



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Elektromagnetische Schwingungen und Resonanz

Die Abbildung 1 zeigt die Schaltskizze einer Versuchsanordnung zur Erzeugung und Registrierung einer gedämpften elektromagnetischen Schwingung. Vor Beginn des Versuchs wird der Kondensator geladen (Schalter S befindet sich in Position A). Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird der Schalter S in Position B gebracht. Mit einem Messwertersfassungssystem wird die Stromstärke I des im Schwingkreis fließenden Stromes registriert, das entsprechende Diagramm ist in Abbildung 2 wiedergegeben. Das Messgerät ist so getriggert, dass die Aufzeichnung des Graphen mit dem Umlegen des Schalters S in die (abgebildete) Position B beginnt.

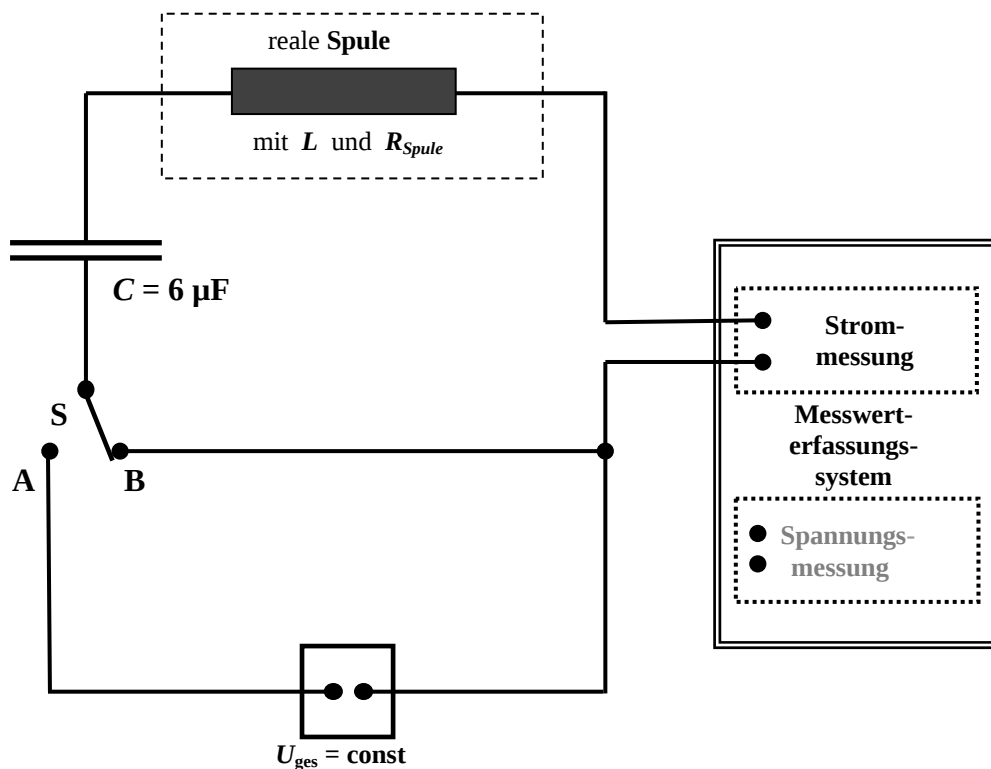


Abbildung 1: Schaltskizze zum Versuchsaufbau ($C = 6 \mu\text{F}$)



Name: _____

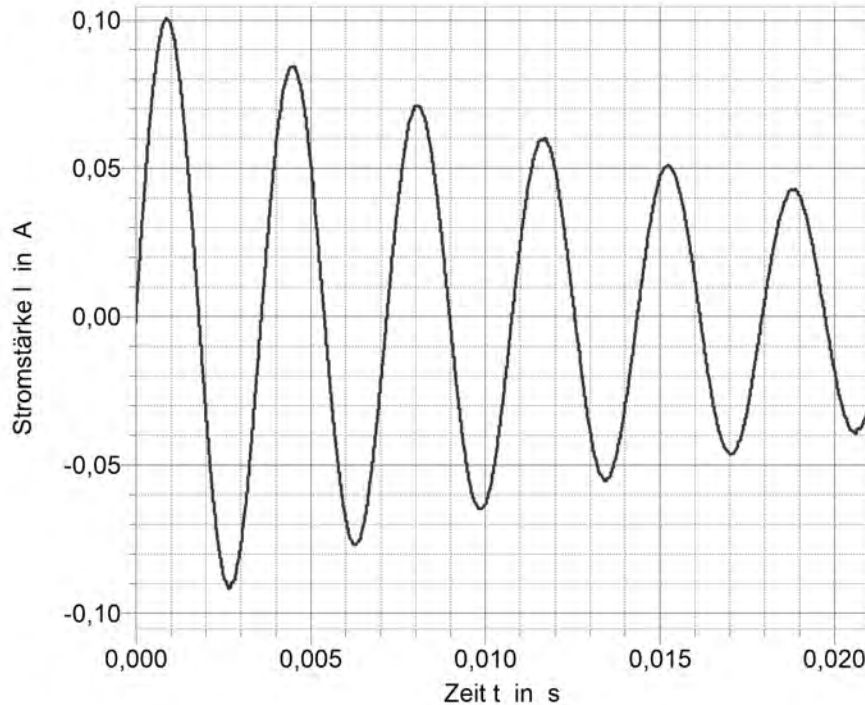


Abbildung 2: Registrierter zeitlicher Verlauf der Stärke des im Schwingkreis fließenden Stromes

Teilaufgabe 1

Gehen Sie davon aus, dass für die Stromstärke-Zeit-Funktion $I(t)$ dieser **gedämpften** elektromagnetischen Schwingung in guter Näherung gilt:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-k \cdot t} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{mit} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

- Ermitteln Sie aus dem Diagramm in Abbildung 2 die Schwingungsdauer T dieser gedämpften elektromagnetischen Schwingung.
- Bestimmen Sie den sogenannten Dämpfungsfaktor k anhand des Diagramms in Abbildung 2 und begründen Sie die Richtigkeit des von Ihnen verwendeten Verfahrens.

[Ergebnis: $k \approx 48 \text{ s}^{-1}$]

Hinweis: Der Vorfaktor I_0 ist **nicht** bekannt, I_0 entspricht auch **nicht** der ersten Amplitude.

(12 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2

a) Für die Kreisfrequenz ω einer gedämpften elektromagnetischen Schwingung gilt die

Beziehung $\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - k^2}$.

Für die Kreisfrequenz ω_0 einer **nicht** gedämpften elektromagnetischen Schwingung gilt

dagegen $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$.

Ermitteln Sie mit Hilfe der bisherigen Messwerte und Ergebnisse den Unterschied zwischen ω und ω_0 und beurteilen Sie Ihr Ergebnis.

b) *Ermitteln Sie mit Hilfe der bisherigen Messwerte und Ergebnisse die Induktivität L der Spule.*

[Ergebnis: $L \approx (56 \pm 2)$ mH]

Hinweis: Die Kapazität des Kondensators beträgt $C = 6 \mu\text{F}$.

(11 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Die in Teilaufgabe 2 angegebenen Beziehungen für ω bzw. für ω_0 können mit Hilfe theoretischer Betrachtungen hergeleitet werden:

Für die Strom-Zeit-Funktion $I(t)$ der **gedämpften** elektromagnetischen Schwingung ist

zu jedem Zeitpunkt t die Differentialgleichung $\ddot{I}(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot I(t) - \frac{R}{L} \cdot \dot{I}(t)$ erfüllt.

Eine mögliche Lösung dieser Differentialgleichung ist die Strom-Zeit-Funktion

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-kt} \cdot \sin(\omega \cdot t) \text{ mit } \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}.$$

a) *Leiten Sie die oben angegebene Differentialgleichung her, indem Sie die an den Bauteilen des Schwingkreises auftretenden Spannungen sowie die Summe dieser Spannungen betrachten.*

b) *Leiten Sie **für den Sonderfall**, dass die Schwingung **nicht** gedämpft ist (d. h.: $R = 0 \Omega$*

und $k = 0 \text{ s}^{-1}$) die in Teilaufgabe 2 a) angegebene Beziehung $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$ mit Hilfe der

Differentialgleichung und dem angegebenen Lösungsansatz für die Strom-Zeit-Funktion $I(t)$ her.

(12 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Um eine elektromagnetische Schwingung mit konstanter Amplitude zu erhalten, wird die Konstantspannungsquelle durch eine Wechselspannungsquelle mit einstellbarer Frequenz f ersetzt (siehe Abbildung 3).

Die beiden Diagramme in Abbildung 4 geben die zeitlichen Verläufe der Spannung $U_{\text{Erreger}}(t)$ sowie der Stromstärke-Zeit-Funktion $I_{\text{erzwungen}}(t)$ bei einer bestimmten Erregerfrequenz f_{res} in phasenrichtiger Darstellung wieder.

(Mit U_{Erreger} wird die Spannung an der Wechselspannungsquelle und mit $I_{\text{erzwungen}}$ wird die Stromstärke im Schwingkreis bezeichnet.)

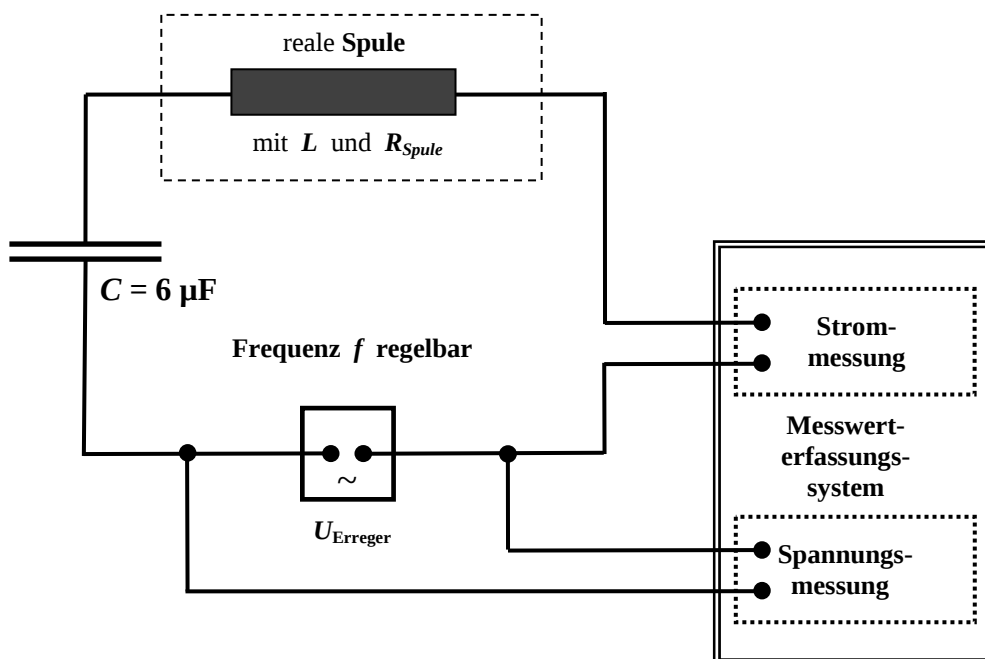


Abbildung 3: Schaltskizze eines Serien-Resonanz-Schwingkreises



Name: _____

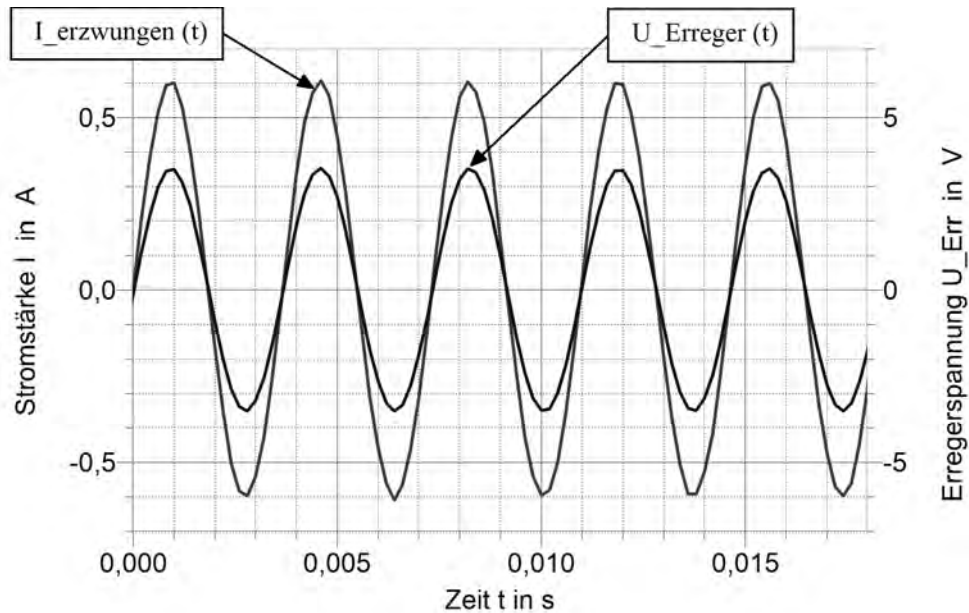


Abbildung 4: Registrierte Messdiagramme

- a) Erläutern Sie die Begriffe „erzwungene Schwingung“ und „Resonanz“.
- b) Geben Sie (mindestens) ein Kriterium an, aus dem geschlossen werden kann, dass das Diagramm in Abbildung 4 im Resonanzfall aufgezeichnet wurde.

Hinweis: Spule und Kondensator sind bei den in den Abbildungen 1 und 3 gezeigten Versuchsaufbauten identisch.

- c) Beschreiben Sie, wie sich das in Abbildung 4 dargestellte Diagramm für $I_{\text{erzwungen}}(t)$ verändert, wenn eine kleinere bzw. größere Erregerfrequenz f eingestellt wird. Die Amplitude der Erreger-Wechselspannung soll dabei konstant gehalten werden.

(10 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 5

Die Stromstärke-Zeit-Funktion dieser sogenannten erzwungenen Schwingung kann durch

$I_{\text{erzwungen}}(t) = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ mit $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ beschrieben werden (Abbildung 4).

Für den aufgrund der Induktivität L der Spule auftretenden Spannungsabfall gilt dann in Abhängigkeit von der Zeit die Beziehung $U_L(t) = \omega \cdot L \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t)$.

Der am Kondensator mit der Kapazität C auftretende Spannungsabfall lautet dann in

Abhängigkeit von der Zeit $U_C(t) = -\frac{1}{\omega \cdot C} \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t)$.

a) Leiten Sie **eine** der beiden angegebenen Beziehungen, also $U_L(t) = \omega \cdot L \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t)$

oder $U_C(t) = -\frac{1}{\omega \cdot C} \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t)$ her.

b) Entsprechende Rechnungen zeigen, dass die Amplituden von $U_L(t)$ und von $U_C(t)$ **im hier vorliegenden Resonanzfall** den gleichen Wert haben.

Bestimmen Sie die Amplitude \hat{U}_L der aufgrund der Induktivität L der Spule auftretenden Spannung $U_L(t)$ **oder** die Amplitude \hat{U}_C der Spannung $U_C(t)$.

Hinweis: Es reicht, eine der beiden Amplituden zu ermitteln, da sie ja gleich groß sind (Resonanzfall).

c) Interpretieren Sie das Ergebnis für \hat{U}_L ($= \hat{U}_C$) im Hinblick auf den hier vorliegenden Resonanzfall.

(12 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 6

Wie in Abbildung 5 dargestellt, wird in einem weiteren Versuch zusätzlich ein zweiter Schwingkreis so aufgebaut, dass die beiden Spulenlängsachsen genau zusammenfallen. Spule und Kondensator des neuen Kreises stimmen in allen relevanten Daten mit denen des ersten Kreises überein. Der neue Kreis wird also im Resonanzfall betrieben. Wie der Versuch zeigt **und wie in Abbildung 6 dargestellt**, sinkt die Stromstärke im neuen Kreis (Empfänger-Kreis) deutlich ab, sobald eine weitere (also dritte) kurzgeschlossene Spule zwischen die beiden Spulen gehalten wird. Ist die dritte Spule nicht kurzgeschlossen, zeigt sich keine Veränderung der Stromstärkenamplitude des Empfängerkreises.

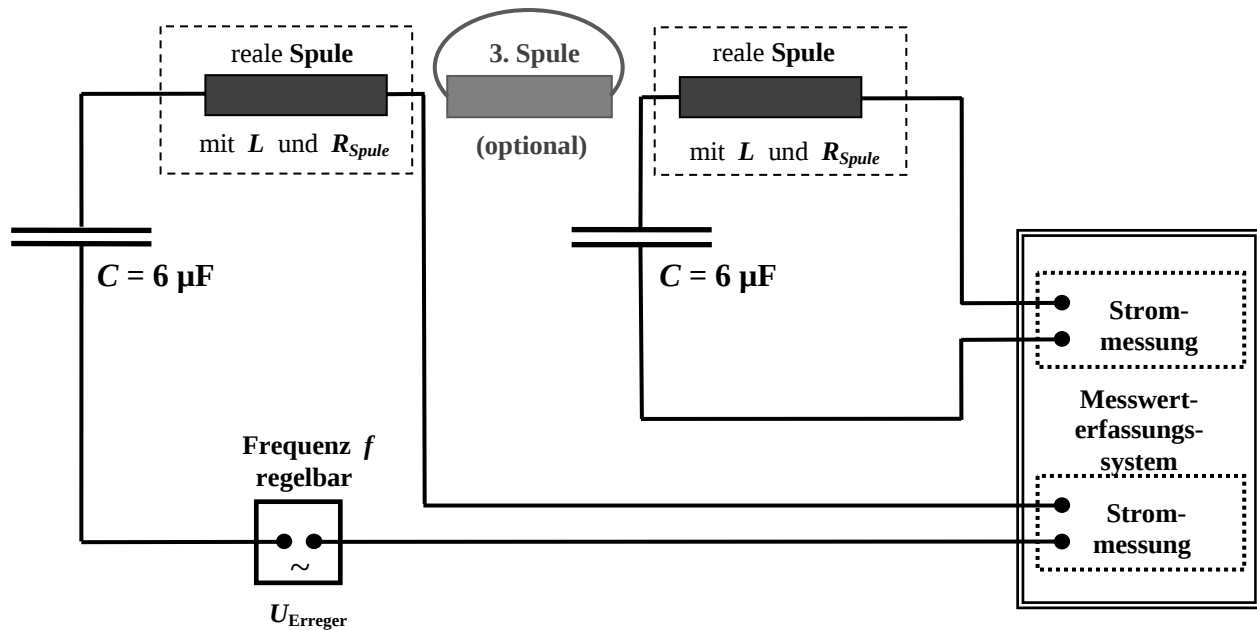


Abbildung 5: Zwei im Resonanzfall betriebene Schwingkreise



Name: _____

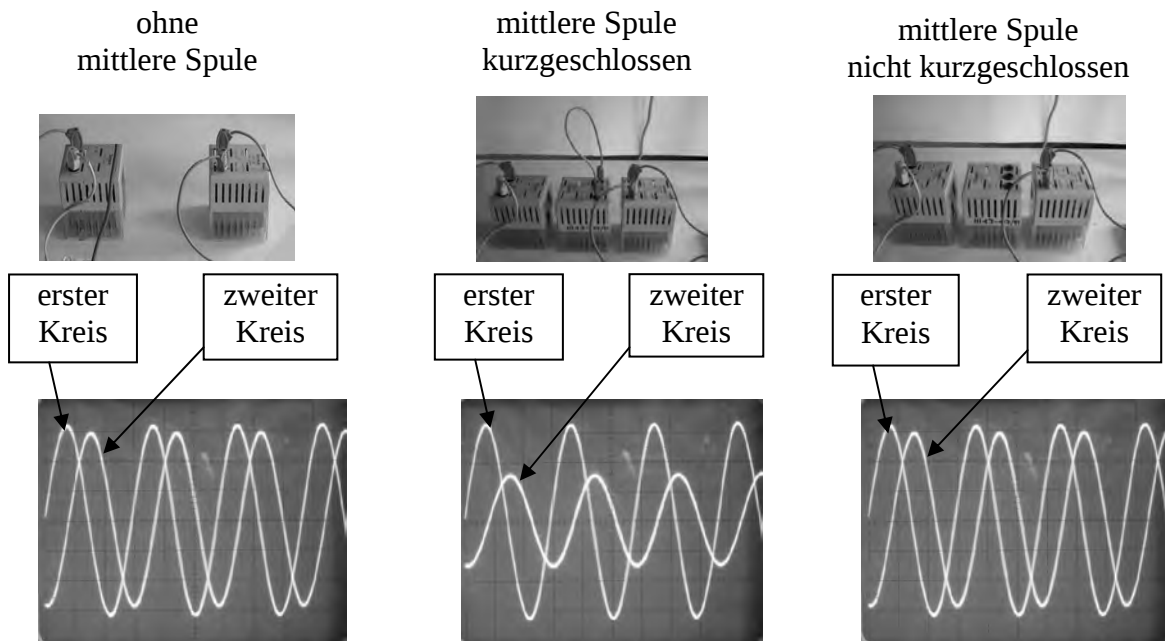


Abbildung 6: Spulenkombinationen und resultierende Signale

Erklären Sie, wieso das Einbringen der kurzgeschlossenen Spule zu einem Absinken der Stromstärke im Empfängerkreis führt, während dieser Effekt bei einer nicht kurzgeschlossenen Spule nicht zu beobachten ist.

(8 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments
- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Elektromagnetische Schwingungen und Resonanz (65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit HT 2 oder HT 4

3. Materialgrundlage

Versuchsmaterial und -aufbau

Hinweise zum Experiment

Benötigt werden:

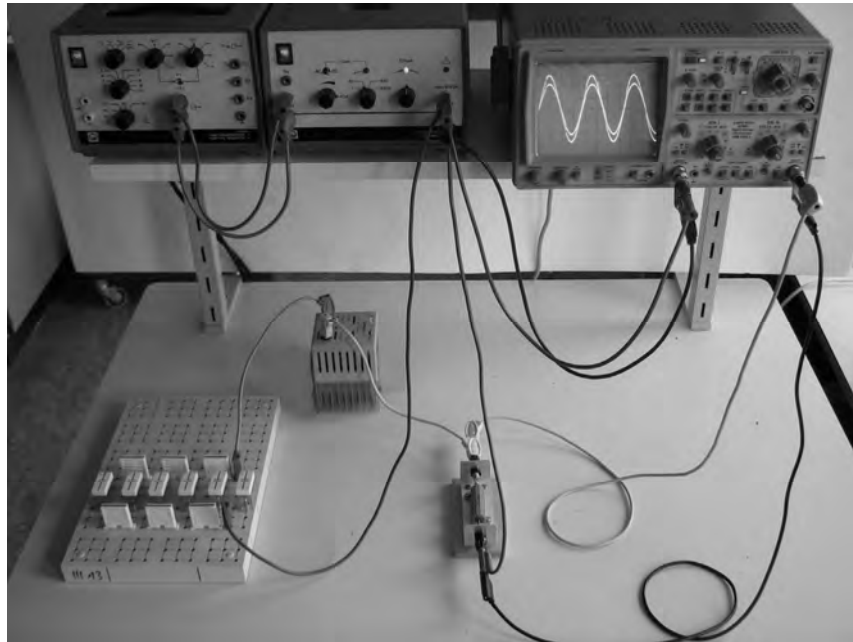
- 1 Frequenzgenerator mit sinusförmiger Ausgangsspannung
- 1 Leistungsverstärker (nur falls der Frequenz-/Sinusgenerator keinen hinreichenden Ausgangsstrom liefert)
- 1 Oszilloskop
- 3 Spulen zu (möglichst) je 500 Windungen
- 2 Kondensatoren ca. 6 μF (**keine** Elkos)
ersatzweise z. B. 12-mal 1 μF auf 2 Raster-Steckplatten
- 2 Messwiderstände ca. 10 Ohm
- diverse Laborkabel und Steckverbinder

Versuchsaufbau:

Der Aufbau erfolgt zunächst gemäß der Schaltskizze in Abbildung 3 der Aufgabenstellung (siehe Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling) bzw. gemäß dem folgenden Foto, da vermutlich ein Oszilloskop benutzt wird.

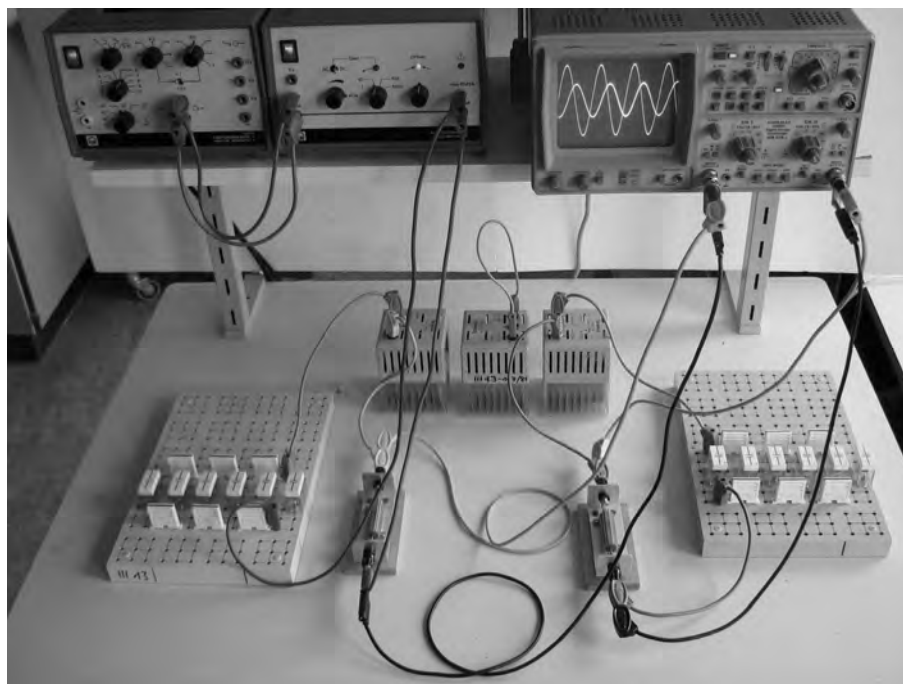
Das Oszilloskop wird so angeschlossen, dass der gemeinsame Masseanschluss beider Kanäle am Masseanschluss des Leistungsverstärkers bzw. des Sinusgenerators liegt.

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.



Mit diesem Aufbau wird die Abstimmung auf Resonanz (gemäß Teilaufgabe 4) demonstriert.

Anschließend wird der Aufbau (mit Hilfe eines vorbereiteten zweiten Schwingkreises) gemäß der Schaltskizze in Abbildung 5 der Aufgabenstellung erweitert/verändert. Der Aufbau bei der (empfohlenen) Verwendung des Oszilloskops ist dem folgenden Foto zu entnehmen. Der Masseanschluss (beider Kanäle) ist hier unkritisch.



Mit diesem (erweiterten) Aufbau wird das Verhalten des Systems gemäß Teilaufgabe 6 (Abbildung 6) demonstriert.

Anleitungstext zur Versuchsdurchführung

Vorbereitung (vor der Prüfung, wird den Schülern nicht vorgeführt)

- Am Frequenzgenerator bzw. Leistungsverstärker wird eine sinusförmige Wechselspannung von ca. 3 – 4 Volt und etwa 275 Hertz eingestellt (bei Verwendung der Spule des Demo-Aufbau-Trafos mit 500 Windungen ohne Kern und $C = 6 \mu\text{F}$).
- Das Oszilloskop wird vorbereitet (Nullpunkt/Nulllinie einstellen; grobe Einstellung der Zeitablenkung und der Verstärkungsfaktoren für die Aufnahme eines Diagramms/Oszillogramms, welches der Abbildung 4 entspricht).
- Die Einstellungen werden so optimiert, dass das Oszillogramm tatsächlich die Erregerspannung und die am Messwiderstand abfallende Spannung in phasenrichtiger Darstellung im Resonanzfall wiedergibt und im Wesentlichen auch dem Diagramm der Abbildung 4 entspricht. Als Quelle für das Triggersignal sollte der Kanal mit dem Erregersignal gewählt werden.
- Der zweite Schwingkreis (gemäß dem rechten Teil der Abbildung 5) sowie die erforderliche 3. Spule werden bereitgestellt.
- Alle Einstellungen sollten (im Hinblick auf die eigentliche Versuchsvorführung) gesichert werden.
- Die Schaltskizzen gemäß den Abbildungen 3 und 5 (siehe Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling) sollten den Prüflingen während der Vorführung zur Verfügung stehen.

Versuchsdurchführung

Erster Versuch:

Einstellungen gemäß Vorbereitung, die erste Schaltung wird also im Resonanzfall betrieben bzw. vorgestellt.

Durchführung und „*sinngemäße Kommentare der Lehrkraft*“:

- „*Bitte betrachten Sie zunächst die erste Schaltskizze.*“ (Also die Skizze gemäß Abbildung 3)
- „*Alle quantitativen Messergebnisse zu den folgenden Versuchen sind in Ihren Arbeitsunterlagen enthalten, aus Zeitgründen führe ich Ihnen die Versuche daher nur qualitativ vor.*“
- „*Der Aufbau entspricht im Prinzip der Schaltskizze, allerdings arbeiten wir hier mit einem Oszilloskop, wir messen also nicht den im Schwingkreis fließenden Strom, sondern die an einem Messwiderstand abfallende Spannung, welche aber natürlich proportional zum Strom ist.*“

Die Lehrkraft zeigt und benennt die einzelnen Bauteile/Geräte im Versuchsaufbau.

- „*Das Oszillogramm zeigt die Signale in phasenrichtiger Darstellung im sogenannten Resonanzfall.*“

Die Lehrkraft zeigt, welches Signal der Erregerspannung und welches Signal dem im Schwingkreis fließenden Strom entspricht (entsprechende Kanäle mehrfach ein- und ausblenden).

- „Wenn die Frequenz der Erregerspannung geändert wird, verändert sich auch das Signal, das dem im Schwingkreis fließenden Strom entspricht. – Und zwar auch dann, wenn die Größe der Erregerspannung konstant bleibt bzw. konstant gehalten wird.“

Die Lehrkraft demonstriert, dass bzw. wie sich das Signal, welches dem Strom entspricht, bei Verkleinerung und bei Vergrößerung der Erregerfrequenz verändert.

(Vermutlich muss die Spannung des Erregersignals durch manuelles Nachregeln konstant gehalten werden.)

Zweiter Versuch:

Aufbau (beide Schwingkreise) und Einstellungen gemäß Vorbereitung, die mittlere Spule befindet sich aber **noch nicht** im Versuchsaufbau. Das Oszillogramm sollte (qualitativ) der linken Teilabbildung der Abbildung 6 (siehe Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling) entsprechen.

Durchführung und „*sinngemäße Kommentare der Lehrkraft*“:

- „Bitte betrachten Sie nun die zweite Schaltskizze.“ (Also die Skizze gemäß Abbildung 5)
- „In diesem zweiten Versuch benutzen wir ebenfalls den gerade verwendeten Resonanzschwingkreis (linker Teil der Skizze), und zwar wieder im Resonanzfall. Zusätzlich wird ein zweiter, nahezu baugleicher Schwingkreis verwendet (rechter Teil der Skizze). Die relevanten Daten (R, L und C) sind für beide Schwingkreise praktisch gleich.“

Die Lehrkraft zeigt und benennt die einzelnen Bauteile/Geräte im Versuchsaufbau.

- „Der Aufbau entspricht im Prinzip wieder der Schaltskizze, die oszilloskopierten Signale entsprechen den in den Schwingkreisen fließenden Strömen.“

Die Lehrkraft zeigt, welches Signal vom linken und welches Signal vom rechten Schwingkreis stammt (entsprechende Kanäle mehrfach ein- und ausblenden).

- „Wird nun eine dritte, und zwar kurzgeschlossene(!) Spule zwischen die beiden Schwingkreisspulen gehalten, so ändert sich das Signal des rechten/zweiten/neuen Schwingkreises deutlich.“

Die Lehrkraft demonstriert, dass bzw. wie sich das Signal, welches dem Strom im rechten Schwingkreis entspricht, verändert, wenn die kurzgeschlossene (dritte / mittlere) Spule zwischen die beiden Schwingkreisspulen gehalten wird.

- „Ist die mittlere Spule nicht kurzgeschlossen, so ändert sich das Signal nicht.“

Wird von der Lehrkraft demonstriert. Die Oszillogramme sollten im Wesentlichen den in Abbildung 6 dargestellten Diagrammen entsprechen.

Dieser Versuch wird genau zweimal wiederholt (also insgesamt dreimal vorgeführt). Erläuterungen zu den physikalischen Prozessen werden nicht gegeben.

Bezüglich der Versuchsdurchführung sind die Vorgaben der RISU zu beachten.

Die Arbeitszeit beginnt erst nach Durchführung und Erläuterung des Versuchs.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Energie des magnetischen Feldes
- Elektromagnetismus
 - Elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz, Veränderung von A und B
 - Selbstinduktion, Induktivität
- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen einschließlich Resonanz
 - Elektromagnetischer Schwingkreis

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modelllösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modelllösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

Modelllösungen Aufgabe: Elektromagnetische Schwingungen und Resonanz

Teilaufgabe 1

a) Unter Berücksichtigung von (z. B.) fünf vollen Perioden entnimmt man dem Diagramm in Abbildung 2: $T = 0,018 \text{ s} : 5 = 0,0036 \text{ s}$.

b) Bei einer Funktion der Form $I(t) = I_0 \cdot e^{-kt} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ kann k z. B. durch Quotientenbildung ermittelt werden. Dies kann z. B. folgendermaßen geschehen:

Die erste Amplitude ist $I\left(\frac{T}{4}\right)$, diese kann z. B. durch die zweite Amplitude, also

$I\left(\frac{T}{4} + T\right)$ dividiert werden. Der Quotient dieser beiden Amplituden lautet:

$$\frac{I\left(\frac{T}{4}\right)}{I\left(\frac{T}{4} + T\right)} = \frac{I_0 \cdot e^{-k \cdot \frac{T}{4}} \cdot \sin\left(\omega \cdot \frac{T}{4}\right)}{I_0 \cdot e^{-k \cdot \left(\frac{T}{4} + T\right)} \cdot \sin\left(\omega \cdot \left(\frac{T}{4} + T\right)\right)} = \frac{I_0 \cdot e^{-k \cdot \frac{T}{4}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)}{I_0 \cdot e^{-k \cdot \frac{5}{4}T} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot \pi\right)}$$

$$\frac{I\left(\frac{T}{4}\right)}{I\left(\frac{T}{4} + T\right)} = \frac{e^{-k \cdot \frac{T}{4}} \cdot 1}{e^{-k \cdot \frac{5}{4}T} \cdot 1} = e^{-k \cdot \frac{T}{4} - \left(-k \cdot \frac{5}{4}T\right)} = e^{-k \cdot \frac{T}{4} + k \cdot \frac{5}{4}T} = e^{k \cdot T}$$

Daraus folgt: $\ln\left(\frac{I\left(\frac{T}{4}\right)}{I\left(\frac{T}{4} + T\right)}\right) = k \cdot T$.

Und somit gilt: $k = \frac{1}{T} \cdot \ln\left(\frac{I\left(\frac{T}{4}\right)}{I\left(\frac{T}{4} + T\right)}\right)$.

Aus dem Diagramm in Abbildung 2 entnimmt man für die (z. B.) erste und die zweite

Amplitude: $I\left(\frac{T}{4}\right) = 0,100 \text{ A}$ und $I\left(\frac{T}{4} + T\right) = 0,084 \text{ A}$ und mit $T = 0,0036 \text{ s}$ folgt:

$$k = \frac{1}{0,0036 \text{ s}} \cdot \ln\left(\frac{0,1}{0,084}\right) \approx 48,4 \text{ s}^{-1}$$

Anmerkungen für die korrigierende Lehrkraft:

- 1) Wegen der begrenzten Ablesegenauigkeit sollten alle Ergebnisse zwischen 45 s^{-1} und 52 s^{-1} akzeptiert werden.
- 2) Statt die erste und die zweite Amplitude zu verwenden, kann auch (z. B.) mit nicht unmittelbar aufeinander folgenden Amplituden gearbeitet werden. Der hier hergeleitete Term für k ist dann durch die entsprechende Anzahl von Perioden zu dividieren.
- 3) Die Aufgabe kann auch unter Verwendung grafischer Hilfsmittel gelöst werden: Werden die Amplitudenhöhen gegen die Zeit aufgetragen (bzw. wird eine Einhüllende skizziert), so kann die „Halbwertszeit“ $T_{1/2}$ der entsprechenden skizzierten Ausgleichskurve abgelesen werden. Mit Hilfe der dann herzuleitenden Beziehung $k \cdot T_{1/2} = \ln 2$ kann der gesuchte Dämpfungsfaktor k ebenfalls ermittelt werden.

Werden die „logarithmierten Amplitudenhöhen“ gegen die Zeit aufgetragen, so ergibt sich der Dämpfungsfaktor k unmittelbar aus dem Betrag der Steigung der entsprechenden Ausgleichsgeraden. Bei dieser Lösung ist die Beziehung $\ln(\text{Amplitudehöhe}) = -k \cdot t + \ln(I_0)$ herzuleiten. Hierbei sollte auch akzeptiert werden, wenn nicht explizit erwähnt wird, dass das Argument des „ln“ dimensionslos sein muss.

Teilaufgabe 2

- a) Für die Kreisfrequenz ω der gedämpften Schwingung gilt gemäß $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ und mit

$$T = 0,0036 \text{ s (Teilaufgabe 1 a)) } \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi}{0,0036 \text{ s}} \approx 1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

Aus $\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - k^2}$ folgt mit $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$ sofort $\omega^2 = \omega_0^2 - k^2$ und damit

$$\omega^2 + k^2 = \omega_0^2, \text{ also } \omega_0 = \sqrt{\omega^2 + k^2}.$$

Mit den ermittelten Werten für ω und k ergibt sich also

$$\omega_0 = \sqrt{(1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1})^2 + (48,4 \text{ s}^{-1})^2} = \sqrt{2892342,56 \text{ s}^{-2}} \approx 1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

Eine Abweichung ist also (trotz der deutlichen Dämpfung des Systems) praktisch nicht nachweisbar. Auch bei gedämpften Schwingungen kann in guter Näherung mit der einfachen Beziehung $\omega \approx \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$ gerechnet werden.

b) Aus $\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - k^2}$ folgt $\omega^2 = \frac{1}{L \cdot C} - k^2$ und daraus $\omega^2 + k^2 = \frac{1}{L \cdot C}$ und schließlich

$$L = \frac{1}{(\omega^2 + k^2) \cdot C}.$$

Einsetzen der bereits bekannten Werte für ω , k und C liefert dann:

$$L = \frac{1}{((1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1})^2 + (48,4 \text{ s}^{-1})^2) \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 0,0576 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} \approx 58 \text{ mH}.$$

Anmerkungen für die korrigierende Lehrkraft:

1. Rechnet der Prüfling mit $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{0,0036 \text{ s}}$ statt mit $\omega \approx 1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$, so erhält er

$$L = 0,0547 \text{ H} \approx 55 \text{ mH}.$$

Dieses Ergebnis ist ebenfalls zu akzeptieren.

2. Die Ermittlung von L mit Hilfe der näherungsweise gültigen Beziehung

$$\omega \approx \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

sollte (insbesondere wegen der Überlegungen in Teilaufgabe 2 a))

ebenfalls akzeptiert werden.

In diesem Falle gilt (z. B.) $\frac{2 \cdot \pi}{T} \approx \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$ und somit $\frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \approx \frac{1}{L \cdot C}$.

Umstellen ergibt $L = \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C}$.

Mit $T = 0,0036 \text{ s}$ (Teilaufgabe 1 a)) folgt:

$$L = \frac{0,0036^2 \text{ s}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = \frac{0,0036^2 \text{ s}^2 \cdot \text{V}}{4 \cdot \pi^2 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ As}} = 0,0547 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} \approx 55 \text{ mH}.$$

Mit $\omega_0 \approx \omega \approx 1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ erhält man $L \approx 57,6 \text{ mH} \approx 58 \text{ mH}$.

Teilaufgabe 3

a) Nach dem 2. Kirchhoff'schen Gesetz gilt für den gedämpften Schwingkreis

$$U_R + U_L + U_C = U_{\text{ges}} = 0.$$

Mit $U_R = R \cdot I$, $U_L = L \cdot \dot{I}$ und $U_C = \frac{1}{C} \cdot Q$ folgt: $R \cdot I(t) + L \cdot \dot{I}(t) + \frac{1}{C} \cdot Q(t) = 0.$

Ableiten ergibt dann: $R \cdot \dot{I}(t) + L \cdot \ddot{I}(t) + \frac{1}{C} \cdot \dot{Q}(t) = 0$ und mit $I(t) = \dot{Q}(t)$

folgt nach Umstellen die gesuchte Beziehung $\ddot{I}(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot I(t) - \frac{R}{L} \cdot \dot{I}(t).$

Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:

Der Ansatz $U_R + U_C = U_{\text{ind.-selbst}} = -L \cdot \dot{I}$ ist ebenfalls möglich.

Weiterhin kann auch vom Energieerhaltungssatz ausgegangen und der Ansatz

$W_{\text{Wärme}}(t) + W_{\text{elektr.}}(t) + W_{\text{magn.}}(t) = W_{\text{ges}} = \text{const}$ benutzt werden (hier ist es allerdings sinnvoll, die Ableitung dieser Beziehung zu bilden).

b) Für den Sonderfall $R = 0 \Omega$ und $k = 0 \text{ s}^{-1}$ reduziert sich

die Differentialgleichung zu $\ddot{I}(t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot I(t) - 0$ und der

gegebene Lösungsansatz zu $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$, wobei ω jetzt zu ω_0 wird.

Dieser Lösungsansatz $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)$ sowie

die 2. Ableitung $\ddot{I}(t) = -I_0 \cdot \omega_0^2 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)$ werden in die

Differentialgleichung eingesetzt: $-I_0 \cdot \omega_0^2 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) = -\frac{1}{L \cdot C} \cdot I_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t).$

Hieraus folgt nach Vereinfachung die Beziehung $\omega_0^2 = \frac{1}{L \cdot C}$

und somit folgt die gesuchte Beziehung $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}.$

Teilaufgabe 4

- a) Wird ein „schwingungsfähiges“ System (hier der R - L - C -Serien-Schwingkreis) von außen (hier durch die Wechselspannungsquelle) periodisch zu „erzwungenen Schwingungen“ angeregt, so schwingt es (nach einer „kurzen Einschwingphase“) stets mit der gleichen Frequenz wie der Erreger. Im vorliegenden Beispiel hat die Stromstärke-Zeit-Funktion $I_{\text{erzwungen}}(t)$ also (stets) die gleiche Frequenz f wie die Erregerspannung $U_{\text{Erreger}}(t)$. Dabei wird die Schwingungsamplitude dieser (sogenannten) „erzwungenen Schwingung“ (also die Amplitude von $I_{\text{erzwungen}}(t)$) genau dann besonders groß, also maximal, wenn die Frequenz von $U_{\text{Erreger}}(t)$ gleich der (Eigen-)Frequenz der freien (ungedämpften) Schwingung ist. Dies bezeichnet man als Resonanz bzw. als Resonanzfall.

Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:

Die Begriffe können sowohl allgemein als auch am konkreten Beispiel erläutert werden, beide Lösungsvarianten sind nicht erforderlich.

Aus Gründen der didaktischen Reduktion wird weder in dieser Modelllösung noch in der Aufgabenstellung thematisiert, dass die Resonanzfrequenz für $I_{\text{erzwungen}}(t)$ („Dämpfungskrafterregung“) geringfügig von der Eigenfrequenz der gedämpften Schwingung abweicht und stattdessen gleich der Eigenfrequenz des ungedämpften Systems ist.

- b) Im Resonanzfall sind die Frequenz f bzw. die Schwingzeit T der erzwungenen Schwingung gleich der Frequenz bzw. der Schwingzeit der freien (ungezwungenen) Schwingung. Die Übereinstimmung der entsprechenden Werte kann unmittelbar den Diagrammen in den Abbildungen 2 und 4 entnommen werden, für die Schwingzeit liest man jeweils $T \approx 0,0036$ s ab.

Alternative:

Im Resonanzfall sind die Stromstärke-Zeit-Funktion $I_{\text{erzwungen}}(t)$ und die Erregerspannung $U_{\text{Erreger}}(t)$ an der Wechselspannungsquelle gerade in Phase, d. h., die Amplituden werden jeweils zum gleichen Zeitpunkt erreicht. Dass dies hier der Fall ist, kann dem Diagramm in Abbildung 4 unmittelbar entnommen werden.

- c) Wird die Frequenz f der Erregerwechselfspannung kontinuierlich verkleinert oder kontinuierlich vergrößert, so wird die Amplitude von $I_{\text{erzwungen}}(t)$ (in beiden Fällen) kontinuierlich kleiner. Nur im Resonanzfall ist die Amplitude von $I_{\text{erzwungen}}(t)$ maximal.

Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:

Nicht erwartet werden die Aussagen:

Ist die Erregerfrequenz größer als die Resonanzfrequenz, so eilt die Amplitude der Erreger-
spannung der Stromstärkenamplitude voraus.

Ist die Erregerfrequenz kleiner als die Resonanzfrequenz, so eilt die Amplitude der
Erregerfrequenz der Stromstärkenamplitude hinterher.

Teilaufgabe 5

- a) Für die in einer Spule mit der Induktivität L auftretende Selbstinduktionsspannung gilt

$U_{\text{ind_selbst}}(t) = -L \cdot \dot{I}(t)$, wenn mit $I(t)$ die Stärke des durch die Spule fließenden Stromes
bezeichnet wird.

Für den aufgrund der Induktivität L der Spule auftretenden Spannungsabfall gilt somit

$$U_L(t) = L \cdot \dot{I}(t).$$

Im vorliegenden Kontext ist $I(t) = I_{\text{erzwungen}}(t) = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

Somit gilt: $\dot{I}(t) = \dot{I}_{\text{erzwungen}}(t) = \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega$.

Für $U_L(t)$ folgt also $U_L(t) = \omega \cdot L \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t)$

und somit die angegebene Beziehung.

Alternative:

Gemäß $C = \frac{Q}{U_C}$ gilt: $U_C(t) = \frac{1}{C} \cdot Q(t) = \frac{1}{C} \cdot \int I(t) dt$, wenn mit $I(t)$ die Stärke des im

Schwingkreis fließenden Stromes bezeichnet wird.

Im vorliegenden Kontext ist $I(t) = I_{\text{erzwungen}}(t) = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

Somit folgt: $U_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t) dt = \frac{1}{C} \cdot \hat{I} \cdot (-\cos(\omega \cdot t)) \cdot \frac{1}{\omega}$.

Vereinfachen ergibt die angegebene Beziehung $U_C(t) = -\frac{1}{\omega \cdot C} \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t)$.

b) Die Amplitude \hat{U}_L des aufgrund der Induktivität L der Spule auftretenden Spannungsabfalls ist gemäß der angegebenen Beziehungen für $U_L(t)$:

$$\hat{U}_L = \omega \cdot L \cdot \hat{I} = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot L \cdot \hat{I}.$$

Dem Diagramm in Abbildung 4 entnimmt man $\hat{I} = 0,6 \text{ A}$.

Mit $T = 0,0036 \text{ s}$ (Teilaufgabe 1 a) bzw. Diagramm in Abbildung 4) und mit $L = 55 \text{ mH}$ (Teilaufgabe 2 b)) ergibt sich für die gesuchte Spannungsamplitude

$$\hat{U}_L = \frac{2 \cdot \pi}{0,0036 \text{ s}} \cdot 55 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot 0,6 \text{ A} = 57,6 \text{ V}.$$

Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:

Wird die Rechnung mit den bereits oben akzeptierten Werten $\omega \approx 1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ bzw. $L \approx 58 \text{ mH}$ durchgeführt, sind die entsprechenden Ergebnisse ebenfalls zu akzeptieren.

Alternative:

Die Amplitude \hat{U}_C der am Kondensator der Kapazität C auftretenden Spannung ist

$$\text{gemäß den angegebenen Beziehungen für } U_C(t): \hat{U}_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \cdot \hat{I} = \frac{T}{2 \cdot \pi \cdot C} \cdot \hat{I}.$$

Den Diagrammen entnimmt man wieder $\hat{I} = 0,6 \text{ A}$ und $T = 0,0036 \text{ s}$.

Mit $C = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ (gemäß Abbildung 3) ergibt sich für die gesuchte Spannungsamplitude

$$\hat{U}_C = \frac{0,0036 \text{ s}}{2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}} \cdot 0,6 \text{ A} = 57,3 \text{ V}.$$

Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:

Wird die Rechnung mit dem bereits oben akzeptierten Wert $\omega \approx 1,7 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ durchgeführt, ist das entsprechende Ergebnis ebenfalls zu akzeptieren.

c) Die beiden Spannungsamplituden \hat{U}_L und \hat{U}_C sind mit jeweils fast 60 Volt deutlich größer als die Amplitude der Gesamtspannung (der Erregerspannung), die gemäß Messdiagramm (Abbildung 4) lediglich ca. 3,5 Volt beträgt. Da in einem geschlossenen Stromkreis die Summe der Einzelspannungen gleich der an der Quelle anliegenden Gesamtspannung ist, ist dies zunächst verwunderlich. Allerdings erreichen die einzelnen Spannungen $U_L(t)$ und $U_C(t)$ ihre Amplituden zu unterschiedlichen Zeiten. Die beiden Funktionsterme

$$U_L(t) = \omega \cdot L \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t) \sim + \cos(\omega \cdot t) \quad \text{und}$$

$$U_C(t) = -\frac{1}{\omega \cdot C} \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega \cdot t) \sim - \cos(\omega \cdot t)$$

zeigen, dass $U_L(t)$ und $U_C(t)$ genau um 180° bzw. $T/2$ phasenverschoben sind. Damit ist die Summe aus $U_L(t)$ und $U_C(t)$ zu jedem Zeitpunkt gleich Null (die Amplituden sind ja gleich groß). Dieses im Resonanzfall auftretende Phänomen wird auch als Resonanzüberhöhung bezeichnet.

Teilaufgabe 6

Der zweite Schwingkreis (Empfängerkreis) wird zu erzwungenen Schwingungen angeregt. Dies geschieht, weil das zeitlich veränderliche Magnetfeld der Spule des ersten Kreises (Senderkreis) in die Spule des zweiten Kreises eindringt und wegen seiner zeitlichen Änderung in dieser zweiten Spule eine periodisch sich ändernde Induktionsspannung erzeugt. Damit kommt es nach einer kurzen Einschwingphase im zweiten Schwingkreis (Empfängerkreis) zu einer erzwungenen Schwingung, die die gleiche Frequenz wie die Schwingung im Senderkreis hat. Wird eine dritte Spule zwischen die beiden Schwingkreis-Spulen gestellt, so wird auch in dieser eine (Induktions-)Spannung induziert. Diese Induktionsspannung ist nach der Lenz'schen Regel so gepolt, dass der entsprechende Strom seiner Ursache entgegenwirkt. Das heißt, dass das in der dritten **kurzgeschlossenen** Spule entstehende Magnetfeld immer so gerichtet ist, dass die Feldstärkenänderung (der ersten Spule) behindert wird. Da sich die Felder der ersten und der mittleren Spule überlagern, fällt die Änderung des Magnetfeldes, welches die zweite Spule (Empfängerkreis) durchsetzt, auch kleiner aus und die in der zweiten Spule induzierte Spannung wird kleiner sein. Dies hat zur Folge, dass dann auch die Amplitude der Stromstärke im zweiten Kreis kleiner sein wird. Ist die mittlere Spule nicht kurz geschlossen, hat die in ihr induzierte Spannung keinen Stromfluss und somit kein Magnetfeld in dieser mittleren Spule zur Folge; das ursprüngliche Feld der ersten Spule kann die zweite Spule also ungehindert durchsetzen.

6.2 Teilleistungen – Kriterien

Aufgabe: Elektromagnetische Schwingungen und Resonanz

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	ermittelt aus dem Diagramm in Abbildung 2 die Schwingungsdauer T .	2
b1)	bestimmt den Dämpfungsfaktor k anhand des Diagramms.	4
b2)	begründet die Richtigkeit des verwendeten Verfahrens.	6

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	ermittelt mit Hilfe der bisherigen Messwerte und Ergebnisse den Unterschied zwischen ω und ω_0 und beurteilt das Ergebnis.	7
b)	ermittelt mit Hilfe der bisherigen Messwerte und Ergebnisse die Induktivität L der Spule.	4

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	leitet die Differentialgleichung her, indem er die an den Bauteilen auftretenden Spannungen sowie die Summe dieser Spannungen betrachtet.	6
b)	leitet für den Sonderfall, dass die Schwingung nicht gedämpft ist, die Beziehung $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$ mit Hilfe der Differentialgleichung und dem angegebenen Lösungsansatz für $I(t)$ her.	6

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erläutert die Begriffe „erzwungene Schwingung“ und „Resonanz“.	5
b)	gibt ein Kriterium an, aus dem geschlossen werden kann, dass das Diagramm in Abbildung 4 im Resonanzfall aufgezeichnet wurde.	2
c)	beschreibt, wie sich das in Abbildung 4 dargestellte Diagramm für $I_{\text{erzwungen}}(t)$ verändert, wenn eine kleinere bzw. größere Erregerfrequenz f eingestellt wird.	3

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	leitet eine der beiden für $U_L(t)$ bzw. für $U_C(t)$ angegebenen Beziehungen her.	4
b)	bestimmt die Amplitude \hat{U}_L der an der Induktivität L auftretenden Spannung oder bestimmt die Amplitude \hat{U}_C der am Kondensator auftretenden Spannung.	4
c)	interpretiert das Ergebnis für $\hat{U}_L (= \hat{U}_C)$ im Hinblick auf den hier vorliegenden Resonanzfall.	4

Teilaufgabe 6

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erklärt, wieso das Einbringen der kurzgeschlossenen Spule zu einem Absinken der Stromstärke im Empfängerkreis führt, während dieser Effekt bei einer nicht kurzgeschlossenen Spule nicht zu beobachten ist.	8

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Elektromagnetische Schwingungen und Resonanz

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	ermittelt aus dem ...	2			
b1)	bestimmt den Dämpfungsfaktor ...	4			
b2)	begründet die Richtigkeit ...	6			
	Summe Teilaufgabe 1	12			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	ermittelt mit Hilfe ...	7			
b)	ermittelt mit Hilfe ...	4			
	Summe Teilaufgabe 2	11			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	leitet die Differentialgleichung ...	6			
b)	leitet für den ...	6			
	Summe Teilaufgabe 3	12			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	erläutert die Begriffe ...	5			
b)	gibt ein Kriterium ...	2			
c)	beschreibt, wie sich ...	3			
	Summe Teilaufgabe 4	10			

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	leitet eine der ...	4			
b)	bestimmt die Amplitude ...	4			
c)	interpretiert das Ergebnis ...	4			
	Summe Teilaufgabe 5	12			

Teilaufgabe 6

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erklärt, wieso das ...	8			
	Summe Teilaufgabe 6	8			

	Summe insgesamt	65			
--	------------------------	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der zweiten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	65			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	65			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	130			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	130 – 124
sehr gut	14	123 – 117
sehr gut minus	13	116 – 111
gut plus	12	110 – 104
gut	11	103 – 98
gut minus	10	97 – 91
befriedigend plus	9	90 – 85
befriedigend	8	84 – 78
befriedigend minus	7	77 – 72
ausreichend plus	6	71 – 65
ausreichend	5	64 – 59
ausreichend minus	4	58 – 51
mangelhaft plus	3	50 – 43
mangelhaft	2	42 – 34
mangelhaft minus	1	33 – 26
ungenügend	0	25 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Das Michelson-Interferometer

Mikrowellen werden mit Hilfe eines Michelson-Interferometers untersucht. Das Michelson-Interferometer besteht aus dem Mikrowellensender und dem Mikrowellenempfänger sowie aus zwei Metallplatten und einer Glasplatte (siehe Abbildung 1).

Beim Verschieben der Metallplatte B und gleichzeitigem Festhalten der Metallplatte A treten Maxima und Minima der Empfänger-Spannung auf.

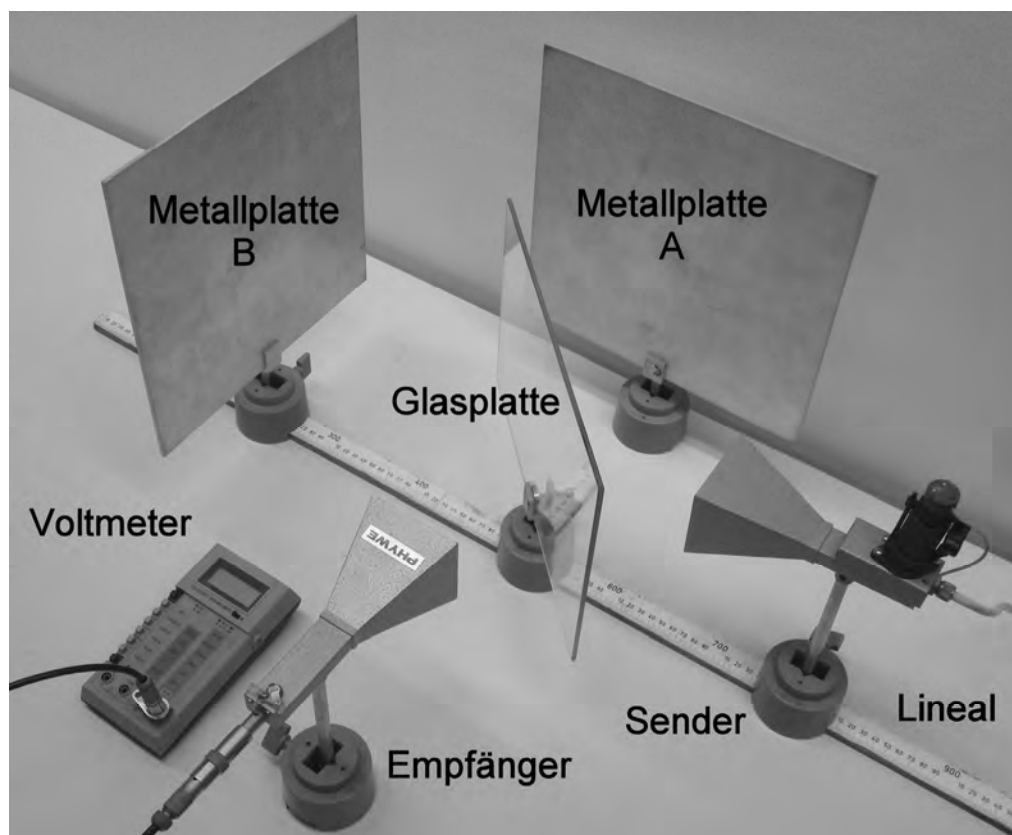


Abbildung 1: Das Michelson-Interferometer mit Mikrowellen



Name: _____

Teilaufgabe 1

- a) Beschreiben Sie unter Anfertigung einer Skizze in Draufsicht die Funktionsweise des Michelson-Interferometers in Abbildung 1.
- b) Erläutern Sie das periodische Auftreten von Maxima und Minima der Empfänger-Spannung.
- c) Begründen Sie, warum (ausgehend von einem Maximum als Startpunkt) eine Verschiebung der Metallplatte B um $\Delta l = \frac{\lambda}{4}$ ein Minimum der Empfänger-Spannung zur Folge hat und warum die Verschiebung um $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$ zu einem neuen Maximum der Empfänger-Spannung führt.

(16 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2

Im Diagramm in Abbildung 2 sind die Werte für die Strecke Δl (um die die Metallplatte B nach außen, also von der Glasplatte weg, verschoben wurde) und die jeweilige Empfänger-Spannung U dargestellt.

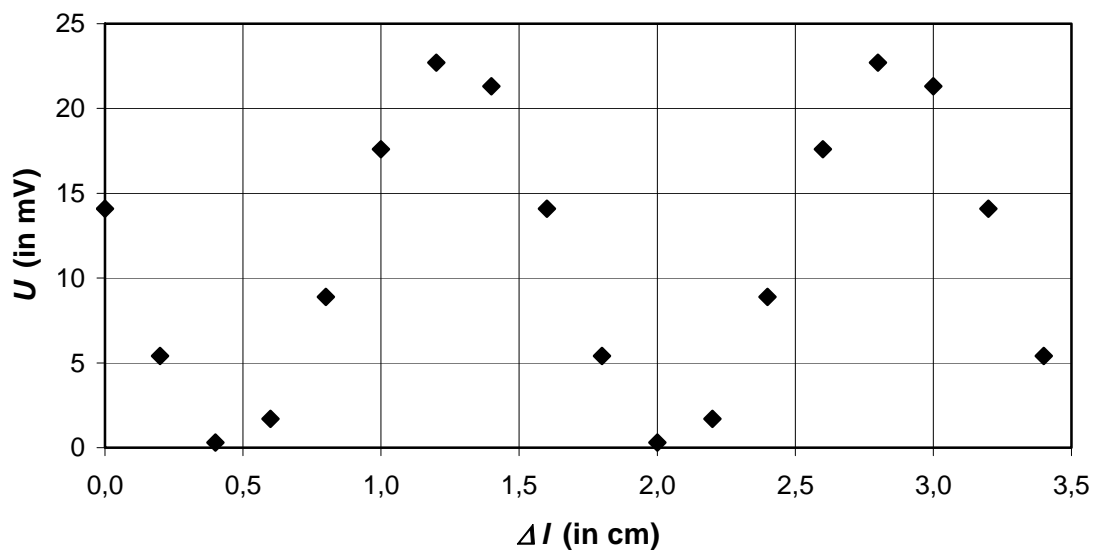


Abbildung 2

- a) Bestimmen Sie anhand des Diagramms die Wellenlänge λ und die Frequenz f der Mikrowellen.
- b) Das Interferometer liefert, unabhängig von den Eigenschaften der Glasplatte hinsichtlich der Reflexion und Transmission von Mikrowellen, Maxima und Minima, wobei die Minima die Intensität Null besitzen.

Begründen Sie unter Berücksichtigung der Laufwege der Mikrowellen, warum es bei dem Experiment nicht von Bedeutung ist, welcher Anteil der auf die Glasplatte treffenden Strahlung reflektiert bzw. durchgelassen wird.

(9 Punkte)



Name: _____

Im folgenden Gedankenexperiment wird das Verhalten von Mikrowellen in einer zusätzlich in den Strahlengang des Interferometers gebrachten Platte betrachtet (siehe Abbildung 3). Dabei ist davon auszugehen, dass die Platte die Mikrowellen weder reflektiert noch absorbiert, so dass die Mikrowellen vollständig durchgelassen werden. Die Wellenlänge habe den Wert $\lambda = 3,2 \text{ cm}$.

Zunächst wird das Interferometer, wie in Abbildung 1 dargestellt, ohne die Platte auf ein Maximum der Empfänger-Spannung eingestellt. Anschließend wird die Platte in den Strahlengang gebracht.

Man beobachtet, dass das Voltmeter jetzt einen kleineren Wert anzeigt. Für eine erneute Abstimmung auf das ursprüngliche Maximum der Empfänger-Spannung wird die Metallplatte B verschoben.

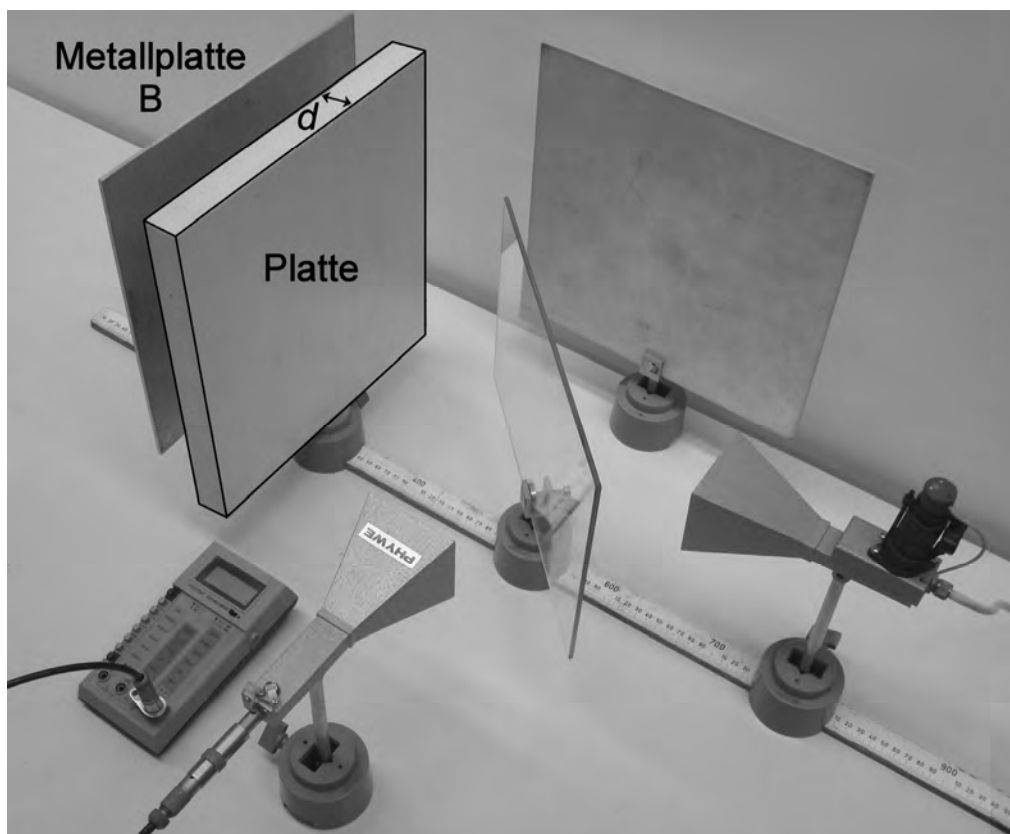


Abbildung 3: Das Michelson-Interferometer aus Abbildung 1, zusätzlich mit der Platte der Dicke d



Name: _____

Teilaufgabe 3

Die Brechzahl $n > 1$ liefert den Zusammenhang zwischen der Ausbreitungsgeschwindigkeit c im Vakuum bzw. in guter Näherung auch in Luft und der im Vergleich dazu kleineren

Ausbreitungsgeschwindigkeit $c' = \frac{c}{n}$ in der Platte.

a) Erklären Sie, warum es zu einer Verschiebung des Maximums der Empfänger-Spannung durch das Einbringen der Platte kommt.

b) Begründen Sie, dass sich die Wellenlänge in der Platte auf $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ verkleinert.

c) Erläutern Sie durch eine Betrachtung der benötigten Zeit, warum die Empfänger-Spannung den gleichen Wert annehmen würde, wenn die Mikrowellen statt der Platte der Dicke d einen Weg der Länge $n \cdot d$ in Luft durchlaufen würden.

d) Die Metallplatte B muss um die Strecke $\Delta l = d \cdot (n - 1)$ in Richtung der Glasplatte verschoben werden, um die Empfänger-Spannung erneut auf das ursprüngliche Maximum abzustimmen.

Leiten Sie diesen Zusammenhang her.

e) Es werde eine Platte der Dicke $d = 2$ cm verwendet. Die Strecke, um die die Metallplatte B zur Abstimmung auf das ursprüngliche Maximum verschoben werden muss, habe den Wert $\Delta l = 0,9$ cm.

Bestimmen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit c' der Mikrowellen in der Platte.

[Zwischenergebnis: $n = 1,45$]

f) Statt der Platte der Dicke $d = 2$ cm werde eine Platte der Dicke $d = 5$ cm aus demselben Material verwendet.

Bestimmen Sie die Strecke Δl , um die die Metallplatte B zur Abstimmung auf das nächste Maximum in Richtung der Glasplatte verschoben werden muss.

(22 Punkte)



Name: _____

Im Jahre 1887 wurde von Albert A. Michelson und Edward W. Morley in Cleveland das später nach ihnen benannte Experiment mit einem Michelson-Interferometer und Licht durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt. In (a) ist die Verbindungslinie zwischen der Lichtquelle und dem Spiegel Sp_2 parallel zur Bewegung der Erde um die Sonne ausgerichtet und die Verbindungslinie zwischen dem Detektor und dem Spiegel Sp_1 senkrecht dazu. In (b) ist die gesamte Apparatur um 90° gedreht.

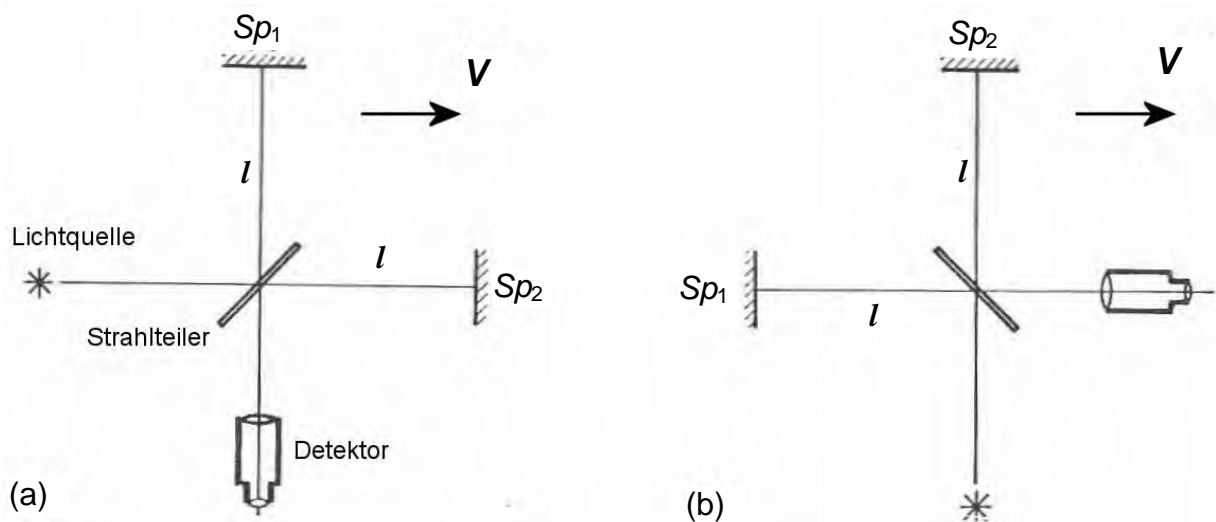


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus von Michelson und Morley: Der Pfeil für die Geschwindigkeit v gibt jeweils die Bewegungsrichtung der Erde **in Bezug zur Sonne** an.
(Quelle: Gerthsen, Vogel, Physik, 17. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1993, S. 782, verändert)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Michelson und Morley gingen ursprünglich von der Existenz eines Trägers der Lichtwellen aus, dem sog. *Äther*. Dieser Äther sei ihrer Vorstellung nach fest mit einem absoluten Raum verbunden. Die Erde würde sich relativ zum Äther mit einer Geschwindigkeit

$v \approx 30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ um die Sonne bewegen. Als Konsequenz daraus sollten die Geschwindigkeiten

des Lichts **relativ zur Erde** bei der Ausbreitung in unterschiedliche Richtungen nicht gleich sein (siehe Abbildung 5).

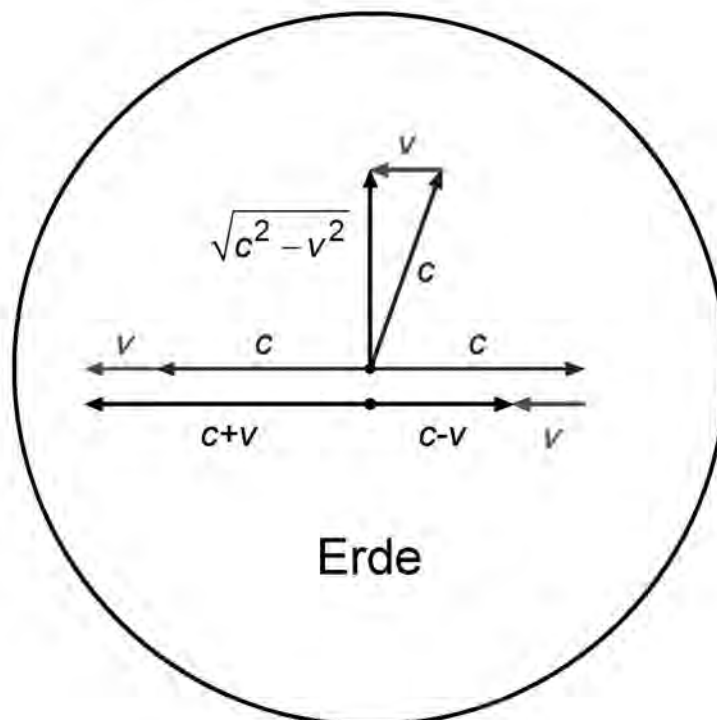


Abbildung 5: Geschwindigkeiten des Lichts relativ zur Erde nach der Vorstellung von Michelson und Morley: Die Pfeile für die Geschwindigkeit c geben unterschiedliche Ausbreitungsrichtungen des Lichts **in Bezug zum Äther** an, die Pfeile für die Geschwindigkeit v die Bewegungsrichtung des Äthers **in Bezug zur Erde**. (Mit c und v sind die Geschwindigkeitsbeträge bezeichnet, die Darstellung der Pfeillängen ist nicht maßstäblich.)



Name: _____

a) Erläutern Sie anhand von Abbildung 5 die Geschwindigkeiten $c+v$, $c-v$ und $\sqrt{c^2-v^2}$ relativ zur Erde.

b) Ermitteln Sie mit Hilfe der Geschwindigkeiten in a), welche Ergebnisse für Michelson und Morley bzgl. der Lichtlaufzeiten in den beiden Detektorarmen in Abbildung 4 (a) bei einer Armlänge von $l = 0,5 \text{ m}$ theoretisch zu erwarten gewesen wären.

Hinweis: Die Ergebnisse sind jeweils in ns (Nanosekunden) auf acht Nachkommastellen gerundet anzugeben.

c) Erläutern Sie das erwartete und das tatsächliche Ergebnis sowie die Konsequenz aus dem tatsächlichen Ergebnis, wenn man die Apparatur, wie in Abbildung 4 (b) dargestellt, um 90° dreht.

(18 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments
- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Das Michelson-Interferometer

(65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit HT 1, HT 3 oder HT 4

3. Materialgrundlage

Versuchsmaterial und -aufbau

Hinweise zum Experiment

Für den Aufbau des Demonstrationsexperiments werden die folgenden Materialien benötigt:

- Mikrowellensender und -empfänger
- zwei Metallplatten
- Glasplatte als Strahlteiler
- Voltmeter
- Lineal
- Stativmaterial

Der Aufbau erfolgt gemäß Abbildung 1 der Aufgabenstellung (siehe Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling).

Das Demonstrationsexperiment bezieht sich auf die Teilaufgaben 1 und 2. Hierfür ist den Schülerinnen und Schülern das Auftreten der Maxima und Minima der Empfänger-Spannung beim Verschieben einer der beiden Metallplatten zu zeigen. Die Teilaufgaben 3 und 4 sind **nicht** Gegenstand des Demonstrationsexperiments.

Das Demonstrationsexperiment wird zu Beginn der Klausur gezeigt. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten dann die Aufgabe mit dem mitgelieferten Datenmaterial.

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen einschließlich Resonanz
 - Interferenz (Mikrowelleninterferenz, Wellenlängenmessung)
- Relativitätstheorie
 - Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und deren Konsequenzen (Michelson-Experiment)

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modelllösungen

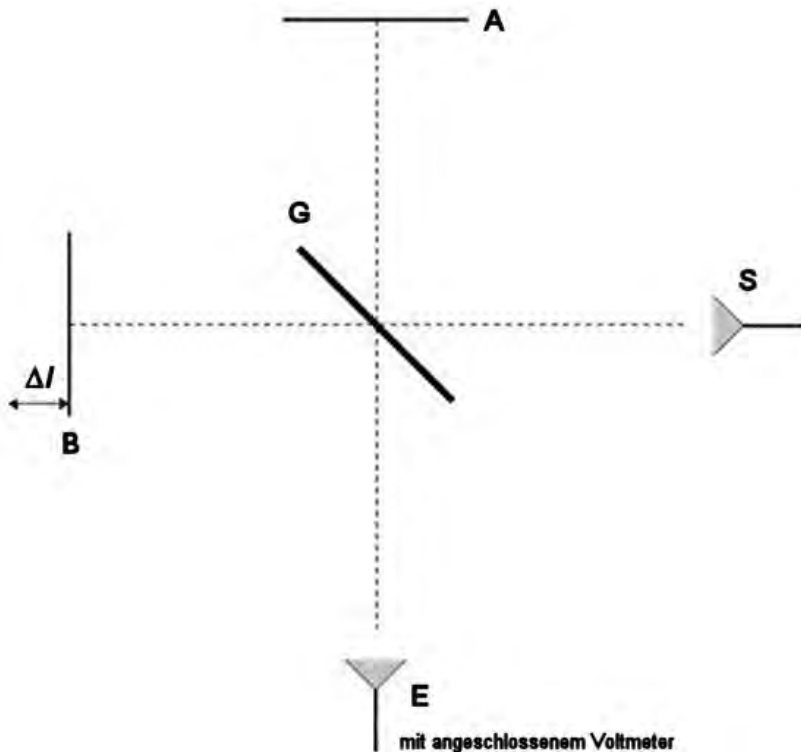
Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modelllösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

Modelllösungen Aufgabe: Das Michelson-Interferometer**Teilaufgabe 1**

a) Skizze:



Gemäß obiger Skizze gelangen die Mikrowellen entweder über den Weg GAGE oder GBGE zum Empfänger mit angeschlossenem Voltmeter, das die Spannung U anzeigt. Wird die Metallplatte B um die Strecke Δl verschoben, so treten abwechselnd Maxima und Minima der Empfänger-Spannung auf.

b) Durch Verschieben der Metallplatte B um eine Strecke Δl wird der Gangunterschied der am Empfänger eintreffenden Wellen verändert. Ist der Gangunterschied Δs ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge, so verstärken sich die Wellen gegenseitig (konstruktive Interferenz). Ist der Gangunterschied Δs ein ungerades ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge, so löschen sich die Wellen gegenseitig aus (destruktive Interferenz).

c) Eine Verschiebung um Δl verändert den Gangunterschied Δs um $2 \cdot \Delta l$, da die Mikrowellen die Strecke Δl zweimal durchlaufen.

Annahme: Das Michelson-Interferometer ist so eingestellt, dass ein Maximum der Empfänger-Spannung gemessen werden kann.

Wird die Metallplatte dann um $\Delta l = \frac{\lambda}{4}$ verschoben, ändert sich der Gangunterschied Δs

um $\frac{\lambda}{2}$, und die am Empfänger eintreffenden Wellen löschen sich gegenseitig aus

(destruktive Interferenz). Wird die Metallplatte B jedoch um $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$ verschoben, ändert

sich der Gangunterschied Δs um λ und die am Empfänger eintreffenden Wellen verstärken sich gegenseitig (konstruktive Interferenz).

Teilaufgabe 2

a) In Teilaufgabe 1 c) wird vorgegeben, dass die Maxima der Empfänger-Spannung auftreten, wenn die Metallplatte B (ausgehend von einem Maximum als Startpunkt) um die

Strecke $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$ verschoben wird. Alternativ gilt dieser Sachverhalt natürlich analog

auch für die Minima der Empfänger-Spannung.

Anhand des Diagramms kann damit die Wellenlänge der Mikrowellen bestimmt werden.

Hierfür müssen die Abstände der Spannungsmaxima bzw. -minima ausgemessen werden.

Die Wellenlänge ist dann das Doppelte dieses Abstands. Es ergibt sich folgender Wert:

$\Delta l \approx 1,6 \text{ cm}$, also $\lambda = 2 \cdot \Delta l \approx 3,2 \text{ cm}$.

Die Frequenz erhält man daraus mit Hilfe der Ausbreitungsgeschwindigkeit

$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ durch die Gleichung $f = \frac{c}{\lambda} \approx 9,4 \text{ GHz}$.

b) Beide Wellen, die entweder den Weg GAGE oder GBGE zurücklegen (siehe Skizze zu Teilaufgabe 1 a)), gehen je einmal durch G hindurch und werden je einmal an G reflektiert.

Die Amplituden der beiden ankommenden Wellen sind bei guter Justierung ziemlich

gleich und das Interferometer liefert scharfe Minima von (fast) völliger Auslöschung.

Teilaufgabe 3

a) Die Empfänger-Spannung ist abhängig vom Phasenunterschied der beiden Wellen, die im Empfänger interferieren. So treffen im Fall des Maximums der Empfänger-Spannung jeweils die Wellenberge bzw. Wellentäler gleichzeitig am Empfänger ein. Nach dem Einbringen der Platte in den Strahlengang braucht die eine Welle für die zweimal zu durchlaufende Plattendicke aufgrund der kleineren Ausbreitungsgeschwindigkeit c' eine längere Zeit, als wenn sich dort ohne die Platte nur Luft befindet. Dadurch treffen die Wellenberge bzw. Wellentäler jeweils nicht mehr gleichzeitig am Empfänger ein, so dass die Empfänger-Spannung kein Maximum mehr anzeigt.

b) Beim Übergang in die Platte ändert sich die Frequenz f der Mikrowellen nicht. Aus der

$$\text{Konstanz der Frequenz } f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c'}{\lambda'} \text{ ergibt sich dann } \lambda' = \frac{c'}{c} \cdot \lambda = \frac{\lambda}{n}.$$

c) Für den Durchlauf der Platte benötigt die Welle die Zeit $\Delta t = \frac{d}{c'} = \frac{n \cdot d}{c}$. In Luft würde die Welle somit in der gleichen Zeit einen Weg der Länge $n \cdot d$ zurücklegen. In beiden Fällen besitzen die Wellen nach dieser Zeit die gleiche Phasenlage, die bei der Überlagerung im Empfänger zur gleichen Empfänger-Spannung führt.

d) Der Durchlauf der Strecke d in der Platte ist nach Teilaufgabe 3 c) äquivalent zum Durchlauf einer Strecke $n \cdot d$ in Luft. Das Einbringen der Platte ist demnach vergleichbar mit einer Vergrößerung des Abstands zwischen der Metallplatte B und der Glasplatte (ohne die Platte dazwischen) um die Differenz $\Delta l = n \cdot d - d$. Das ursprüngliche Maximum der Empfänger-Spannung ist somit durch Verschiebung der Metallplatte B um die Strecke $\Delta l = d \cdot (n - 1)$ in Richtung der Glasplatte zu finden.

e) Durch Umformung von $\Delta l = d \cdot (n - 1)$ erhält man $n = 1 + \frac{\Delta l}{d}$. Mit den angegebenen

Werten ergibt sich für die Brechzahl der Wert $n = 1,45$ und für die Ausbreitungs-

geschwindigkeit der Mikrowellen in der Platte der Wert $c' = 2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

f) Mit Hilfe der Gleichung $\Delta l = d \cdot (n - 1)$ und den angegebenen Werten erhält man

$\Delta l = 2,25 \text{ cm}$. Die Differenz der optischen Weglängen ist größer als die Hälfte der

Wellenlänge λ . Mit dieser Verschiebung würde man schon das übernächste Maximum in Richtung Glasplatte erreichen. Das nächste Maximum liegt bei $\Delta l = 0,65 \text{ cm}$.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die Überlegungen in Teilaufgabe 3 sind theoretischer Natur. Experimentell sind die Ergebnisse insbesondere aufgrund der auftretenden Reflexionen nicht angemessen reproduzierbar.

Teilaufgabe 4

a) Nach Abbildung 5 ist die Geschwindigkeit des Lichts relativ zum Äther vom Betrage her immer gleich c . Licht, das sich in Richtung der Ätherbewegung ausbreitet, hätte relativ zur Erde die Geschwindigkeit $c + v$ und wäre somit schneller. Licht entgegen der Richtung der Ätherbewegung hätte die Geschwindigkeit $c - v$ bezogen auf die Erde und wäre somit langsamer. Licht, das sich senkrecht zur Ätherbewegung ausbreitet, hätte die Geschwindigkeit $\sqrt{c^2 - v^2}$ in Bezug zur Erde und wäre ebenfalls langsamer. Die Ausbreitungsrichtungen bzgl. Erde und Äther würden in diesem Fall zudem voneinander abweichen.

b) Michelson und Morley gingen von der Überlegung aus, dass sich Laufzeitunterschiede für die Lichtwellen in den beiden Armen des Interferometers ergeben müssten. Gemäß den Geschwindigkeiten in a) hatten sie für die Lichtlaufzeit im Arm mit dem Spiegel Sp_1 (senkrecht zur Erdbewegung)

$$t_s = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \approx 3,33333335 \text{ ns}$$

und im Arm mit dem Spiegel Sp_2 (parallel zur Erdbewegung)

$$t_p = \frac{l}{c + v} + \frac{l}{c - v} \approx 3,33333337 \text{ ns}$$

erwartet. Die Laufzeit t_s müsste also minimal kleiner sein als die Laufzeit t_p .

c) Der Detektor gemäß Abbildung 4 (a) registriert aufgrund der beiden interferierenden Wellen zunächst eine bestimmte Lichtintensität. Bei der Drehung des Interferometers um 90° gemäß Abbildung 4 (b) sollten sich die Lichtlaufzeiten in den beiden Armen ändern: Im Arm mit dem Spiegel S_{p_1} sollte sich die Laufzeit von t_s auf t_p erhöhen, im anderen Arm umgekehrt von t_p auf t_s erniedrigen. Hierdurch würde sich der Phasenunterschied der beiden Wellen während der Drehung kontinuierlich ändern. Der Detektor würde eine sich ändernde Intensität registrieren.

Tatsächlich ist eine Veränderung der gemessenen Intensität nicht nachweisbar.

Das Experiment widerlegt die Äthervorstellung und ist ein Beleg für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit unabhängig vom Bewegungszustand: Licht benötigt zum Zurücklegen einer bestimmten Strecke immer die gleiche Zeit.

6.2 Teilleistungen – Kriterien

Aufgabe: Das Michelson-Interferometer

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
a)	beschreibt unter Anfertigung einer Skizze in Draufsicht die Funktionsweise des Michelson-Interferometers.	6
b)	erläutert das periodische Auftreten von Maxima und Minima der Empfänger-Spannung.	5
c)	begründet, warum eine Verschiebung der Metallplatte B um $\Delta l = \frac{\lambda}{4}$ ein Minimum der Empfänger-Spannung zur Folge hat und warum die Verschiebung um $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$ zu einem neuen Maximum der Empfänger-Spannung führt.	5

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	bestimmt anhand des Diagramms die Wellenlänge λ der Mikrowellen.	2
a2)	bestimmt die Frequenz f der Mikrowellen.	2
b)	begründet unter Berücksichtigung der Laufwege der Mikrowellen, warum es bei dem Experiment nicht von Bedeutung ist, welcher Anteil der auf die Glasplatte treffenden Strahlung reflektiert bzw. durchgelassen wird.	5

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erklärt, warum es zu einer Verschiebung des Maximums der Empfänger-Spannung durch das Einbringen der Platte kommt.	3
b)	begründet, dass sich die Wellenlänge in der Platte auf $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ verkleinert.	4
c)	erläutert durch eine Betrachtung der benötigten Zeit, warum die Empfänger-Spannung den gleichen Wert annehmen würde, wenn die Mikrowellen statt der Platte der Dicke d einen Weg der Länge $n \cdot d$ in Luft durchlaufen würden.	3
d)	leitet den angegebenen Zusammenhang her.	4
e)	bestimmt die Ausbreitungsgeschwindigkeit c' der Mikrowellen in der Platte.	4
f)	bestimmt die Strecke Δl , um die die Metallplatte B zur Abstimmung auf das nächste Maximum in Richtung der Glasplatte verschoben werden muss.	4

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erläutert anhand von Abbildung 5 die Geschwindigkeiten $c + v$, $c - v$ und $\sqrt{c^2 - v^2}$ relativ zur Erde.	6
b)	ermittelt mit Hilfe der Geschwindigkeiten in a), welche Ergebnisse für Michelson und Morley bzgl. der Lichtlaufzeiten in den beiden Detektorarmen in Abbildung 4 (a) bei einer Armlänge von $l = 0,5$ m theoretisch zu erwarten gewesen wären.	6
c)	erläutert das erwartete und das tatsächliche Ergebnis sowie die Konsequenz aus dem tatsächlichen Ergebnis, wenn man die Apparatur, wie in Abbildung 4 (b) dargestellt, um 90° dreht.	6

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Das Michelson-Interferometer

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	beschreibt unter Anfertigung ...	6			
b)	erläutert das periodische ...	5			
c)	begründet, warum eine ...	5			
	Summe Teilaufgabe 1	16			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	bestimmt anhand des ...	2			
a2)	bestimmt die Frequenz ...	2			
b)	begründet unter Berücksichtigung ...	5			
	Summe Teilaufgabe 2	9			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	erklärt, warum es ...	3			
b)	begründet, dass sich ...	4			
c)	erläutert durch eine ...	3			
d)	leitet den angegebenen ...	4			
e)	bestimmt die Ausbreitungsgeschwindigkeit ...	4			
f)	bestimmt die Strecke ...	4			
	Summe Teilaufgabe 3	22			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	erläutert anhand von ...	6			
b)	ermittelt mit Hilfe ...	6			
c)	erläutert das erwartete ...	6			
	Summe Teilaufgabe 4	18			

	Summe insgesamt	65			
--	------------------------	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der zweiten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	65			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	65			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	130			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	130 – 124
sehr gut	14	123 – 117
sehr gut minus	13	116 – 111
gut plus	12	110 – 104
gut	11	103 – 98
gut minus	10	97 – 91
befriedigend plus	9	90 – 85
befriedigend	8	84 – 78
befriedigend minus	7	77 – 72
ausreichend plus	6	71 – 65
ausreichend	5	64 – 59
ausreichend minus	4	58 – 51
mangelhaft plus	3	50 – 43
mangelhaft	2	42 – 34
mangelhaft minus	1	33 – 26
ungenügend	0	25 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Die Helmholtzspule, die Messung des Erdmagnetfeldes sowie seine Wirkung auf geladene Teilchen

Ein in einem größeren Raumbereich homogenes Magnetfeld kann mit Hilfe einer Helmholtzspule erzeugt werden. Es handelt sich hierbei um eine Anordnung zweier identischer Spulen (Windungszahl n_{Hh} und Radius R), die parallel auf einer gemeinsamen Achse angeordnet sind. Beide Spulen sind in Reihe geschaltet und befinden sich im Abstand $a = R$ voneinander.

Bei einer solchen Spulenanordnung besteht im Raumbereich zwischen den beiden Spulen ein weitgehend homogenes achsenparalleles Magnetfeld.

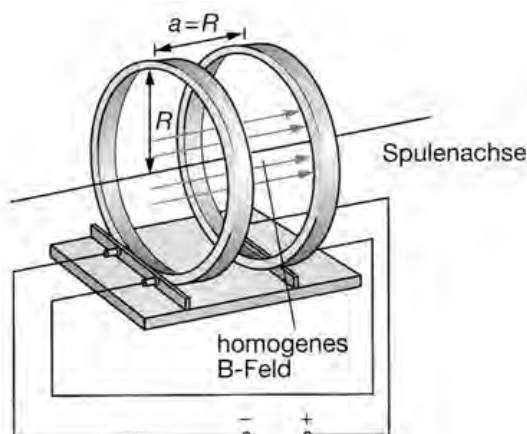


Abbildung 1: Aufbau einer Helmholtzspule (Quelle: Klett-Verlag)



Name: _____

Es zeigt sich, dass die magnetische Feldstärke in der Helmholtzspule proportional zum Produkt aus Windungszahl n_{Hh} und Stromstärke I_{Hh} sowie antiproportional zum Spulradius R ist.

$$B_{\text{Hh}} \sim \frac{n_{\text{Hh}} \cdot I_{\text{Hh}}}{R}$$

Teilaufgabe 1

Bestimmen Sie aus diesem Zusammenhang anhand einer Einheitenbetrachtung die Maßeinheit des noch fehlenden Proportionalitätsfaktors μ_{Hh} in Grundeinheiten.

(5 Punkte)

Teilaufgabe 2

Mit folgendem Aufbau soll der Proportionalitätsfaktor μ_{Hh} experimentell bestimmt werden (vgl. Abbildung 2). Entlang der Achse eines Helmholtzspulenpaares befindet sich in einer langen Spule mindestens eine Kompassnadel. Die Stromrichtungen in der langen Spule sowie in der Helmholtzspule sind so ausgerichtet, dass die von ihnen erzeugten Magnetfelder einander entgegen gerichtet sind. Neben der Helmholtzspule ist ein nicht zu starker Permanentmagnet angebracht, der im stromlosen Zustand der Spulen die Kompassnadel senkrecht zur Spulenachse ausrichtet.

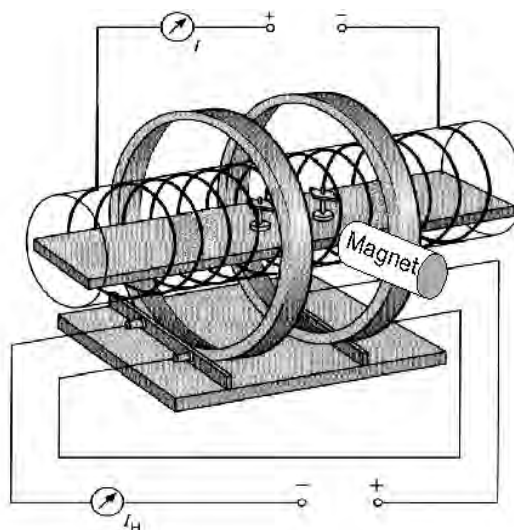


Abbildung 2: Aufbau zur Messung des Proportionalitätsfaktors (Quelle: Klett-Verlag)



Name: _____

Zunächst wird die Stromstärke in der Helmholtzspule auf $I_{\text{Hh}} = 200 \text{ mA}$ eingestellt. Die Kompassnadel ist dabei praktisch entlang der Spulenchse ausgerichtet. Die Stromstärke in der langen Spule wird daraufhin langsam von 0 mA ausgehend gesteigert, bis bei $I_{\text{LS}} = 830 \text{ mA}$ die Kompassnadel gerade wieder in Richtung des Permanentmagneten ausgerichtet ist. Die Messgenauigkeit der Stromstärken beträgt $\Delta I = \pm 10 \text{ mA}$.

- a) Erläutern Sie die zugrunde liegende Idee bei diesem Messexperiment und leiten Sie den folgenden Zusammenhang für den gesuchten Proportionalitätsfaktor μ_{Hh} her:

$$\mu_{\text{Hh}} = \frac{n_{\text{LS}} \cdot I_{\text{LS}} \cdot R}{n_{\text{Hh}} \cdot I_{\text{Hh}} \cdot l} \cdot \mu_0$$

Begründen Sie dabei insbesondere den Ansatz Ihrer Herleitung.

- b) Bei dem Messexperiment wurden eine Helmholtzspule mit 154 Windungen und 40 cm Durchmesser sowie eine 38 cm lange innere Spule mit 50 Windungen eingesetzt. Bestimmen Sie aus dem Experiment einen Wert für μ_{Hh} .

- c) Der „theoretische“ Wert für den Proportionalitätsfaktor der Helmholtzspule beträgt $\mu_{\text{Hh}} = 0,716 \cdot \mu_0$.

Bewerten Sie das Ergebnis der Messung hinsichtlich seiner Genauigkeit und begründen Sie Ihre Einschätzung mit Blick auf die Messgenauigkeit.

(15 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Unter Verwendung der obigen Helmholtzspule ist es nun möglich, die Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes zu bestimmen. Dazu wird ein empfindlicher Kompass in die Helmholtzspule gebracht und die Achse der Helmholtzspule genau senkrecht zur magnetischen Nordrichtung ausgerichtet (siehe Abbildung 3).

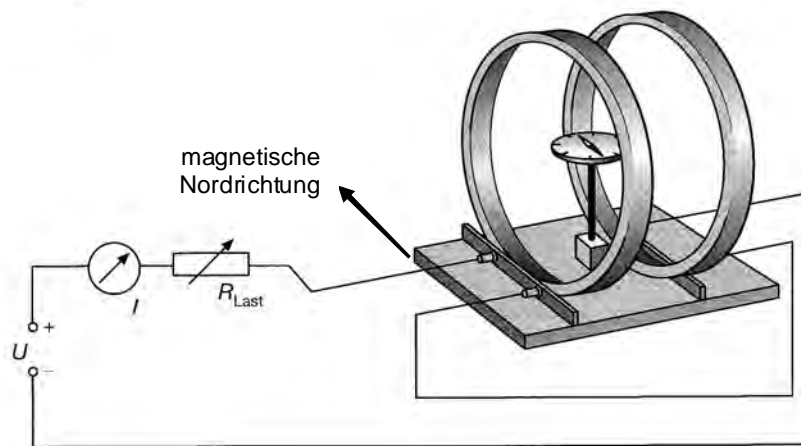


Abbildung 3: Messung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes (Quelle: Klett-Verlag)

Der Strom durch die Helmholtzspule kann stufenlos variiert und am Amperemeter abgelesen werden. Der Kompass besitzt eine Winkelskala.

a) Beschreiben Sie eine Möglichkeit, wie man mit diesem Aufbau (ohne weitere Geräte) die Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes messen kann.

b) Ein typischer Wert für die Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes in unseren Breiten ist $B_{\text{horizontal}} = 0,018 \text{ mT}$.

Geben Sie einen sinnvollen Bereich der zu erwartenden Stromstärken bei der Messung an.

c) Das Erdmagnetfeld verläuft in unseren Breiten nicht komplett in horizontaler Richtung, sondern tritt unter einem Winkel von $\alpha \approx 63^\circ$ gegen die Horizontale in die Erdoberfläche ein.

Bestimmen Sie aus dem Eintrittswinkel α und der in b) angegebenen Horizontalkomponente die Gesamtfeldstärke B_{gesamt} des Erdmagnetfeldes.

(11 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Das Erdmagnetfeld stellt einen effektiven Schutzschirm gegen den Strom geladener Teilchen von der Sonne (den sogenannten „Sonnenwind“) dar. Der Sonnenwind besteht aus einem kontinuierlichen Plasmastrom von Elektronen und Protonen aus Richtung Sonne. Durch die Wechselwirkung mit den äußeren Bereichen des Erdmagnetfeldes wird der allergrößte Anteil des Sonnenwinds großräumig um die Erde herumgeführt. Lediglich über den magnetischen Polen kann ein kleiner Anteil der geladenen Teilchen sich der Erde nähern und durch weitere Wechselwirkung mit der Atmosphäre in einem begrenzten Bereich – dem Strahlungsgürtel (siehe Abbildung 5) – eingeschlossen werden. Die Bewegung dieser Teilchen soll im Weiteren genauer untersucht werden.

- a) Im Strahlungsgürtel über dem Äquator kann das Erdmagnetfeld lokal praktisch als homogen angesehen werden. Dort bewegt sich ein Elektron mit der Energie von 2,0 keV unter einem Winkel γ zu den Feldlinien des Erdmagnetfeldes (vgl. Abbildung 4).

Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des 2,0-keV-Elektrons nichtrelativistisch.

[Kontrollergebnis: $v = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$]

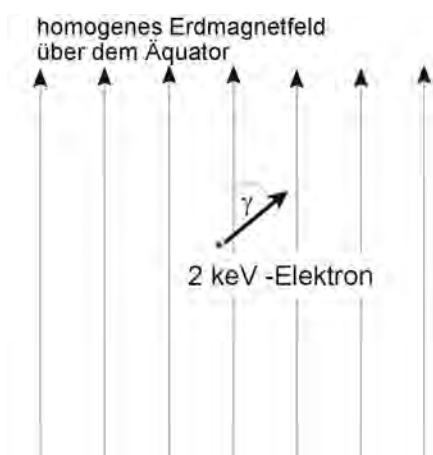


Abbildung 4: Bewegung eines Elektrons im Strahlungsgürtel über dem Äquator (es handelt sich hier um eine zweidimensionale Darstellung)



Name: _____

- b) Die geladenen Teilchen im Strahlungsgürtel werden durch das Erdmagnetfeld auf eine Schraubenbahn entlang der Feldlinien abgelenkt (vgl. Abbildung 5).

Erklären Sie qualitativ das Zustandekommen dieser Teilchenbahn durch die Wirkung der Lorentzkraft anhand einer entsprechend skizzierten Komponentenzzerlegung der Geschwindigkeit.

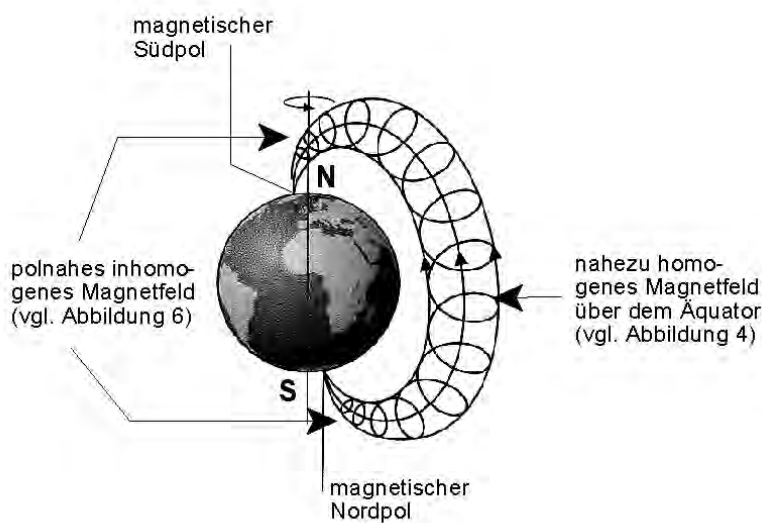


Abbildung 5: Bahn eines Elektrons im Erdmagnetfeld des Strahlungsgürtels (die Darstellung der Größenverhältnisse ist nicht maßstabsgerecht)

- c) Zeigen Sie allgemein, dass die Umlaufzeit eines Elektrons auf seiner Schraubenbahn gegeben ist durch den Zusammenhang:

$$T = \frac{2\pi \cdot m_e}{e \cdot B}$$

also unabhängig von der Geschwindigkeit des Teilchens ist.

- d) Berechnen Sie den Radius sowie den Abstand zweier benachbarter Windungen der Schraubenbahn (die sogenannte Ganghöhe) des 2,0-keV-Elektrons für den Winkel $\gamma = 25^\circ$ und die typische Magnetfeldstärke im Äquatorbereich des Strahlungsgürtels von $B = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

(25 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 5

Die Elektronen im Strahlungsgürtel der Erde bewegen sich auf ihren Schraubenbahnen entlang der magnetischen Feldlinien in Richtung eines magnetischen Pols (vgl. Abbildung 5). Bei Annäherung an den magnetischen Pol erhöht sich die magnetische Feldstärke und das Magnetfeld wird zunehmend inhomogen (vgl. Abbildung 6). Die Geschwindigkeitskomponente des Elektrons in Richtung des magnetischen Pols (also entlang der Feldlinie) wird zunächst reduziert und schließlich umgekehrt. Die Abbildung 7 zeigt diesen Effekt im polnahen inhomogenen Erdmagnetfeld.

- a) Trotz der komplizierten Bewegung des Elektrons im inhomogenen Magnetfeld ändert sich seine kinetische Energie durch die Wechselwirkung mit dem Magnetfeld nicht (abgesehen von sehr geringen Strahlungsverlusten).

Geben Sie hierfür eine allgemeine Begründung an.

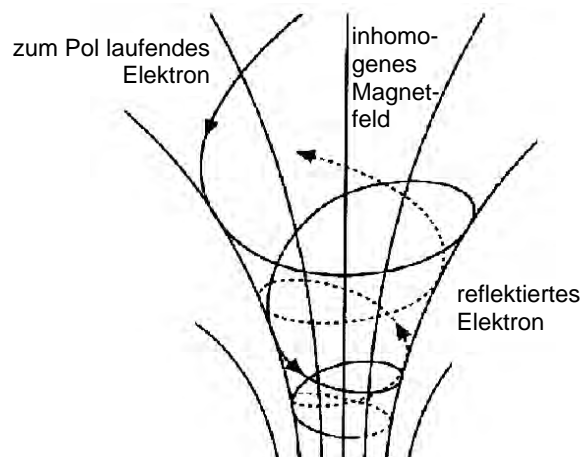


Abbildung 6: Bahn eines Elektrons im polnahen inhomogenen Erdmagnetfeld (die Darstellung der Größenverhältnisse ist nicht maßstabsgerecht)



Name: _____

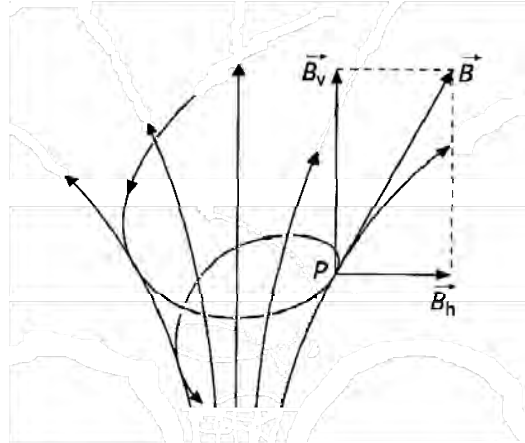


Abbildung 7: Zur Wirkung der Lorentzkraft im inhomogenen Magnetfeld (die Darstellung der Größenverhältnisse ist nicht maßstabsgerecht)

b) Erklären Sie anhand von Abbildung 7 qualitativ die Abbremsung und schließlich die Umkehr der Geschwindigkeitskomponente des Elektrons in Polrichtung durch die Wirkung der Lorentzkraft im inhomogenen Magnetfeld.

(9 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Die Helmholtzspule, die Messung des Erdmagnetfeldes sowie seine Wirkung auf geladene Teilchen (65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit HT 2 oder HT 4

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modellösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

Modellösungen Aufgabe: Die Helmholtzspule, die Messung des Erdmagnetfeldes sowie seine Wirkung auf geladene Teilchen

Teilaufgabe 1

Aus dem bekannten Zusammenhang $B_{\text{Hh}} \sim \frac{n_{\text{Hh}} \cdot I_{\text{Hh}}}{R}$ ergibt sich mit $[B_{\text{Hh}}] = 1 \text{ T} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{As}^2}$ und

$[\frac{n_{\text{Hh}} \cdot I_{\text{Hh}}}{R}] = 1 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ die Maßeinheit des Proportionalitätsfaktors in der Helmholtzspulenformel

zu $[\mu_{\text{Hh}}] = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{A}^2 \text{s}^2}$.

Teilaufgabe 2

a) Die Idee dieses Experiments ist die Bestimmung des unbekanntes Magnetfeldes der Helmholtzspule durch den Vergleich mit dem bekannten Feld einer langen Spule. Die Kompassnadel zeigt vor Einschalten des Stroms in die definierte Richtung des äußeren Permanentmagneten. Das Magnetfeld der Helmholtzspule lenkt die Nadel dann aus, wird aber dann vom Magnetfeld der langen Spule wieder kompensiert. In diesem Fall sind die beiden Magnetfelder genau entgegengesetzt gleich groß. Es gilt: $|\vec{B}_{\text{Hh}}| = |\vec{B}_{\text{LS}}|$, also

$\mu_{\text{Hh}} \cdot \frac{n_{\text{Hh}} \cdot I_{\text{Hh}}}{R} = \mu_0 \cdot \frac{n_{\text{LS}} \cdot I_{\text{LS}}}{l}$, daraus ergibt sich der gesuchte Zusammenhang für μ_{Hh} .

b) Gegeben: $I_{\text{LS}} = 0,83 \text{ A}$, $I_{\text{Hh}} = 0,20 \text{ A}$, $n_{\text{Hh}} = 154$, $n_{\text{LS}} = 50$, $R = 0,20 \text{ m}$, $l = 0,38 \text{ m}$.

Rechnung: $\mu_{\text{Hh}} = \frac{n_{\text{LS}} \cdot R \cdot I_{\text{LS}}}{n_{\text{Hh}} \cdot l \cdot I_{\text{Hh}}} \cdot \mu_0 = \frac{50 \cdot 0,20 \text{ m} \cdot 0,83 \text{ A}}{154 \cdot 0,38 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ A}} \cdot \mu_0 = 0,710 \cdot \mu_0$

- c) Die Messgenauigkeit der Stromstärken beträgt $\frac{\Delta I}{I} \approx \pm 5\%$. Die Abweichung des experimentellen Wertes vom theoretischen Wert ($\mu_{\text{Hh}} = 0,716 \cdot \mu_0$) beträgt $\approx 1\%$. Bei der vorliegenden Messgenauigkeit stimmen die Werte daher gut überein.

Teilaufgabe 3

- a) Die Messung des Erdmagnetfeldes kann durch die Auslenkung der Kompassnadel mittels des bekannten Magnetfeldes der Helmholtzspule erfolgen. Da die Spulenachse exakt senkrecht zur magnetischen Nordrichtung ausgerichtet ist, ist das eingestellte Magnetfeld gleich der Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes, wenn die Kompassnadel um 45° ausgelenkt wird. Aus den Daten der Helmholtzspule und dem gemessenen Strom kann dann die Magnetfeldstärke ermittelt werden.

[Alternativ kann die Kompassnadel auch auf andere Winkel abgelenkt werden, dann ergibt sich die Erdmagnetfeldkomponente mit Hilfe einfacher Trigonometrie.]

- b) Gegeben: $B_{\text{horizontal}} \approx 0,018 \text{ mT}$, $n_{\text{Hh}} = 154$, $R = 0,2 \text{ m}$.

Für den Fall der in Teilaufgabe 3 a) beschriebenen Bestimmungsmethode ergibt sich aus

$$B_{\text{horizontal}} \approx 0,716 \cdot \mu_0 \cdot \frac{n_{\text{Hh}} \cdot I_{\text{Hh}}}{R} \text{ für die Stromstärke in der Helmholtzspule:}$$

$$I_{\text{Hh}} \approx \frac{B_{\text{horizontal}} \cdot R}{0,716 \cdot \mu_0 \cdot n_{\text{Hh}}} = \frac{1,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot 0,20 \text{ m}}{0,716 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 154} = 0,026 \text{ A}.$$

Demnach ist also mit einer Stromstärke in der Größenordnung einiger 10 mA zu rechnen.

- c) Gegeben: Eintrittswinkel $\alpha \approx 63^\circ$, $B_{\text{horizontal}} = 0,018 \text{ mT}$.

Die Gesamtfeldstärke des Erdmagnetfeldes ergibt sich aus dem Eintrittswinkel und der Horizontalkomponente.

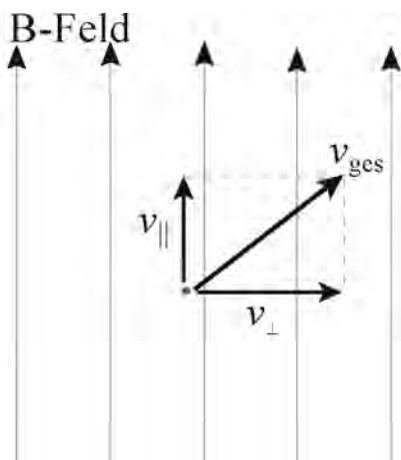
$$\text{Es gilt } B_{\text{ges.}} = \frac{B_{\text{horizontal}}}{\cos 63^\circ} \approx \frac{1,8 \cdot 10^{-5} \text{ T}}{\cos 63^\circ} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}.$$

Teilaufgabe 4

a) Die kinetische Energie des Elektrons beträgt $E_{\text{kin}} = 2,0 \text{ keV} = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ J}$.

$$\text{Aus } E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 \text{ folgt } v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

b) Die auf das Elektron wirkende Lorentzkraft ergibt sich aus der Komponentenzersetzung seiner Geschwindigkeit in einen Anteil parallel zum Magnetfeld \vec{v}_{\parallel} , sowie einen dazu orthogonalen Anteil \vec{v}_{\perp} .



Die Lorentzkraft wirkt nur auf die zum Magnetfeld orthogonale Komponente \vec{v}_{\perp} .

Hieraus resultiert eine gleichförmige Kreisbewegung in einer Ebene orthogonal zum Magnetfeld. Dieser Kreisbewegung überlagert ist die Bewegung des Mittelpunkts der Kreisbahn parallel zur Magnetfeldrichtung mit der Geschwindigkeit \vec{v}_{\parallel} . Insgesamt ergibt sich so die Schraubenbahn der Elektronen.

c) Die auf das Elektron wirkende Lorentzkraft ist die Zentripetalkraft, welche das Teilchen auf die Kreisbahn zwingt.

$$F_L = F_Z \rightarrow e \cdot B \cdot v_{\perp} = \frac{m_e \cdot v_{\perp}^2}{r} \rightarrow v_{\perp} = \frac{e \cdot B \cdot r}{m_e} \rightarrow \frac{2\pi \cdot r}{T} = \frac{e \cdot B \cdot r}{m_e} \rightarrow T = \frac{2\pi \cdot m_e}{e \cdot B}$$

d) Gegeben: Winkel zwischen Geschwindigkeit \vec{v} und Magnetfeld \vec{B} : $\gamma = 25^\circ$,

Magnetfeldstärke: $B = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$, $v_{\text{ges.}} = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (aus Teilaufgabe 4 a)).

Gesucht: Radius r und Ganghöhe h der Schraubenbahn.

Mit $v_{\parallel} = v_{\text{ges.}} \cdot \cos\gamma$ und $v_{\perp} = v_{\text{ges.}} \cdot \sin\gamma$ ergibt sich aus:

$$v_{\perp} = \frac{e \cdot B \cdot r}{m_e} \rightarrow r = \frac{m_e \cdot v_{\text{ges.}} \cdot \sin\gamma}{e \cdot B} \quad \text{für den Radius der Wert:}$$

$$r = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 25^\circ}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}} = 4,3 \text{ m.}$$

Aus $h = v_{\parallel} \cdot T \rightarrow h = v_{\text{ges.}} \cdot \cos\gamma \cdot \frac{2\pi \cdot m_e}{e \cdot B}$ ergibt sich die Ganghöhe der Schraubenbahn zu:

$$h = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos 25^\circ \cdot \frac{2\pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}} = 58 \text{ m.}$$

Teilaufgabe 5

a) Die Lorentzkraft wirkt stets senkrecht zur Momentangeschwindigkeit des Elektrons und ändert damit den Betrag seiner Geschwindigkeit nicht und somit auch nicht seine kinetische Energie.

[Alternativ möglich: Argumentation über $\Delta E = \vec{F}_L \cdot \Delta \vec{s} = \vec{F}_L \cdot \vec{v} \cdot \Delta t = 0$, weil $\vec{F}_L \perp \vec{v}$]

b) Im inhomogen werdenden Magnetfeld mit zunehmender Magnetfeldstärke tritt eine Magnetfeldkomponente in radialer Richtung der Kreisbahn auf (vgl. Abbildung 7). Die durch diesen Anteil des Magnetfeldes hervorgerufene Lorentzkraft auf das Elektron wirkt der Geschwindigkeitskomponente v_{\parallel} parallel zur Schraubenachse entgegen und reduziert diese. Bei $v_{\parallel} = 0$ ist die Gesamtgeschwindigkeit des Elektrons gleich der Bahngeschwindigkeit der Kreisbewegung und die weitere Wechselwirkung mit der radialen Magnetfeldkomponente führt zu einem Anwachsen von v_{\parallel} in die entgegengesetzte Richtung.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Die Helmholtzspule, die Messung des Erdmagnetfeldes sowie seine Wirkung auf geladene Teilchen****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	bestimmt die Maßeinheit des Proportionalitätsfaktors μ_{Hh} in Grundeinheiten.	5

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	erläutert die Idee der Kompensation des Helmholtzspulenfeldes durch das Magnetfeld der langen Spule.	4
a2)	leitet den gesuchten Zusammenhang für den Proportionalitätsfaktor μ_{Hh} her.	4
b)	berechnet aus den angegebenen Daten den Wert für μ_{Hh} .	4
c)	bewertet die Genauigkeit der Messung im Vergleich zum theoretischen Wert unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit.	3

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	gibt an, wie die Horizontalkomponente des Erdmagnetfeldes mit dem Aufbau gemessen werden kann.	5
b)	berechnet den Bereich der erforderlichen Stromstärken zur Messung des Erdmagnetfeldes.	3
c)	ermittelt die Gesamtfeldstärke des Erdmagnetfeldes aus der Horizontalkomponente und dem Eintrittswinkel.	3

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	berechnet die Geschwindigkeit des 2,0-keV-Elektrons.	4
b1)	skizziert die Komponentenzersetzung der Geschwindigkeit in eine parallele und eine senkrechte Komponente zum Magnetfeld.	3
b2)	erklärt das Zustandekommen der Schraubenbahn anhand der Geschwindigkeitskomponenten.	6
c)	leitet den Zusammenhang für die Umlaufzeit des Elektrons auf seiner Schraubenbahn her.	6
d1)	bestimmt den Radius der Schraubenbahn des 2,0-keV-Elektrons.	4
d2)	bestimmt die Ganghöhe der Schraubenbahn.	2

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	begründet mit der Richtungseigenschaft der Lorentzkraftwirkung, dass diese die kinetische Energie eines geladenen Teilchens nicht verändern kann.	5
b)	erklärt die Umkehr der Elektronenbahn durch die Wirkung der horizontalen Lorentzkraftkomponente im inhomogenen Erdmagnetfeld.	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Die Helmholtzspule, die Messung des Erdmagnetfeldes sowie seine Wirkung auf geladene Teilchen**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	bestimmt die Maßeinheit ...	5			
	Summe Teilaufgabe 1	5			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	erläutert die Idee ...	4			
a2)	leitet den gesuchten ...	4			
b)	berechnet aus den ...	4			
c)	bewertet die Genauigkeit ...	3			
	Summe Teilaufgabe 2	15			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	gibt an, wie ...	5			
b)	berechnet den Bereich ...	3			
c)	ermittelt die Gesamtfeldstärke ...	3			
	Summe Teilaufgabe 3	11			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	berechnet die Geschwindigkeit ...	4			
b1)	skizziert die Komponentenzerlegung ...	3			
b2)	erklärt das Zustandekommen ...	6			
c)	leitet den Zusammenhang ...	6			
d1)	bestimmt den Radius ...	4			
d2)	bestimmt die Ganghöhe ...	2			
	Summe Teilaufgabe 4	25			

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet mit der ...	5			
b)	erklärt die Umkehr ...	4			
	Summe Teilaufgabe 5	9			

	Summe insgesamt	65			
--	------------------------	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der zweiten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	65			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	65			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	130			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	130 – 124
sehr gut	14	123 – 117
sehr gut minus	13	116 – 111
gut plus	12	110 – 104
gut	11	103 – 98
gut minus	10	97 – 91
befriedigend plus	9	90 – 85
befriedigend	8	84 – 78
befriedigend minus	7	77 – 72
ausreichend plus	6	71 – 65
ausreichend	5	64 – 59
ausreichend minus	4	58 – 51
mangelhaft plus	3	50 – 43
mangelhaft	2	42 – 34
mangelhaft minus	1	33 – 26
ungenügend	0	25 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Farbstoffmoleküle

In der Spektroskopie unterscheidet man zwei grundsätzliche Typen von Spektren:

- Emissionsspektren, wie sie z. B. bei leuchtenden Gasen auftreten, vgl. Abbildung 1. Hier führt das Vorliegen diskreter Energiezustände im Atom zur Emission von Spektrallinien.
- Absorptionsspektren, wie sie z. B. beim Durchleuchten von Farbstofflösungen mit weißem Licht auftreten, vgl. Abbildung 2. In den Farbstoffmolekülen sind die Energieniveaus durch das Auftreten von zahlreichen Molekülschwingungen verbreitert, so dass im Spektrum statt der üblichen Linien breite Absorptionslücken entstehen.

Die Analyse derartiger Spektren kann entweder durch direkte Beobachtung (Spektroskop mit Wellenlängenskala), vgl. Abbildungen 1/2 (untere Bilder), oder durch photometrische Messung der Emissions- bzw. Absorptionsrate erfolgen, vgl. Abbildungen 1/2 (obere Bilder; die Wellenlänge λ ist in nm angegeben, die Intensität bzw. die Absorptionsrate in relativen Einheiten).

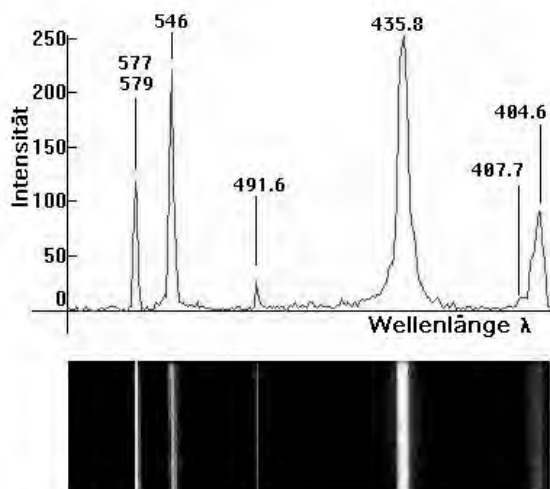


Abbildung 1: Quecksilberdampf
(de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/852817)

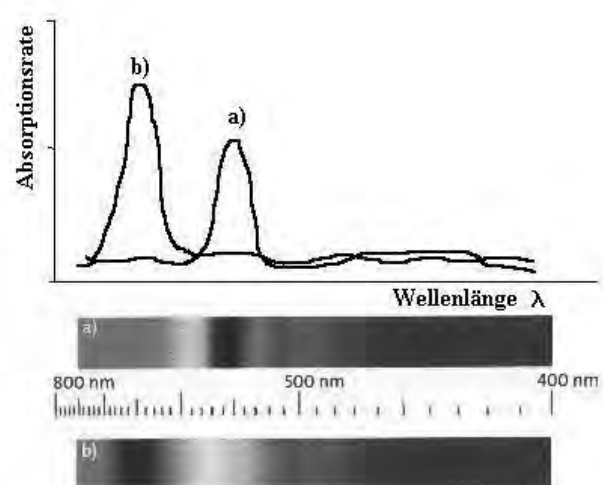


Abbildung 2a/b: Farbstofflösungen
(Metzler Physik 2009, S. 422)



Name: _____

Teilaufgabe 1

Zur Erzeugung der Spektren werden sehr häufig Beugungsgitter mit hoher Strichzahl und entsprechend kleiner Gitterkonstante g verwendet, siehe dazu Abbildung 3.

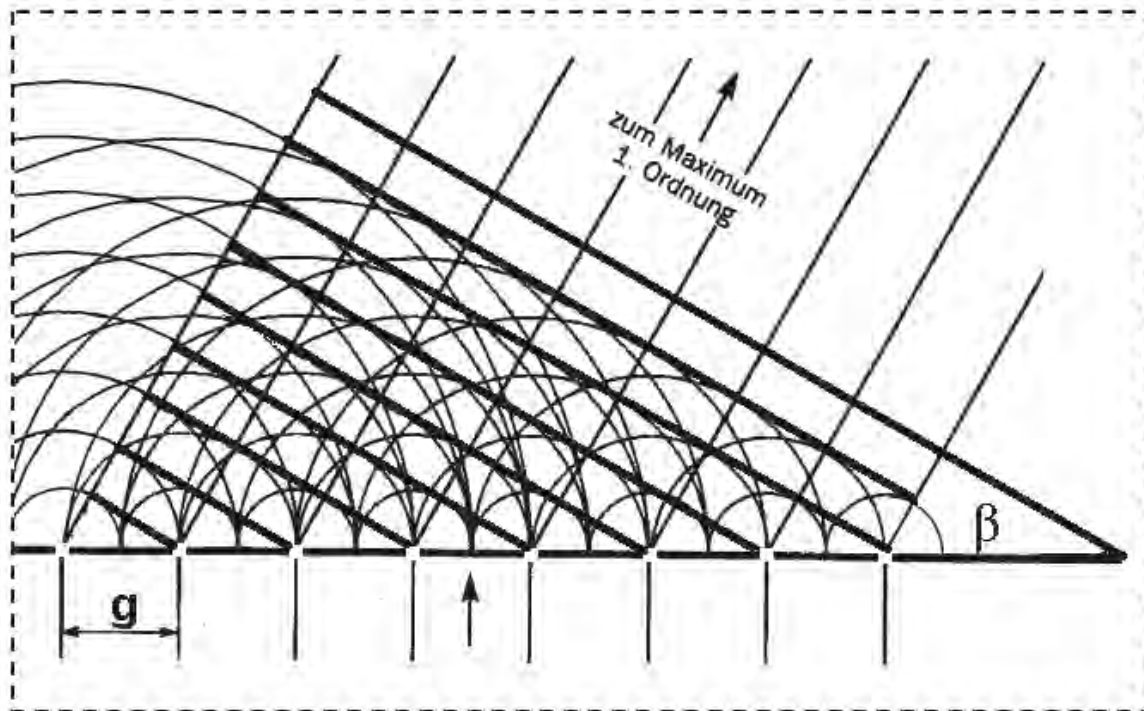


Abbildung 3: Prinzip der Beugung am Gitter (nach Cornelsen, Physik Oberstufe, 1999, S. 222)

- Erläutern Sie anhand von Abbildung 3 die Entstehung eines Beugungsmaximums mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips.
- Begründen Sie, warum weißes Licht durch ein Gitter in ein Farbspektrum aufgespalten wird. (Üblicherweise wird hier ein Wellenlängenbereich von ca. 400 – 750 nm betrachtet.)
- Begründen Sie, wo sich das Maximum 0. Ordnung bei dem in Abbildung 1 dargestellten Spektrum befinden würde.

(14 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2

Bei der Verwendung von Beugungsgittern ist zu beachten, dass ab der 2. Beugungsordnung eine Überlappung der abgebildeten Spektren auftritt, vgl. Abbildung 4.

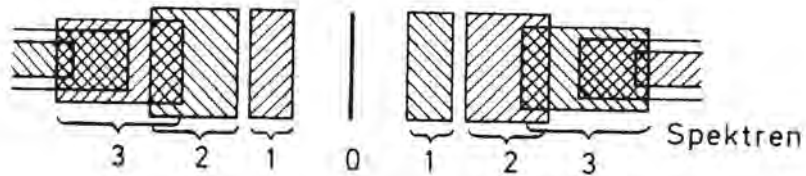


Abbildung 4: Überlappung von Spektren beim Gitter
(Bergmann Schäfer, Lehrbuch der Experimentalphysik Optik Bd. III, 1987, S. 413)

- Erläutern Sie allgemein, unter welchen Bedingungen es zu einer derartigen Überlappung kommen kann.
- Begründen Sie, warum dieses Problem zwischen der 1. und 2. Ordnung bei weißem Licht (d. h. 400 – 750 nm) nicht auftreten kann.

(7 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Bei den meisten Farbstoffen erfolgt die Energieabgabe der angeregten Moleküle über Molekülschwingungen als Wärmeenergie. Bei bestimmten Farbstoffen, zu denen auch das Fluorescein gehört, wird jedoch nur ein Teil der aufgenommenen Energie auf diese Weise abgegeben. Anschließend erfolgt die Rückkehr in den Grundzustand durch Emission von Fluoreszenzlicht. Mit geeigneten Spektrometern kann man sowohl das absorbierte Licht wie auch das emittierte Fluoreszenzlicht untersuchen. Entsprechende Messergebnisse sind in den Abbildungen 5a/b dargestellt.

(**Hinweis:** In Abbildung 5a bezeichnet die Intensität das Absorptionsvermögen des Farbstoffs für bestimmte Wellenlängen des eingestrahlteten Lichtes, in Abbildung 5b ist sie ein Maß für die Helligkeit des emittierten Fluoreszenzlichtes.)

(Quelle: www.qslnet.de/member/dk2yct/Bericht_Fluoreszenz.pdf)

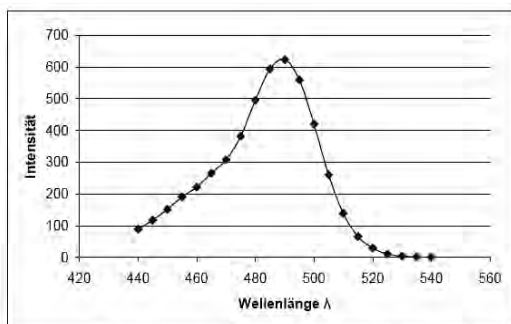


Abbildung 5a: Absorptionsspektrum

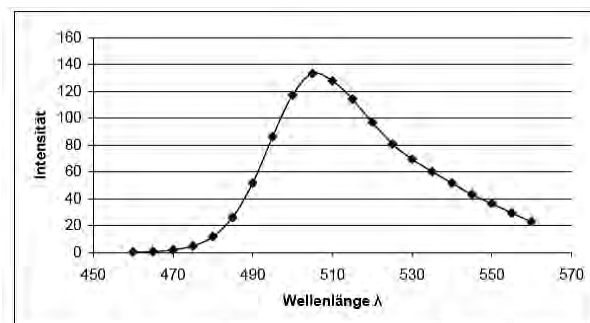


Abbildung 5b: Emissionsspektrum

(Die Wellenlänge λ ist in nm angegeben, die Intensität in relativen Einheiten.)

- Bestimmen Sie die Lage der Maxima im Kurvenverlauf und berechnen Sie die zugehörigen Quantenenergien.
- Stellen Sie die energetischen Prozesse im Fluoresceinmolekül in einem entsprechend beschrifteten Energiestufendiagramm schematisch dar. (Die oben erwähnte Verbreiterung der Energieniveaus durch Schwingungszustände brauchen Sie nicht zu berücksichtigen.)

(10 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Im Schulexperiment kann man die Fluoreszenz mit dem in Abbildung 6 dargestellten Versuchsaufbau untersuchen. Die Küvette 2 enthält die zu untersuchende Fluorescein-Lösung, die Küvette 1 ist zum Vergleich nur mit Wasser gefüllt. Die Beobachtungen sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

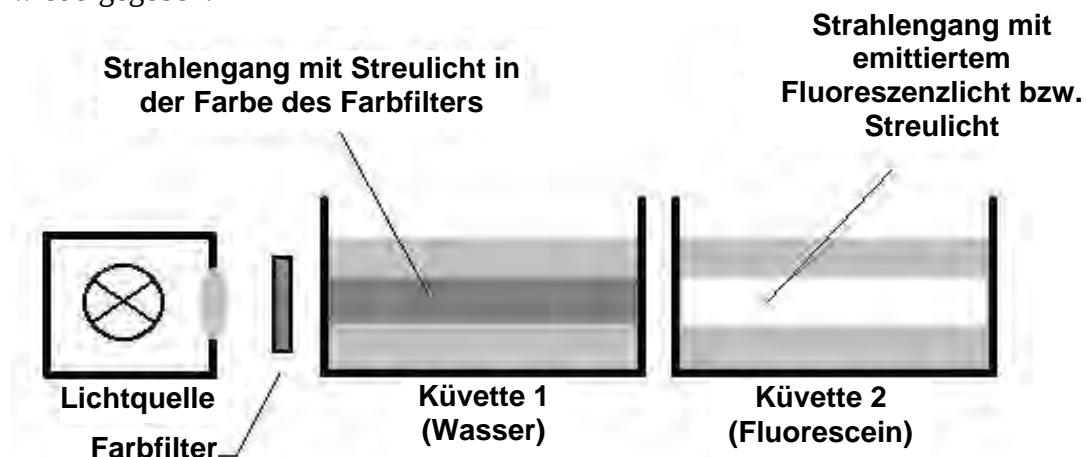


Abbildung 6: Versuche mit Fluorescein-Lösung

Tabelle 1:

Farbfilter (Wellenlänge λ)	Beobachtung Küvette 1	Beobachtung Küvette 2
ultraviolett (370 nm)	Dunkelheit	grünes Fluoreszenzlicht
violett (405 nm)	violettes Streulicht	grünes Fluoreszenzlicht
blaugrün (492 nm)	blaugrünes Streulicht	grünes Fluoreszenzlicht
gelb (578 nm)	gelbes Streulicht	gelbes Streulicht
rot (650 nm)	rotes Streulicht	rotes Streulicht

Erklären Sie die angegebenen Beobachtungen.

(6 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 5

Nach de Broglie kann jedes Elektron auch als Materiewelle mit der Wellenlänge $\lambda = \frac{h}{m_e \cdot v}$

betrachtet werden. In einfachen Farbstoffmolekülen können daher die Energiezustände der Elektronen näherungsweise durch stehende Wellen (dargestellt durch sin-Funktionen) in einem linearen Potentialtopf der Länge L beschrieben werden.

- Stellen Sie die Graphen der zu den untersten drei Energiezuständen E_{1-3} gehörenden Wellenfunktionen unter der Annahme stehender Wellen in einem Potentialtopf dar.*
- Geben Sie an, welche Bedingung die Wellenlänge λ erfüllen muss, damit in einem Potentialtopf der Länge L stehende Wellen entstehen.*

c) *Leiten Sie die Beziehung $E_n = \frac{h^2}{8 m_e \cdot L^2} \cdot n^2$ für die Elektronen im Topf her.*

(11 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 6

Es soll überprüft werden, ob dieses Modell für den mit dem Fluorescein verwandten Farbstoff Benzaurin verwendet werden kann. Die Länge L des Potentialtopfes wird durch 9 Kohlenstoffatome sowie zwei Sauerstoffatome bestimmt. Der Beitrag jedes C-Atoms zur Potentialkastenlänge beträgt $a_C = 0,123$ nm, derjenige eines O-Atoms jeweils $a_O = 0,185$ nm. Der Potentialtopf enthält $z = 12$ Elektronen, von denen nach dem Pauli-Prinzip jeweils 2 Elektronen denselben Energiezustand besetzen können.

a) Ermitteln Sie die Länge L des Potentialtopfes. Geben Sie die Hauptquantenzahlen n des höchsten besetzten und des niedrigsten unbesetzten Energiezustands (E_n und E_{n+1}) an.

[Kontrolle: $L = 1,477$ nm]

b) Zeigen Sie, dass sich die Energiedifferenz zwischen diesen beiden in 6 a) ermittelten

Zuständen durch die Beziehung $\Delta E = \frac{h^2}{8 m_e \cdot L^2} \cdot (z + 1)$ berechnen lässt.

c) Überprüfen Sie, ob das Potentialtopfmodell auf Benzaurin, dessen Absorptionsspektrum demjenigen von Abbildung 2a ähnelt, anwendbar ist.

(17 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Farbstoffmoleküle

(65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit HT 1, HT 2 oder HT 3

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
 - Interferenz (Lichtbeugung am Gitter, Wellenlängenmessung)
- Atom- und Kernphysik
 - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (Beobachtung von Spektrallinien am Gitter)
- Quanteneffekte
 - Welleneigenschaften von Teilchen

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modellösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

Modellösungen Aufgabe: Farbstoffmoleküle

Teilaufgabe 1

- a) Nach dem Huygens'schen Prinzip kann jeder Punkt einer Wellenfront als Ausgangspunkt von Elementarwellen betrachtet werden. Dies geschieht hier an jeder Gitteröffnung. Die Wellenfronten der Elementarwellen interferieren. Elementarwellen ohne Gangunterschied bilden dann die Wellenfront der geradeaus laufenden Welle (Maximum 0. Ordnung); beträgt der Gangunterschied benachbarter Elementarwellen gerade $1 \cdot \lambda$, so bilden diese die in Richtung des Maximums 1. Ordnung laufenden Wellenfronten aus.
- b) Weißes Licht ist ein Gemisch unterschiedlicher Wellenlängen. Die aus den zugehörigen Elementarwellen gebildeten neuen Wellenfronten 1. Ordnung verlaufen daher unter unterschiedlichen Beugungswinkeln β .
- c) Da der Beugungswinkel mit zunehmender Wellenlänge anwächst, muss sich das Maximum 0. Ordnung rechts von der kurzwelligen violetten Linie befinden.

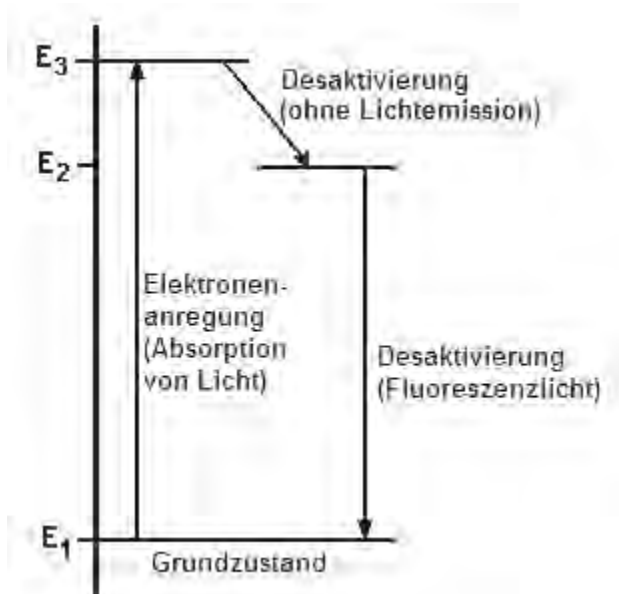
Teilaufgabe 2

- a) Eine derartige Überlappung tritt auf, wenn der Beugungswinkel einer Wellenlänge λ_n aus der n . Ordnung mit einem Beugungswinkel einer Wellenlänge λ_{n+1} aus der $(n + 1)$. Ordnung übereinstimmt.
- b) Hier muss gelten: $1 \cdot \lambda_1 = 2 \cdot \lambda_2$. Dabei kann λ_1 maximal 750 nm betragen, λ_2 ist minimal 400 nm. Die Gleichung ist nicht erfüllbar, die Spektren bleiben also voneinander getrennt.

Teilaufgabe 3

- a) Die Maxima liegen bei $\lambda_{\text{abs}} = 490 \text{ nm}$ bzw. $\lambda_{\text{emit}} = 505 \text{ nm}$. Mit $E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ erhält man die Werte $E_{\text{abs}} = 2,53 \text{ eV}$ und $E_{\text{emit}} = 2,46 \text{ eV}$.

- b) Die schematische Darstellung könnte wie folgt aussehen:

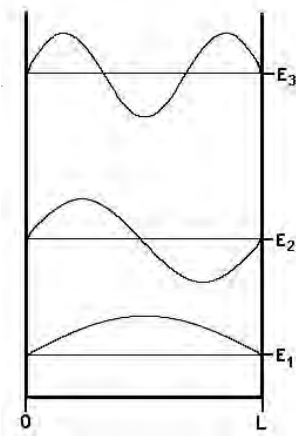


Teilaufgabe 4

Fluoreszenz kann nur auftreten, wenn das absorbierte Licht energiereicher ist als das emittierte Fluoreszenzlicht, vgl. Teilaufgabe 3 b). Diese Bedingung ist nur bei den ersten drei Beispielen erfüllt.

Teilaufgabe 5

a) Die Wellenfunktionen sind sin-Funktionen mit 1 – 3 Halbwellen im Topf und Knoten am Topfrand:



b) Die Topflänge muss ein Vielfaches der halben Wellenlänge betragen: $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$.

c) Aus $\lambda = \frac{h}{m_e \cdot v}$ folgt $v^2 = \left(\frac{h}{m_e \cdot \lambda} \right)^2$. Eingesetzt in $E = \frac{1}{2} m_e v^2$ erhält man $E = \frac{1}{2} \frac{h^2}{m_e \cdot \lambda^2}$.

Setzt man noch $\lambda = \frac{2 \cdot L}{n}$ ein, so erhält man die gesuchte Beziehung für den n -ten

$$\text{Energiezustand: } E_n = \frac{h^2}{8 m_e \cdot L^2} \cdot n^2.$$

Teilaufgabe 6

a) Für die Länge L des Potentialtopfes ergibt sich: $L = 9 \cdot a_C + 2 \cdot a_O = 1,477 \text{ nm}$. Da jeder Energiezustand mit 2 der insgesamt $z = 12$ relevanten Elektronen besetzt ist, ist E_6 der höchste besetzte und E_7 der niedrigste unbesetzte Energiezustand.

b) Bei z Elektronen erfolgt die Elektronenanregung zwischen den mit $\frac{z}{2}$ und mit $\frac{z}{2} + 1$ gekennzeichneten Energiezuständen. Die Energiedifferenz ergibt sich daher zu

$$\Delta E = \frac{h^2}{8 m_e \cdot L^2} \cdot \left[\left(\frac{z}{2} + 1 \right)^2 - \left(\frac{z}{2} \right)^2 \right]. \text{ Durch Anwendung der binomischen Formel erhält}$$

$$\text{man das Ergebnis } \Delta E = \frac{h^2}{8 m_e \cdot L^2} \cdot (z + 1).$$

c) Bestimmung der Energiedifferenz:

$$\Delta E = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})^2}{8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (1,477 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} \cdot (12 + 1) = 3,59 \cdot 10^{-19} \text{ J}. \text{ Damit ergibt sich als}$$

$$\text{absorbierte Wellenlänge } \lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,59 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 553 \text{ nm}.$$

Dies entspricht der Lage der zu beobachtenden Absorptionsbande im Beispielspektrum.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Farbstoffmoleküle****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erläutert die Entstehung eines Beugungsmaximums.	6
b)	begründet die spektrale Zerlegung von weißem Licht.	4
c)	begründet die Lage des Maximums 0. Ordnung in Abbildung 1.	4

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erläutert die Bedingung für die Überlappung von Spektren.	3
b)	begründet, warum diese zwischen 1. und 2. Ordnung nicht auftritt.	4

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	bestimmt die Lage der Maxima in Abbildung 5.	2
a2)	berechnet die Quantenenergien.	4
b)	erstellt ein beschriftetes Energiestufendiagramm.	4

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erklärt die Beobachtungen.	6

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	stellt die Graphen von drei Wellenfunktionen dar.	3
b)	gibt die Bedingung zur Ausbildung stehender Wellen an.	3
c)	leitet die angegebene Formelbeziehung her.	5

Teilaufgabe 6

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	ermittelt die Länge des Potentialtopfes.	3
a2)	gibt die Hauptquantenzahlen der beiden Energiezustände an.	2
b)	weist die Formelbeziehung für die Energiedifferenz nach.	4
c1)	bestimmt die Energiedifferenz.	4
c2)	berechnet die Wellenlänge.	2
c3)	vergleicht das Ergebnis mit Abbildung 2a.	2

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Farbstoffmoleküle**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	erläutert die Entstehung ...	6			
b)	begründet die spektrale ...	4			
c)	begründet die Lage ...	4			
	Summe Teilaufgabe 1	14			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	erläutert die Bedingung ...	3			
b)	begründet, warum diese ...	4			
	Summe Teilaufgabe 2	7			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	bestimmt die Lage ...	2			
a2)	berechnet die Quantenenergien.	4			
b)	erstellt ein beschriftetes ...	4			
	Summe Teilaufgabe 3	10			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erklärt die Beobachtungen.	6			
	Summe Teilaufgabe 4	6			

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	stellt die Graphen ...	3			
b)	gibt die Bedingung ...	3			
c)	leitet die angegebene ...	5			
	Summe Teilaufgabe 5	11			

Teilaufgabe 6

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	ermittelt die Länge ...	3			
a2)	gibt die Hauptquantenzahlen ...	2			
b)	weist die Formelbeziehung ...	4			
c1)	bestimmt die Energiedifferenz.	4			
c2)	berechnet die Wellenlänge.	2			
c3)	vergleicht das Ergebnis ...	2			
	Summe Teilaufgabe 6	17			

	Summe insgesamt	65			
--	------------------------	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der zweiten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	65			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	65			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	130			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	130 – 124
sehr gut	14	123 – 117
sehr gut minus	13	116 – 111
gut plus	12	110 – 104
gut	11	103 – 98
gut minus	10	97 – 91
befriedigend plus	9	90 – 85
befriedigend	8	84 – 78
befriedigend minus	7	77 – 72
ausreichend plus	6	71 – 65
ausreichend	5	64 – 59
ausreichend minus	4	58 – 51
mangelhaft plus	3	50 – 43
mangelhaft	2	42 – 34
mangelhaft minus	1	33 – 26
ungenügend	0	25 – 0