. **[12 BE]**
- 3.3** In Abwandlung des Versuchs wird bei unveränderter magnetischer Flussdichte und elektrischer Stromstärke eine Leiterschleife anderer Form verwendet (M3d).
Nehmen Sie Stellung zu folgender Aussage: „Die angezeigte Kraft ist bei beiden Versuchsaufbauten gleich groß.“ **[3 BE]**
- 3.4** Neben dem magnetischen Feld spielt das elektrische Feld in der Physik und in der Technik eine wichtige Rolle.
Beschreiben Sie ein Experiment zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke E auf der Grundlage einer Kraftmessung.
Vergleichen Sie diese Vorgehensweise mit der bei der Bestimmung der magnetischen Flussdichte in 3.1, indem Sie auf Analogien eingehen. **[6 BE]**

Material

**M1a:** Vereinfachter Aufbau eines Fadenpendels

An einem Faden ist ein Massestück der Masse m befestigt. Das Fadenpendel der Pendellänge l wird um einen bestimmten Winkel α bzw. einen Weg s ausgelenkt. Anschließend wird die Periodendauer T bestimmt. Die Rückstellkraft F_R beschleunigt das Pendel.

α in $^\circ$	5	10	15	20	30	40	50	60
$10 \cdot T$ in s	15,84	15,83	15,86	15,91	16,00	16,09	16,54	17,00

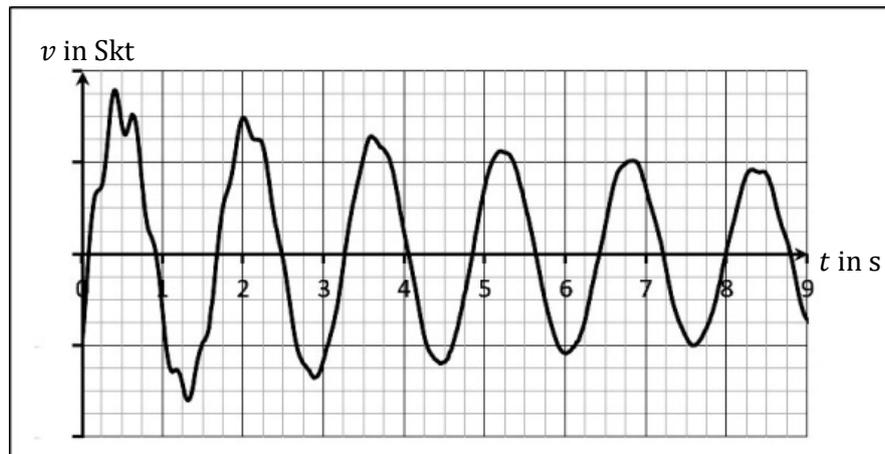
M1b: Messdaten zur Bestimmung der Periodendauer T in Abhängigkeit des Auslenkwinkels α

Die Abhängigkeit der Periodendauer T von dem Auslenkwinkel α wird an einem Fadenpendel der Pendellänge $l = 62,5$ cm untersucht. Die Messung erfolgt über 10 Perioden. Die Masse des Pendels beträgt $m = 50$ g.

Größe	Messwert	Absolute Messunsicherheit
Pendellänge l	62,5 cm	0,1 cm
Dauer $10 \cdot T$	15,86 s	0,20 s
Winkel α	15 $^\circ$	1 $^\circ$

M1c: Gemessene Größen zur Bestimmung der Periodendauer T

Hinweis: Eine Messunsicherheit der Erdbeschleunigung g ist nicht zu berücksichtigen.



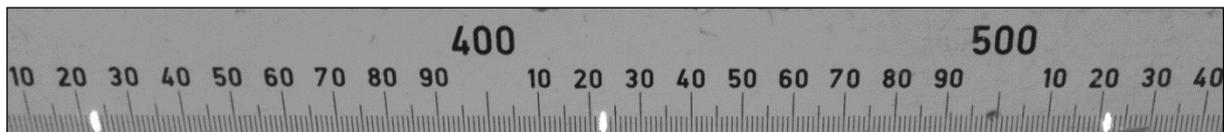
M1d: Zeitlicher Verlauf der Geschwindigkeit v des Fadenpendels

Ein Sensor eines Messwerterfassungssystems wird am Fadenpendel als neue Masse befestigt. Dieser misst die Geschwindigkeit des Pendels.

α in $^\circ$	5	10	20	30	40	50	60
s in m	0,05	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,65
F_R in N	0,039	0,085	0,168	0,245	0,315	0,376	0,425

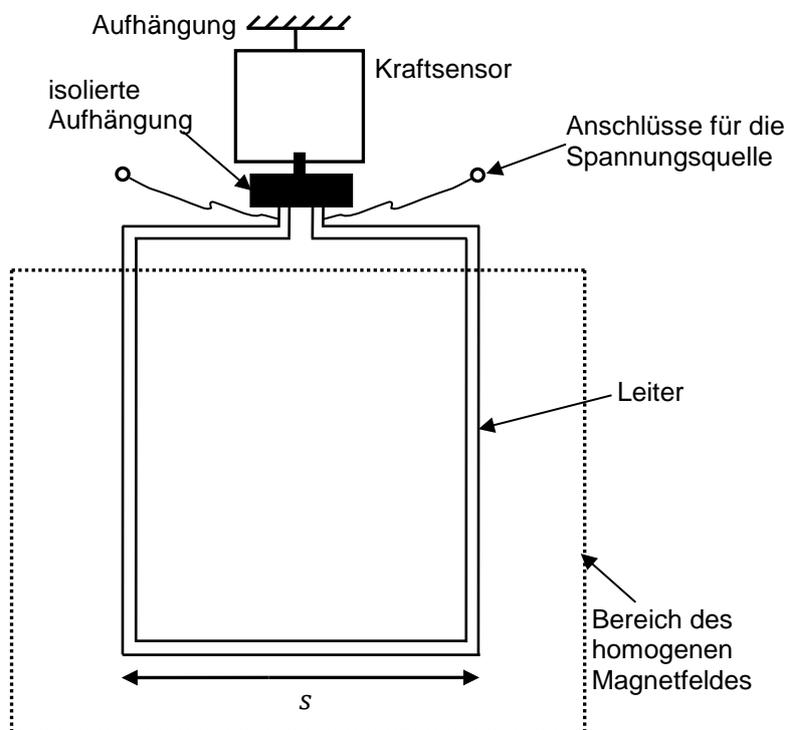
M1e: Abhängigkeit der Rückstellkraft F_R vom Winkel α

Die Rückstellkraft beschleunigt das Pendel. Die Auslenkung s wird anhand der geometrischen Abmessungen und M1a ermittelt.



M2a: Interferenzbild auf dem Schirm

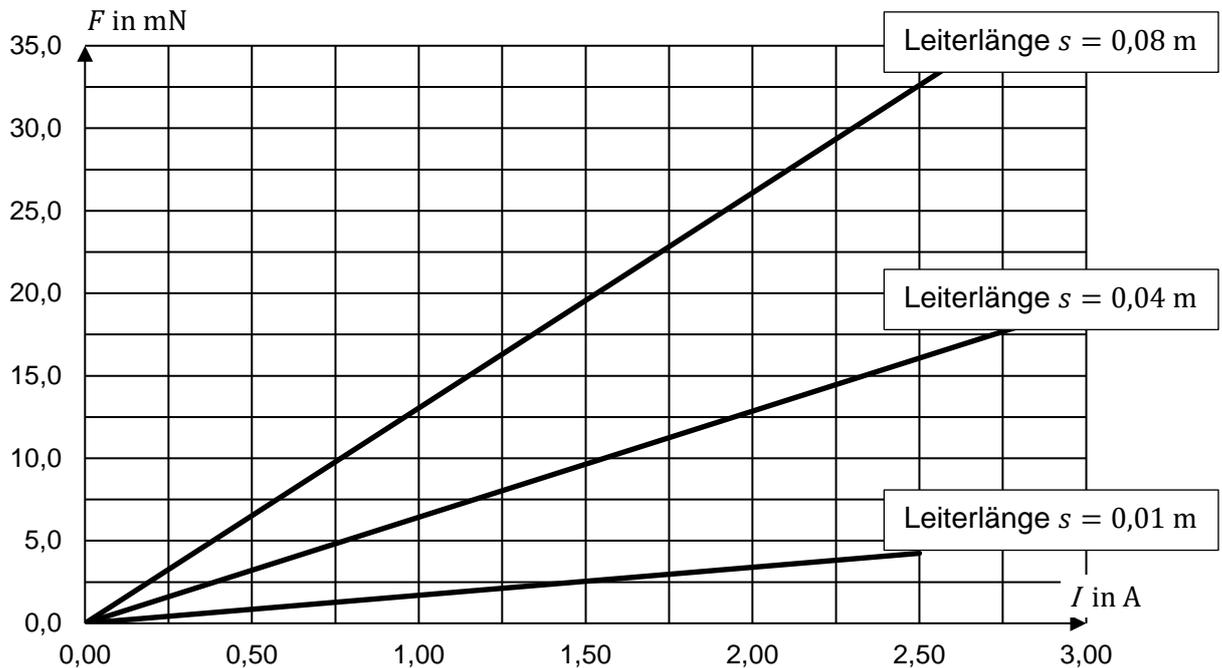
Der Maßstab zeigt Millimeter, das Maximum 0. Ordnung ist in der Mitte, $\lambda = 631$ nm, $e = 32,0$ cm.



M3a: Zu ergänzende Skizze des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte B

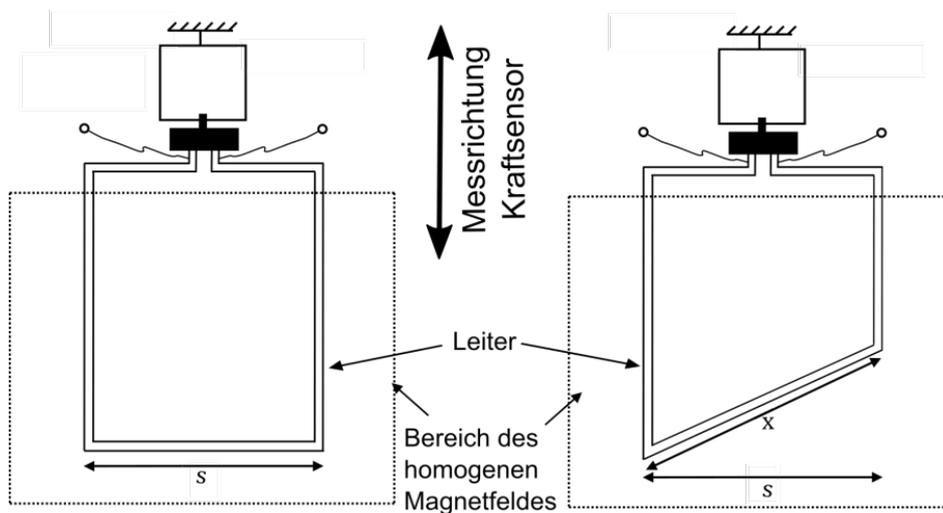
Stromstärke I in A	0,0	0,55	1,25	2,00	2,30	2,55	2,90
Kraft F in mN	0,0	1,7	4,1	6,6	7,6	8,5	9,5

M3b: Messwerte zum ersten Teilversuch in 3.2 mit konstanter Leiterlänge $s = 0,02$ m



M3c: I - F -Diagramm zu den drei weiteren Messreihen in 3.2

Vereinfachend sind nur die Ausgleichsgraphen ohne Messpunkte dargestellt.



M3d: Aufbau der Stromwaage aus M3a (links) und mit veränderter Leiterschleife (rechts)

Hilfsmittel

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