



Name: \_\_\_\_\_

## Abiturprüfung 2011

### Physik, Grundkurs

#### Aufgabenstellung:

#### Aufgabe 1: Definition und Messung der Feldstärke $B$ (auch Flussdichte genannt) magnetischer Felder – kontaktlose Messung großer Ströme

1.1 Die Abbildung 1 zeigt eine Versuchsanordnung, mit der die Feldstärke  $B$  eines (homogenen) magnetischen Feldes gemäß der Feldstärkedefinition gemessen werden kann.

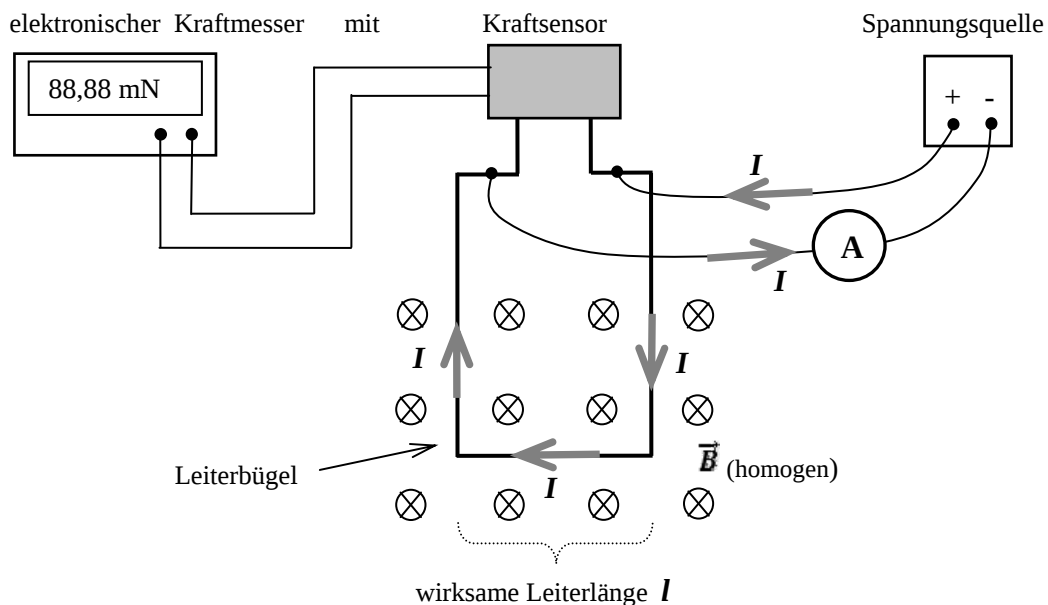


Abbildung 1: Versuchsanordnung zur Messung der Stärke  $B$  magnetischer Felder

Beschreiben Sie, wie mit Hilfe dieser Anordnung die Stärke  $B$  eines räumlich ausgedehnten homogenen Magnetfeldes gemessen werden kann. (9 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

- 1.2 In der Praxis ist die Messung der Stärke eines magnetischen Feldes mit Hilfe der Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter sehr umständlich. Spezielle Magnetfeldstärkenmessgeräte, z. B. die „Hallsonde“, lassen sich wesentlich einfacher bedienen. In einem Versuch gemäß Abbildung 2 wird das magnetische Feld eines langen, geraden, stromdurchflossenen Leiters mit Hilfe einer Hallsonde vermessen.

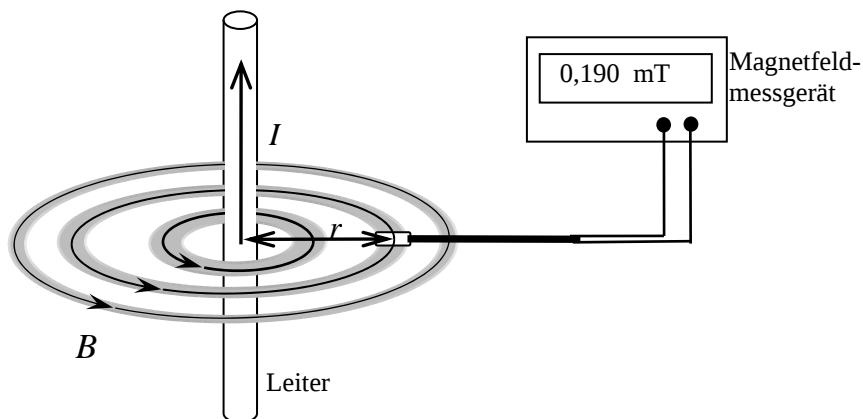


Abbildung 2: Hallsonde im Magnetfeld eines geraden, stromdurchflossenen Leiters (Markiert ist die technische Richtung des Stromes.)

Die Stärke des Konstantstromes, der durch den Leiter fließt, wird mit  $I$  bezeichnet.

$r$  sei der Abstand der Hallsonde von der Längsachse des Leiters.

Gemessen wird zunächst für einen konstanten Abstand von  $r = 0,04$  m die Stärke  $B$  des magnetischen Feldes in Abhängigkeit von der Stromstärke  $I$ . In einer zweiten Messreihe wird bei konstanter Stromstärke von  $I = 40$  A die Stärke  $B$  des magnetischen Feldes in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  gemessen.

Dabei ergeben sich folgende Messwerte:

	für $r = 0,04$ m				
$I$ in A	20	25	30	35	40
$B$ in mT	0,09	0,13	0,15	0,17	0,19

	für $I = 40$ A				
$r$ in m	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
$B$ in mT	0,39	0,27	0,19	0,16	0,13



Name: \_\_\_\_\_

- a) Zeigen Sie mit Hilfe einer grafischen Auswertung der Messwerte, dass die Beziehung  $B \sim \frac{I}{r}$  in guter Näherung erfüllt ist.
- b) Ermitteln Sie ausgehend von Ihrer grafischen Auswertung der Messwerte den Wert für die Proportionalitätskonstante. (19 Punkte)

1.3 Für die Stärke des magnetischen Feldes eines langen, geraden, stromdurchflossenen

Leiters gilt der Theorie nach die Beziehung  $B_{\text{gerader Leiter}} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I}{r}$ .

Wird ein solcher Leiter von einem Wechselstrom durchflossen, so ist er von einem zeitlich veränderlichen Magnetfeld umgeben. In ein solches zeitlich veränderliches Magnetfeld wird eine Induktionsspule gebracht. Um hinreichend große Induktionsspannungen zu erhalten, verwendet man, wie in Abbildung 3 dargestellt, zusätzlich einen geschlossenen Eisenkern, auf den die Spule aufgebracht wird.

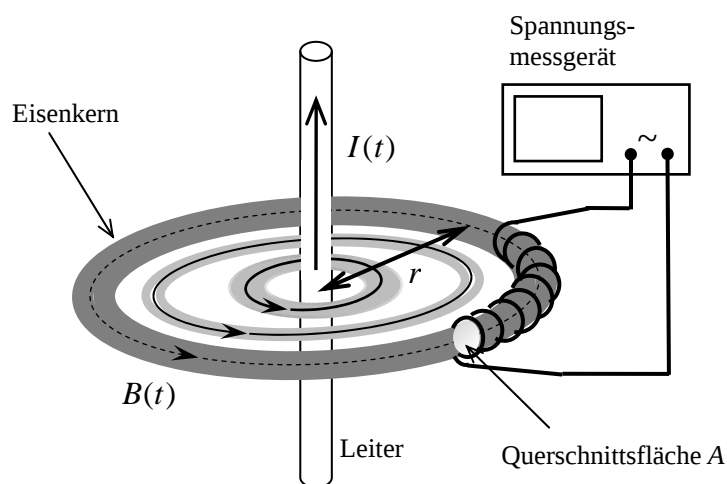


Abbildung 3: Ringförmiger Eisenkern mit Induktionsspule im  $B$ -Feld des langen, geraden, stromdurchflossenen Leiters



Name: \_\_\_\_\_

- a) Wird der gerade Leiter von einem Wechselstrom der Stärke  $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  durchflossen, so gilt für die in der Spule induzierte Spannung die Beziehung

$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_0}{r} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

Leiten Sie, ausgehend vom allgemeinen Induktionsgesetz und unter Verwendung der Terme für  $I(t)$  und  $B_{\text{gerader Leiter}}$ , die angegebene Beziehung für  $U_{\text{ind}}(t)$  her.

( $n$ : Anzahl der Windungen der Induktionsspule

$A$ : Querschnittsfläche der Induktionsspule

$\mu_0$ : magnetische Feldkonstante

$\mu_r$ : Materialkonstante des Eisenkerns

$r$ : Abstand der Mitte der Induktionsspule von der Längsachse des Leiters

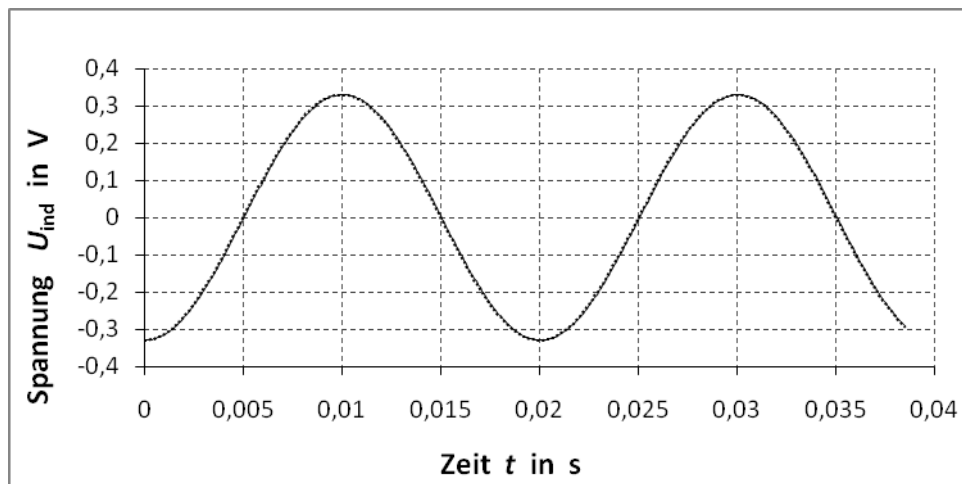
$\omega$ : Kreisfrequenz des Wechselstromes)

**Hinweis:** Bei der Bearbeitung dieser Aufgabe können Sie von der Näherung ausgehen, dass das magnetische Feld des Leiters im Bereich der Querschnittsfläche  $A$  der Induktionsspule homogen ist.



Name: \_\_\_\_\_

- b) Das Oszillogramm in Abbildung 4 zeigt die in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnete Induktionsspannung.



$$\begin{aligned}
 n &= 100 \\
 A &= 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\
 \mu_r &= 600 \\
 \mu_0 &= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \\
 r &= 0,04 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Abbildung 4: Oszillogramm, aufgenommen mit einer Anordnung gemäß Abbildung 3

Bestimmen Sie die Frequenz  $f$  und die Amplitude  $I_0$  des im Leiter fließenden sinusförmigen Wechselstromes.

- c) Begründen Sie, warum das in dieser Teilaufgabe 1.3 dargestellte Verfahren zur (kontaktlosen) Bestimmung von zeitlich konstanten Gleichströmen nicht geeignet ist. (22 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

## Aufgabe 2: Radioaktive Strahlung

- 2.1 Radioaktive Strahlung kann z. B. mit einem Geiger-Müller-Zählrohr registriert werden. Die Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Zählrohres.

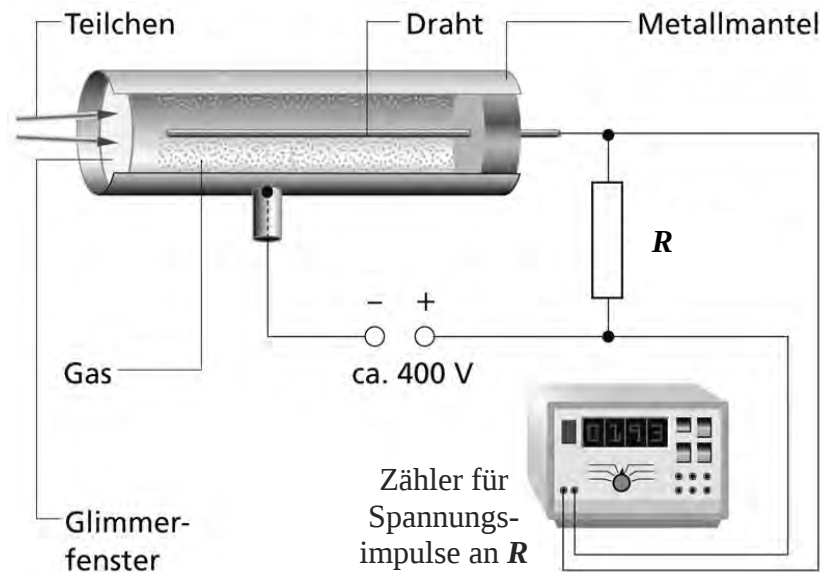


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohres  
(Quelle: Physik Oberstufe, Cornelsen Verlag, Berlin 2008, leicht geändert)

*Erläutern Sie unter Bezug auf die vorgegebene Skizze die prinzipielle Funktionsweise eines solchen Geiger-Müller-Zählrohres.* (6 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

2.2 Im vorgeführten Versuch wird ein Radium-226-Präparat verwendet.

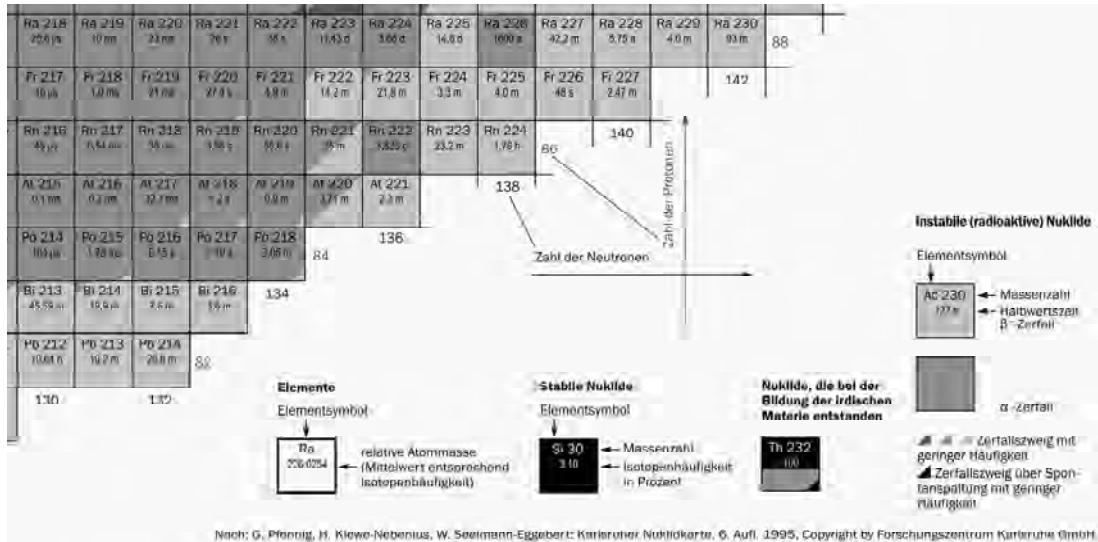


Abbildung 2: Ausschnitt aus einer Nuklidkarte (Quelle: Das große Tafelwerk, Volk und Wissen Verlag, Berlin 2002, leicht geändert)

- Ermitteln Sie anhand der beigefügten Nuklidkarte (Abbildung 2) die weitere Zerfallsreihe vom Ra 226 über die diversen Zerfallsprodukte bis hin zu Po 214.
- Geben Sie für jeden Zerfall auch die Zerfallsart an.

**Hinweis:** Sie können Ihre Darstellung zu Teilaufgabe a) entsprechend ergänzen.

- Erläutern Sie, wieso das Ra-226-Präparat (genau wie viele andere Nuklide) auch  $\gamma$ -Strahlung zahlreicher unterschiedlicher Energiewerte aussendet, obwohl in dem in Abbildung 2 wiedergegebenen Ausschnitt einer Nuklidkarte nur  $\alpha$ - und  $\beta$ -Zerfälle dargestellt werden. (10 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

2.3 Um sich vor radioaktiver Strahlung zu schützen, kann man unter anderem einen möglichst großen Abstand von der Strahlungsquelle halten.

Das verwendete Ra-226-Präparat sendet  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung aus. Die  $\alpha$ -Strahlung wird aber durch ein Blatt Papier zwischen Präparat und Zählrohr absorbiert. Die Zählrate  $Z$  wird in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  zwischen Präparat und Zählrohr gemessen.

Folgende Messwerte wurden ermittelt:

Abstand $r$ in cm	2	3	4	5	6	8	10	12
Zählrate $Z$ pro 100 s	6277	2913	1710	1102	748	415	261	174

(Die Zählraten sind bereits um die Nullrate reduziert.)

- a) Zeigen Sie mit Hilfe der Messwerte, dass der Zusammenhang zwischen der Zählrate  $Z$  und dem Abstand  $r$  (näherungsweise) durch die Beziehung  $Z \sim \frac{1}{r^2}$  beschrieben werden kann, und erläutern Sie Ihr Vorgehen.
- b) Erläutern Sie, wie sich ein Verzicht auf die Abschirmung der Alpha-Teilchen auf die Messergebnisse auswirken würde. Gehen Sie dazu insbesondere auf die physikalischen Ursachen für diese Auswirkungen ein. (14 Punkte)

2.4 Zum Schutz vor  $\gamma$ -Strahlung sollten wegen ihrer großen Reichweite in Luft geeignete Absorber verwendet werden. Für die Absorption (monoenergetischer)  $\gamma$ -Strahlung durch Materie gilt das Absorptionsgesetz:  $Z(d) = Z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$ .

( $Z_0$ : Zählrate, die ohne Absorber registriert wird)

$Z(d)$ : Zählrate, die nach Durchdringen eines Absorbers der Dicke  $d$  noch registriert wird

$\mu$ : Absorptionskoeffizient)

- a) Erläutern Sie den Begriff der Halbwertsdicke  $d_{1/2}$ .
- b) Geben Sie zwei Faktoren an, die Einfluss auf die Halbwertsdicke haben.
- c) Leiten Sie ausgehend vom Absorptionsgesetz die Beziehung  $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$  zwischen der Halbwertsdicke  $d_{1/2}$  und dem Absorptionskoeffizienten  $\mu$  her. (10 Punkte)





Name: \_\_\_\_\_

- 2.5 Mit Hilfe des in Abbildung 3 dargestellten Versuchs soll nun gezeigt werden, dass für die monoenergetische  $\gamma$ -Strahlung eines Cäsium-137-Präparats das in Teilaufgabe 2.4 angegebene Absorptionsgesetz gilt.

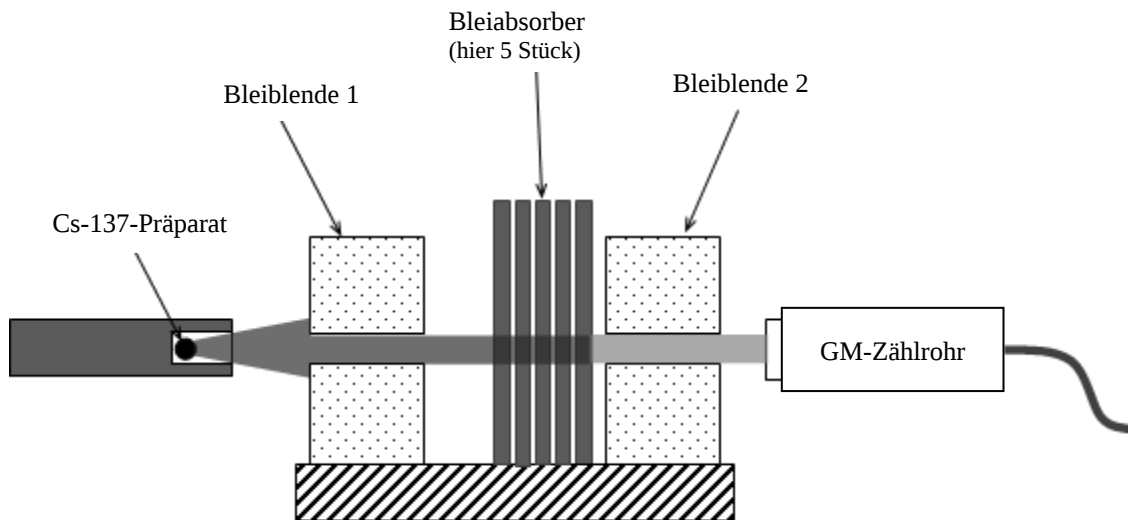


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Absorption von  $\gamma$ -Strahlung

**Hinweise:** Cs 137 sendet  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung aus, aufgrund der Bauart der Umhüllung des Präparates tritt allerdings keine  $\beta$ -Strahlung aus, untersucht wird also nur die (relativ intensive) monoenergetische  $\gamma$ -Strahlung. Zunächst wird die Zählrate  $Z_0$  dieser  $\gamma$ -Strahlung bestimmt. Dann werden zusätzlich Bleiplatten zunehmender Dicke  $d$  angebracht. Dabei bleibt der Abstand zwischen Zählrohr und Strahlenquelle konstant. Durch die beiden Bleiblenden „1“ und „2“ soll möglichst verhindert werden, dass neben den vom Cs-137-Präparat stammenden  $\gamma$ -Quanten auch noch Streustrahlung bzw. Sekundärelektronen ins Zählrohr gelangen.



Name: \_\_\_\_\_

Folgende Werte werden gemessen:

Bleidicke $d$ in mm	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Zählrate $Z$ pro 10 min	2467	1987	1549	1232	987	773	623	480	411	312

(Die Zählraten sind bereits um die Nullrate reduziert.)

- Stellen Sie die Messwerte grafisch dar.*
- Bestimmen Sie die Halbwertsdicke  $d_{1/2}$ .*
- Ermitteln Sie den Absorptionskoeffizienten  $\mu$ .* (12 Punkte)

**Zugelassene Hilfsmittel:**

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

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2011

## Physik, Grundkurs

---

### 1. Aufgabenart

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

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

Aufgabe 1: Definition und Messung der Feldstärke $B$ (auch Flussdichte genannt) magnetischer Felder – kontaktlose Messung großer Ströme	(50 Punkte)
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------

Aufgabe 2: Radioaktive Strahlung	(52 Punkte)
----------------------------------	-------------

### 3. Materialgrundlage

#### Versuchsmaterial und -aufbau

#### **Hinweise zum Experiment in Aufgabe 1**

Die Abhängigkeit der Stärke  $B$  des magnetischen Feldes eines langen, geraden, stromdurchflossenen Leiters von der Stromstärke  $I$  und vom Abstand  $r$  von der Leiterlängsachse soll **qualitativ** demonstriert werden. Die Auswertung soll anhand des gegebenen Materials erfolgen.

#### **Benötigte Geräte:**

- regelbare Konstantstromquelle 0 bis ca. 40 Ampere, ersatzweise z. B. viermal 0 bis 2,5 Ampere
- Demonstrationsmultimeter mit 10-Ampere-Messbereich
- Hallsonde mit Steuergerät und Anzeigeeinheit
- Stativmaterial
- diverse Laborkabel

---

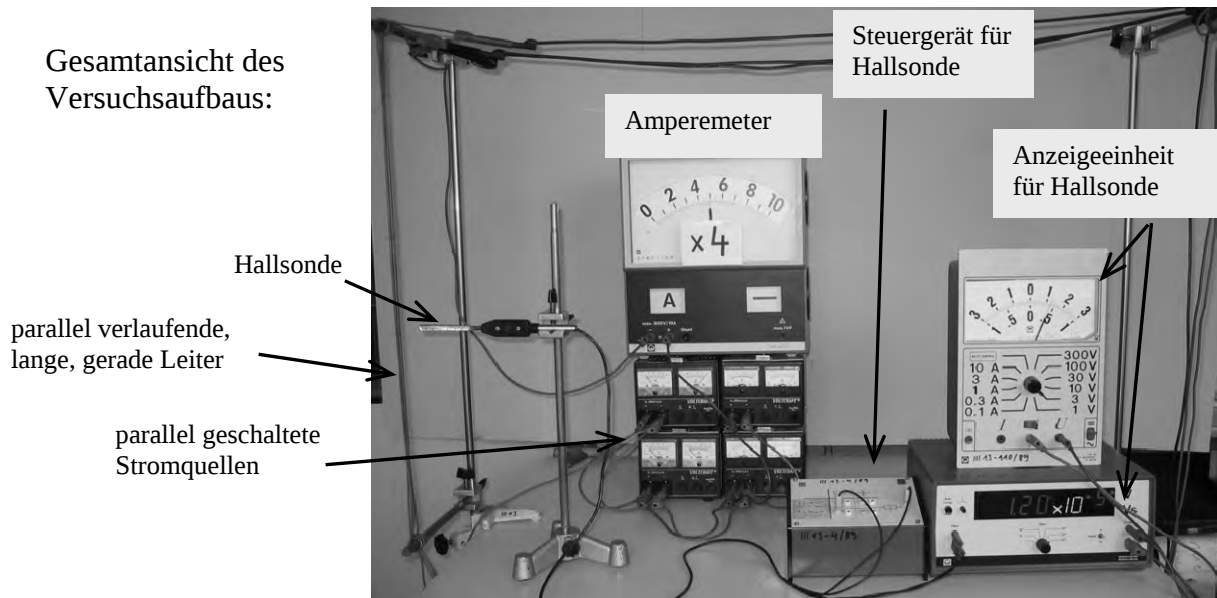
<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

**Versuchsaufbau:**

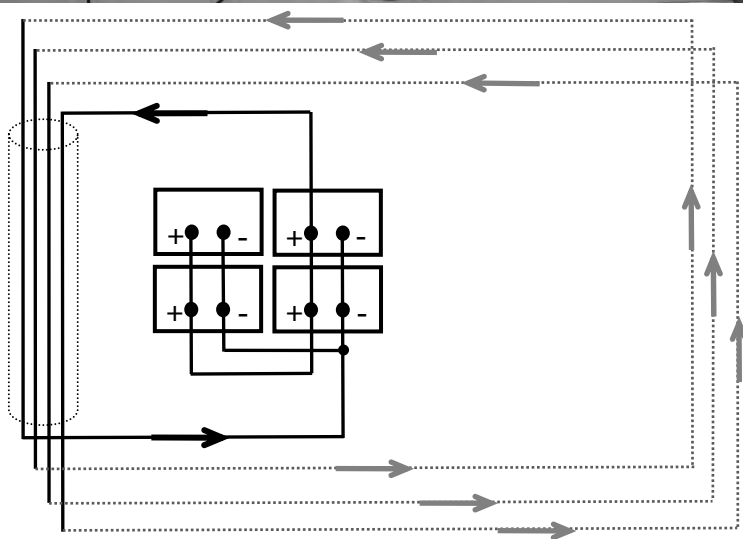
Der Aufbau erfolgt z. B. gemäß der folgenden Abbildungen.

**Hierzu sei angemerkt:** Um die Stärke des magnetischen Feldes eines langen, geraden Leiters mit einer schultypischen Hallsonde zu untersuchen, ist eine hohe Stromstärke von bis zu 40 Ampere wünschenswert. Auch wenn keine entsprechende regelbare Konstantstromquelle zur Verfügung steht, ist die gewünschte Stromstärke leicht realisierbar. Dies kann z. B. wie folgt geschehen: Vier regelbare Konstantstromquellen, die jeweils bis zu 2,5 Ampere „liefern“, werden parallel geschaltet (siehe kleine Schaltskizze unten rechts). Damit stehen maximal 10 Ampere zur Verfügung. Werden dann vier Laborkabel parallel und eng nebeneinander liegend (siehe kleine Abbildung unten links) aufgespannt und anschließend so in Reihe geschaltet, dass sie alle in gleicher Richtung von einem Strom durchflossen werden, stehen die gewünschten 40 Ampere zur Verfügung.

Gesamtansicht des Versuchsaufbaus:



Detailansicht:  
Vier parallel verlaufende, lange, gerade Leiter sowie Hallsonde



Schaltskizze zur Parallelschaltung von vier regelbaren 2,5-A-Stromquellen sowie zur Reihenschaltung der vier parallel verlaufenden, langen, geraden Leiter

***Hinweise zur Durchführung:***

Die technischen Details des Aufbaus werden den Prüflingen nicht vorgestellt, die Lehrkraft benennt lediglich die einzelnen „Funktionseinheiten“: Stromquelle; langer, gerader, stromdurchflossener Leiter; Amperemeter sowie Hallsonde mit Steuergerät und Anzeigeeinheit. Zudem erläutert die Lehrkraft, dass durch das Leiterbündel ein Gesamtstrom von bis zu 40 Ampere fließen kann und dass in Ermangelung einer einzelnen hinreichend starken Stromquelle mehrere Stromquellen eingesetzt werden. Weiterhin erläutert die Lehrkraft, dass mit einer sogenannten Hallsonde die Stärke des magnetischen Feldes, das sich um den stromdurchflossenen Leiter bildet, gemessen werden kann.

Unmittelbar vor dem Beginn der Messungen wird (bei ausgeschaltetem Leiterstrom) die Anzeige des (zumindest grob kalibrierten) Teslameters auf Null gesetzt. Um den Einfluss des Erdmagnetfeldes auf das Experiment möglichst gering zu halten, sollte die Orientierung der Hallsonde im Raum bzw. bezüglich des Erdmagnetfeldes jetzt nicht mehr geändert werden. Anschließend wird (bei entsprechender Ausrichtung der Hallsonde) demonstriert, dass die Stärke  $B$  des magnetischen Feldes des stromdurchflossenen Leiters (bei festem Abstand  $r$ ) mit zunehmender Stromstärke  $I$  wächst. Dabei ist es nicht erforderlich, auf die Proportionalität hinzuweisen oder diese exakt zu realisieren (eine häufig auftretende leichte „Nullpunkt-drift“ des Teslameters muss also während der Messung nicht mehr korrigiert werden).

Anschließend wird demonstriert, dass (bei fester Stromstärke  $I$ ) die Feldstärke  $B$  mit zunehmendem Abstand  $r$  abnimmt, dabei ist es nicht erforderlich, auf die Anti-Proportionalität hinzuweisen oder diese exakt zu realisieren.

***Hinweise zum Experiment in Aufgabe 2***

Es soll nur der erste Versuch (Abstandsgesetz) für einige (zunehmende) Entfernungen zwischen Präparat und Zählrohr vorgeführt werden. Die Auswertung soll anhand des gegebenen Materials vorgenommen werden.

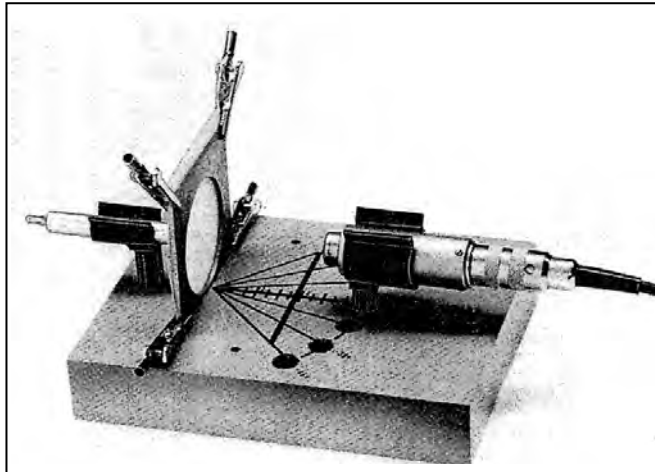
Der zweite Versuch (Absorptionsgesetz) soll nur mit Hilfe des gegebenen Materials ausgewertet werden, da die einzelnen Messungen zu lange dauern würden.

**Die Bestimmungen der StrSchV und der RISU sind zu beachten.**

**Für die Bearbeitung der Aufgabe 2 ist eine Nuklidkarte erforderlich, diese kann unter <http://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/abitur-gost/fach.php?fach=22> heruntergeladen und dann für die Prüflinge vervielfältigt werden.**

**Versuchsmaterial und -aufbau:**

Zum Beispiel gemäß nebenstehender Skizze aus der Versuchsanleitung der LEYBOLD DIDACTIC GmbH

**Benötigte Geräte:**

- Experimentiersockel (oder sonstiges Befestigungsmaterial)
- Halter für radioaktives Präparat
- Ra-226-Präparat
- Zählrohrhalter
- Fensterzählrohr
- Zählrohrkabel
- GM-Zählgerät
- Aluminiumrahmen
- Blatt Papier (ca. 7cm · 7 cm)
- Gummiband oder 4 Krokodilklemmen
- Stoppuhr
- evtl. Maßstab

**4. Bezüge zu den Vorgaben 2011****1. Inhaltliche Schwerpunkte****Aufgabe 1:**

- Ladungen und Felder
  - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke
  - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße  $B$ , Lorentzkraft (Stromwaage)
- Elektromagnetismus
  - Elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz, Veränderung von  $A$  und  $B$

**Aufgabe 2:**

- Ladungen und Felder
  - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke
  - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
- Atom- und Kernphysik
  - Ionisierende Strahlung und ihre Energieverteilung
  - Radioaktiver Zerfall (Halbwertszeitmessung, Reichweite von Gammastrahlung, Absorption von Gammastrahlung)

**2. Medien/Materialien**

- entfällt

**5. Zugelassene Hilfsmittel**

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

## 6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

### 6.1 Modellösungen

#### Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

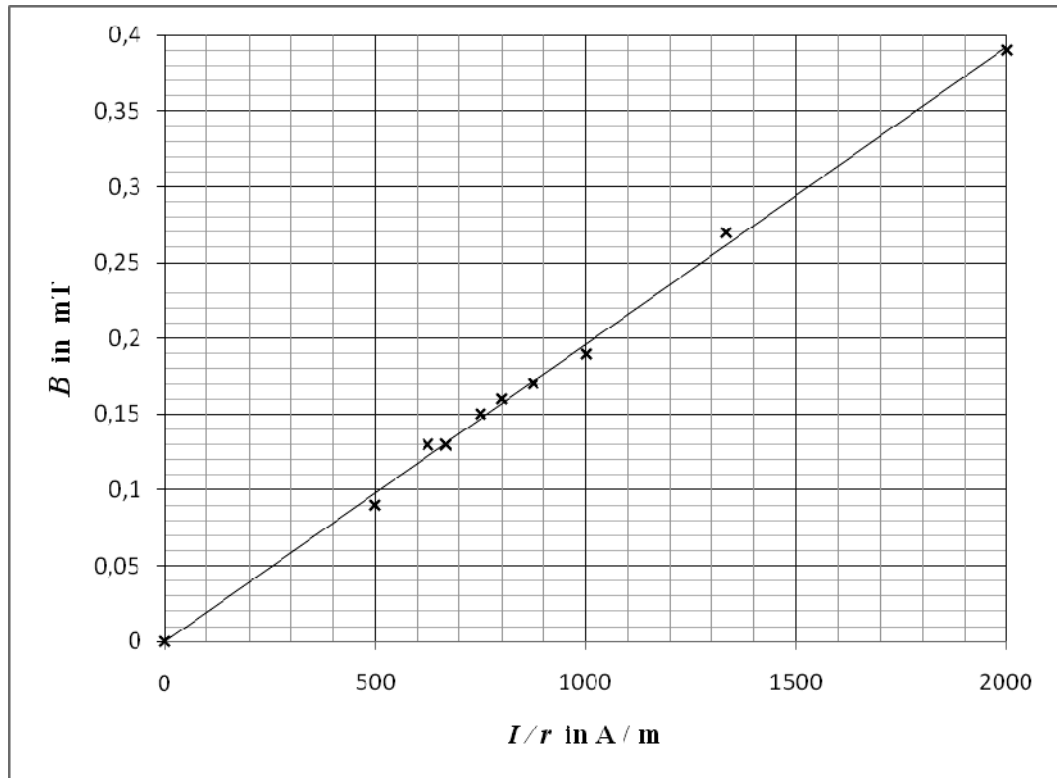
Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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 1: Definition und Messung der Feldstärke $B$ (auch Flussdichte genannt) magnetischer Felder – kontaktlose Messung großer Ströme

1.1 Der Leiterbügel befindet sich, wie in der Skizze dargestellt, mit seinem unteren „Abschnitt“ in dem homogenen Magnetfeld. Er ist so ausgerichtet, dass alle drei geraden Leiterteilstücke genau senkrecht zu  $\vec{B}$  verlaufen. Fließt ein Strom der Stärke  $I$  durch den Leiter, erfahren die drei (geraden) Leiterteilstücke jeweils eine Kraft. Wegen des symmetrischen Aufbaus gleichen sich die auf die beiden antiparallel vom Strom durchflossenen (hier „senkrechten“) Leiterteilstücke wirkenden Kräfte gegenseitig aus. Lediglich die auf das (hier) „unterste“ Teilstück wirkende magnetische Kraft  $F_{\text{mag}}$  wird vom Kraftsensor/Kraftmesser registriert. Werden diese magnetische Kraft  $F_{\text{mag}}$ , die Stromstärke  $I$  und die Länge  $l$  des „untersten“ Leiterteilstücks gemessen, so kann gemäß der Definition  $B = \frac{F_{\text{mag}}}{l \cdot I}$  die Stärke  $B$  des magnetischen Feldes bestimmt werden.

1.2 a) Gemäß  $B \sim \frac{I}{r}$  ist es sinnvoll,  $B$  gegen den Quotienten aus  $I$  und  $r$  aufzutragen und zu zeigen, dass ein linearer Zusammenhang besteht. Ist dies der Fall, kann mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden der Proportionalitätsfaktor  $k$  (Steigung der Ausgleichsgeraden) zwischen  $B$  und  $\frac{I}{r}$  ermittelt werden.



b) Aus dem Diagramm ergibt sich für die Steigung:

$$m = \frac{\Delta B}{\Delta \left( \frac{I}{r} \right)} \approx \frac{0,35 \text{ mT} - 0,00 \text{ mT}}{1790 \frac{\text{A}}{\text{m}} - 0 \frac{\text{A}}{\text{m}}} = \frac{0,35 \cdot 10^{-3} \text{ T}}{1790 \frac{\text{A}}{\text{m}}} = 0,196 \cdot 10^{-6} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

$$= 1,96 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}.$$

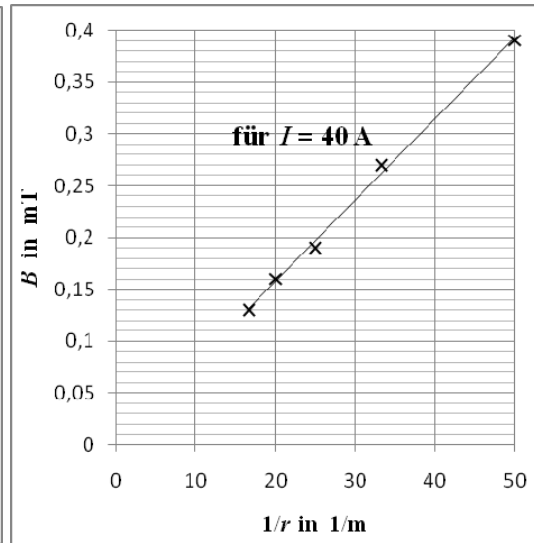
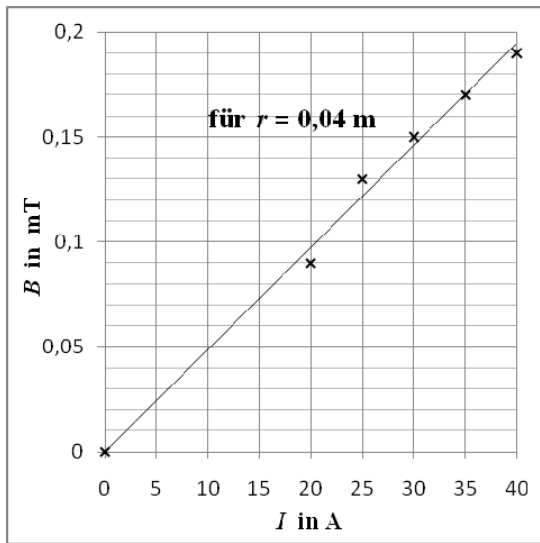
Somit folgt:  $k \approx 1,96 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}.$

**Anmerkungen für die korrigierende Lehrkraft:**

- Es ist gleichermaßen möglich, einzelne Diagramme anzufertigen, um  $B \sim I$  für  $r = 0,04 \text{ m}$  (= const) sowie  $B \sim \frac{1}{r}$  für  $I = 40 \text{ A}$  (= const) nachzuweisen, um dann aus den jeweiligen Geradensteigungen und den jeweils konstanten Parametern  $r$  bzw.  $I$  den Wert für die gesuchte Proportionalitätskonstante  $k$  zu ermitteln.
- Es ist akzeptabel, wenn der Wert für die Proportionalitätskonstante dann geringfügig von dem hier ermittelten Wert abweicht.



- Korrekturhilfen für alternative Lösungen:



$$m_{B,I} = \frac{\Delta B}{\Delta I} \approx \frac{0,193 \text{ mT}}{40 \text{ A}} \approx 4,83 \cdot 10^{-6} \frac{\text{T}}{\text{A}}$$

$$m_{B,1/r} = \frac{\Delta B}{\Delta \left(\frac{1}{r}\right)} \approx \frac{0,39 \text{ mT} - 0,13 \text{ mT}}{50 \frac{1}{\text{m}} - 17 \frac{1}{\text{m}}} \approx 7,88 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m}$$

Damit folgt für die Proportionalitätskonstante:

$$k = m_{B,I} \cdot r \approx 4,83 \cdot 10^{-6} \frac{\text{T}}{\text{A}} \cdot 0,04 \text{ m} \approx 1,93 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

$$k = \frac{m_{B,1/r}}{I} \approx \frac{7,88 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m}}{40 \text{ A}} \approx 1,97 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

- 1.3 a) Nach dem allgemeinen Induktionsgesetz gilt:  $U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi}$ . Unter der Annahme, dass der Betrag der Stärke  $B$  des magnetischen Feldes über der Querschnittsfläche  $A$  der Induktionsspule konstant ist und stets  $\vec{B} \parallel \vec{A}$  gilt, folgt für den magnetischen Fluss  $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B \cdot A$ . Wegen der zeitlichen Konstanz von  $A$  ist somit:  $U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot \dot{\Phi} = -n \cdot \frac{d}{dt}(A \cdot B(t)) = -n \cdot A \cdot \dot{B}(t)$ .

Mit  $B_{\text{gerader Leiter}}(t) = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I(t)}{r}$  und  $B_{\text{im Eisenkern}}(t) = \mu_r \cdot B_{\text{gerader Leiter}}(t)$  ergibt sich

somit für die in der kleinen Spule induzierte Spannung die Beziehung

$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A \cdot \frac{d}{dt} \left( \mu_r \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I(t)}{r} \right) = -n \cdot A \cdot \frac{d}{dt} \left( \mu_r \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)}{r} \right) = \dots$$

$$\dots = -n \cdot A \cdot \left( \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_0}{r} \right) \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Aus Gründen der didaktischen Reduktion wird hier bewusst nicht thematisiert, dass  $\mu_r$  nur näherungsweise bzw. nur wegen der geringen „Aussteuerung“ als konstant angesehen werden kann.

- 1.3 b) Dem Diagramm in Abbildung 4 entnimmt man:

$$T = 0,025 \text{ s} - 0,005 \text{ s} = 0,02 \text{ s} \quad \text{und} \quad U_0 \approx 0,33 \text{ V.}$$

$$\text{Damit folgt für die Frequenz: } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,02 \text{ s}} = 50 \text{ Hz.}$$

Für die Induktionsspannung-Zeit-Funktion gilt:

$$U_{\text{ind}}(t) = -0,33 \text{ V} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t\right) \text{ und gemäß Teilaufgabe a) auch}$$

$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_0}{r} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

$$\text{Durch Koeffizientenvergleich erhält man: } -n \cdot A \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_0}{r} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T} = -0,33 \text{ V}$$

$$\text{und nach Umformen: } I_0 = \frac{0,33 \text{ V} \cdot T \cdot r}{n \cdot A \cdot \mu_r \cdot \mu_0}$$

$$\text{Einsetzen ergibt: } I_0 = \frac{0,33 \text{ V} \cdot 0,02 \text{ s} \cdot 0,04 \text{ m} \cdot \text{A}}{100 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 600 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \text{T} \cdot \text{m}}$$

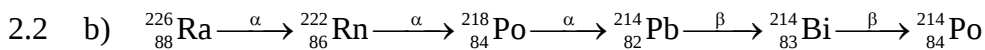
$$I_0 = 35 \frac{\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}}{\text{m}^2 \cdot \text{T}} = 35 \frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{As}} \cdot \text{s} \cdot \text{A}}{\text{m}^2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}} = 35 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m} \cdot \frac{\text{N}}{\text{A}}} = 35 \text{ A}$$

- 1.3 c) Wird der lange, gerade Leiter von einem zeitlich konstanten Gleichstrom durchflossen, so ist er von einem zeitlich nicht veränderlichen Magnetfeld umgeben. Gemäß Induktionsgesetz entsteht in der kleinen Induktionsspule nur dann eine Induktionsspannung, wenn sich der magnetische Fluss, der die Spule durchsetzt, ändert. Da sich aber weder die Spulenquerschnittsfläche noch die Stärke  $B$  des magnetischen Feldes ändern, ist der magnetische Fluss zeitlich konstant und die Induktionsspannung somit stets gleich Null.

**Modelllösungen Aufgabe 2: Radioaktive Strahlung**

2.1 Die durch das dünne Glimmerfenster einfallende Strahlung ionisiert zunächst einige Atome der Gasfüllung des Zählrohres. Die freigesetzten Elektronen werden im elektrischen Feld zum positiv geladenen Draht hin beschleunigt. Dabei nimmt ihre kinetische Energie zu. Auf ihrem Weg zum positiven Draht stoßen sie mit weiteren Gasatomen zusammen, wodurch diese ionisiert werden können ( $\rightarrow$  Stoßionisation). So entstehen immer mehr freie Ladungsträger (Elektronen und positive Ionen) in dem elektrischen Feld zwischen positivem Draht und der negativen Hülle des Zählrohres. Die Folge ist ein „Stromstoß“, der am Widerstand  $R$  einen Spannungsimpuls erzeugt. Dieser wird mit einem geeigneten Zähler registriert und gezählt.

2.2 a) und



2.2 c) Nach  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Zerfällen befinden sich die Tochterkerne vieler Nuklide zunächst noch in einem energetisch angeregten Zustand. Von diesem angeregten Zustand aus gehen die Tochterkerne dann unter Aussendung von  $\gamma$ -Strahlung in ihren jeweiligen Grundzustand über. Dies erfolgt zum Teil auch in mehreren Schritten, sodass mehrere  $\gamma$ -Quanten mit jeweils unterschiedlichen Energiewerten abgestrahlt werden.

- 2.3 a) Wenn eine Größe zu einer anderen Größe proportional ist, muss der Quotient aus diesen beiden Größen konstant sein; bei gemessenen Größen muss dieser Quotient wegen möglicher Messfehler natürlich nur ungefähr konstant sein.

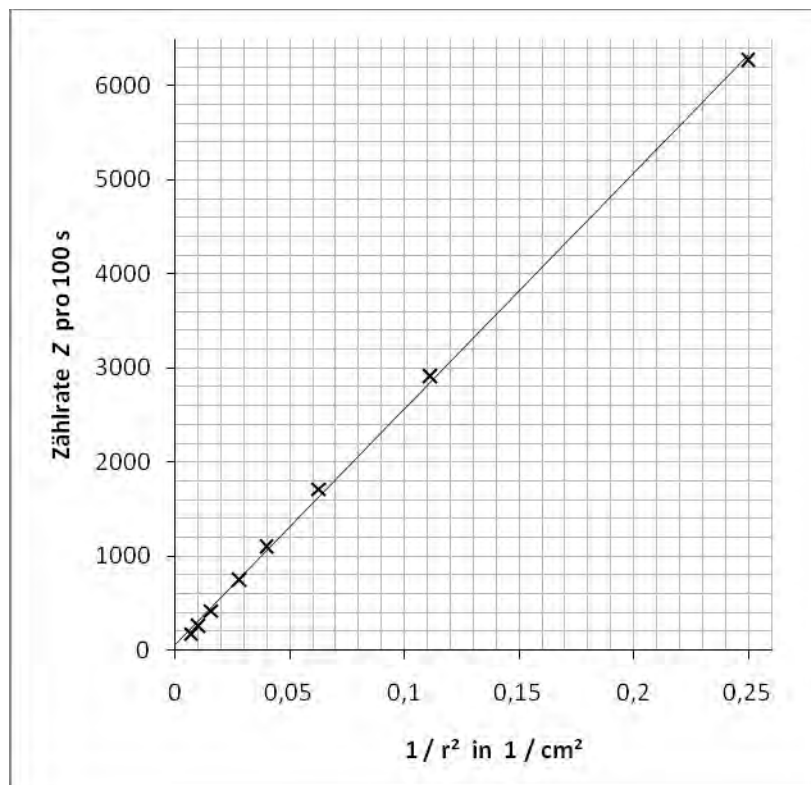
Zu überprüfen ist somit, ob der Quotient  $\frac{Z}{\frac{1}{r^2}}$ , also das Produkt  $Z \cdot r^2$ , für alle

Messwerte ungefähr konstante Ergebnisse liefert:

Abstand $r$ in cm	2	3	4	5	6	8	10	12
Zählrate $Z$ pro 100 s	6277	2913	1710	1102	748	415	261	174
$Z \cdot r^2$ in $\text{cm}^2$	25108	26217	27360	27550	26928	26560	26100	25056

Wie die letzte Zeile der Tabelle zeigt, ist dies (im Rahmen der Messgenauigkeit) der Fall, also ist die Zählrate umgekehrt proportional zum Abstandsquadrat.

Alternativ kann auch in einem Diagramm  $Z$  gegen  $1/r^2$  aufgetragen werden; der Graph/die Ausgleichsgerade ist dann (nahezu) eine Ursprungsgerade.



- 2.3 b) Die Reichweite von  $\alpha$ -Strahlung in Luft beträgt deutlich weniger als 10 cm. Ohne Papierabschirmung tragen daher bei geringen Abständen alle drei Strahlungskomponenten zur Zählrate bei, während bei größeren Abständen nur noch die  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung registriert werden. Wegen des hohen Anteils an  $\alpha$ -Strahlung würden die Zählraten ohne Papierabschirmung bei kleinen Abständen also deutlich größer sein, während sie ab ca. 5 bis 8 cm gleich den Zählraten mit der Papierabschirmung sein würden. (Die Papierabschirmung hat auf die  $\beta$ - und die  $\gamma$ -Strahlung nahezu keine Auswirkung). Ohne die Papierabschirmung würde die Verringerung der Zählraten also nicht ausschließlich auf dem geometrisch bedingten Abstandseffekt, sondern im Hinblick auf die  $\alpha$ -Strahlung auch auf der Absorption in der Luft beruhen, welche für  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung fast keine Rolle spielt. Es würde sich daher kein quadratisches Abstandsgesetz ergeben.

**Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:**

Es wird nicht erwartet, dass das Ionisationsvermögen der  $\alpha$ -Strahlung oder gar dessen Energieabhängigkeit in die Argumentation einbezogen werden.

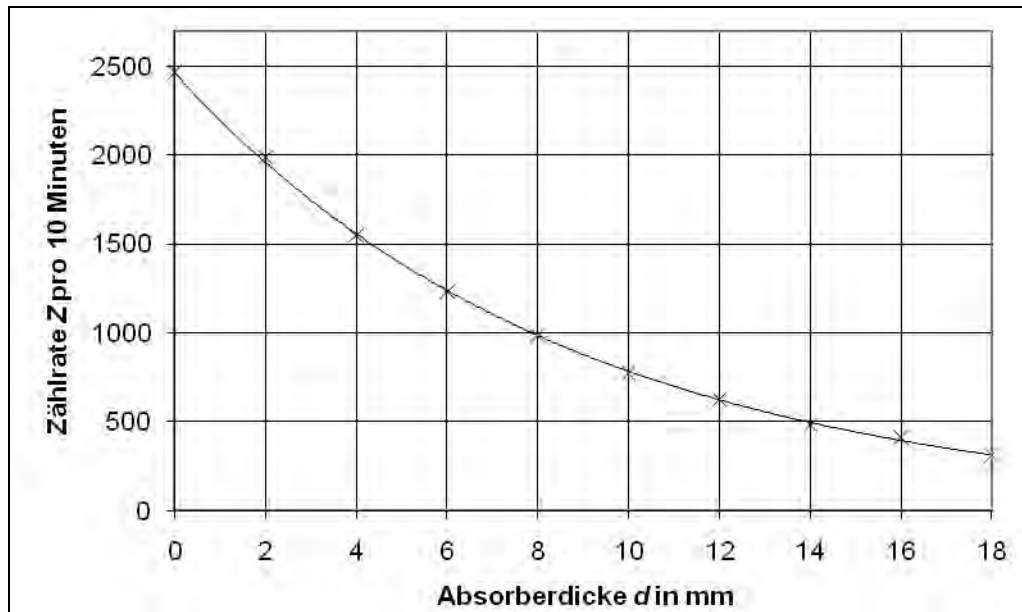
- 2.4 a) Die Halbwertsdicke ist die Dicke, die ein Absorbermaterial haben muss, um die Intensität einer bestimmten Strahlung auf die Hälfte zu reduzieren.
- 2.4 b) Die Halbwertsdicke hängt ab von der Energie der Strahlung sowie vom Material, aus dem der Absorber besteht.

- 2.4 c) Aus  $Z(d_{1/2}) = Z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d_{1/2}} = \frac{Z_0}{2}$  folgt  $e^{-\mu \cdot d_{1/2}} = \frac{1}{2}$  und nach logarithmieren

$$\ln(e^{-\mu \cdot d_{1/2}}) = \ln\left(\frac{1}{2}\right), \text{ also } -\mu \cdot d_{1/2} = \ln 1 - \ln 2 = 0 - \ln 2 = -\ln 2,$$

und somit gilt  $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$ .

2.5 a) Es ergibt sich folgende grafische Darstellung:



2.5 b) Aus dem Diagramm bzw. unmittelbar aus den Messwerten ergibt sich, dass die Halbwertsdicke  $d_{1/2} \approx 6$  mm beträgt, denn nach jeweils 6 mm ist die Zählrate auf ungefähr die Hälfte gefallen.

2.5 c) Mit  $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$  ergibt sich für den Absorptionskoeffizienten  $\mu = \frac{\ln 2}{d_{1/2}}$  und mit

der Halbwertsdicke  $d_{1/2} \approx 6$  mm folgt  $\mu \approx \frac{\ln 2}{6 \text{ mm}} \approx 0,116 \frac{1}{\text{mm}}$ .

## 6.2 Teilleistungen – Kriterien

### Aufgabe 1: Definition und Messung der Feldstärke $B$ (auch Flussdichte genannt) magnetischer Felder – kontaktlose Messung großer Ströme

#### Teilaufgabe 1.1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	beschreibt, wie mit der gezeigten Anordnung die Stärke $B$ eines räumlich ausgedehnten homogenen Magnetfeldes gemessen werden kann.	9

#### Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	zeigt mit Hilfe einer grafischen Auswertung der Messwerte, dass die Beziehung $B \sim \frac{I}{r}$ in guter Näherung erfüllt ist.	11
b)	ermittelt ausgehend von der grafischen Auswertung der Messwerte den Wert für die Proportionalitätskonstante.	8

#### Teilaufgabe 1.3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	leitet, ausgehend vom allgemeinen Induktionsgesetz und unter Verwendung der Terme für $I(t)$ und $B_{\text{gerader Leiter}}$ , die angegebene Beziehung für $U_{\text{ind}}(t)$ her.	9
b)	bestimmt die Frequenz $f$ und die Amplitude $I_0$ .	9
c)	begründet, warum das in dieser Teilaufgabe dargestellte Verfahren zur Bestimmung von zeitlich konstanten Gleichströmen nicht geeignet ist.	4

### Aufgabe 2: Radioaktive Strahlung

#### Teilaufgabe 2.1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erläutert die Funktionsweise eines GM-Zählrohres.	6

**Teilaufgabe 2.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	ermittelt anhand der Nuklidkarte die Zerfallsreihe vom Ra 226 über die diversen Zerfallsprodukte bis hin zu Po 214.	5
b)	gibt für jeden Zerfall die Zerfallsart an.	2
c)	erläutert, wieso das Ra-226-Präparat auch $\gamma$ -Strahlung unterschiedlicher Energiewerte aussendet, obwohl in dem wiedergegebenen Ausschnitt einer Nuklidkarte nur $\alpha$ - und $\beta$ -Zerfälle dargestellt werden.	3

**Teilaufgabe 2.3**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	zeigt, dass der Zusammenhang zwischen der Zählrate $Z$ und dem Abstand $r$ durch die Beziehung $Z \sim \frac{1}{r^2}$ beschrieben werden kann.	6
a2)	erläutert sein Vorgehen.	3
b)	erläutert, wie sich ein Verzicht auf die Abschirmung der Alpha-Teilchen auf die Messergebnisse auswirken würde, geht dazu insbesondere auf die physikalischen Ursachen für diese Auswirkungen ein.	5

**Teilaufgabe 2.4**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erläutert den Begriff der Halbwertsdicke $d_{1/2}$ .	2
b)	gibt zwei Faktoren an, die Einfluss auf die Halbwertsdicke haben.	2
c)	leitet ausgehend vom Absorptionsgesetz die Beziehung $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$ her.	6

**Teilaufgabe 2.5**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	stellt die Messwerte grafisch dar.	6
b)	bestimmt die Halbwertsdicke $d_{1/2}$ .	3
c)	ermittelt den Absorptionskoeffizienten $\mu$ .	3



## 7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

### Aufgabe 1: Definition und Messung der Feldstärke B (auch Flussdichte genannt) magnetischer Felder – kontaktlose Messung großer Ströme

#### Teilaufgabe 1.1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	beschreibt, wie mit ...	9			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.1</b>	<b>9</b>			

#### Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	zeigt mit Hilfe ...	11			
b)	ermittelt ausgehend von ...	8			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.2</b>	<b>19</b>			

#### Teilaufgabe 1.3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	leitet, ausgehend vom ...	9			
b)	bestimmt die Frequenz ...	9			
c)	begründet, warum das ...	4			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.3</b>	<b>22</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 1.1, 1.2 und 1.3</b>	<b>50</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Aufgabe 2: Radioaktive Strahlung****Teilaufgabe 2.1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erläutert die Funktionsweise ...	6			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.1</b>	<b>6</b>			

**Teilaufgabe 2.2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	ermittelt anhand der ...	5			
b)	gibt für jeden ...	2			
c)	erläutert, wieso das ...	3			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.2</b>	<b>10</b>			

**Teilaufgabe 2.3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a1)	zeigt, dass der ...	6			
a2)	erläutert sein Vorgehen.	3			
b)	erläutert, wie sich ...	5			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.3</b>	<b>14</b>			

**Teilaufgabe 2.4**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	erläutert den Begriff ...	2			
b)	gibt zwei Faktoren ...	2			
c)	leitet ausgehend vom ...	6			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.4</b>	<b>10</b>			

**Teilaufgabe 2.5**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	stellt die Messwerte ...	6			
b)	bestimmt die Halbwertsdicke $d_{1/2}$ .	3			
c)	ermittelt den Absorptionskoeffizienten $\mu$ .	3			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.5</b>	<b>12</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5</b>	<b>52</b>			
	<b>Summe der 1. und 2. Aufgabe</b>	<b>102</b>			

	<b>Summe insgesamt</b>	<b>102</b>			
	<b>aus der Punktsomme resultierende Note</b>				
	<b>Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST</b>				
	<b>Paraphe</b>				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktsommen aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

ggf. arithmetisches Mittel der Notenuurteile 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:

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
sehr gut plus	15	102 – 97
sehr gut	14	96 – 92
sehr gut minus	13	91 – 87
gut plus	12	86 – 82
gut	11	81 – 77
gut minus	10	76 – 72
befriedigend plus	9	71 – 67
befriedigend	8	66 – 62
befriedigend minus	7	61 – 56
ausreichend plus	6	55 – 51
ausreichend	5	50 – 46
ausreichend minus	4	45 – 40
mangelhaft plus	3	39 – 34
mangelhaft	2	33 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 21
ungenügend	0	20 – 0



Name: \_\_\_\_\_

# Abiturprüfung 2011

## Physik, Grundkurs

---

### Aufgabenstellung:

#### Aufgabe 1: Der Doppelspalt

##### 1.1 Interferenzen bei Licht

In einem ersten Experiment untersucht man Interferenzen von sichtbarem Licht, das einen Doppelspalt durchläuft.

Der verwendete Doppelspalt hat einen Spaltabstand von  $d = 0,57 \text{ mm}$ . Der Schirm, auf dem die Interferenzen beobachtet werden können, kann in verschiedenen Entfernungen  $e$  vom Doppelspalt aufgestellt werden (Abbildung 1). Hierbei ist die verwendete Lichtwellenlänge  $\lambda$  sehr viel kleiner als der Spaltabstand  $d$  und der Spaltabstand  $d$  wiederum sehr viel kleiner als die Entfernung  $e$ .

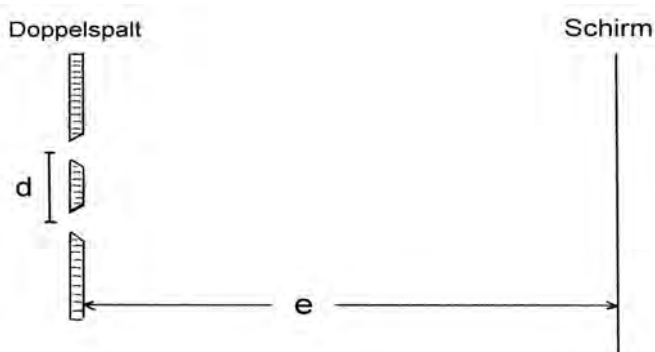


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau des Doppelspaltexperiments (nicht maßstäblich gezeichnet)

Der Doppelspalt wird mit monochromatischem Licht der Wellenlänge  $\lambda$  beleuchtet. Der Schirm wird in drei verschiedenen Entfernungen aufgestellt und darauf werden die entstehenden Hell- und Dunkelstellen fotografiert. Zur Messung wird ein Längenmaßstab mit cm-Einteilung unterlegt. Die drei entstandenen Interferenzbilder sind in Abbildung 2 dargestellt.



Name: \_\_\_\_\_

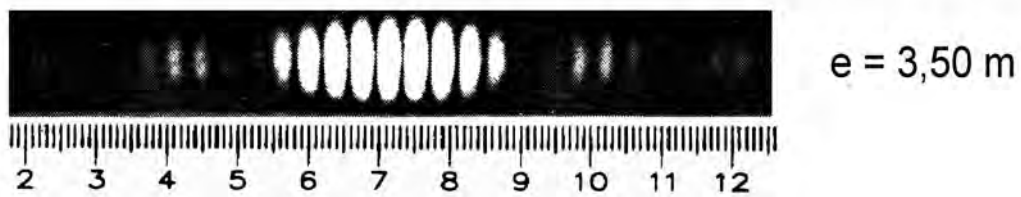
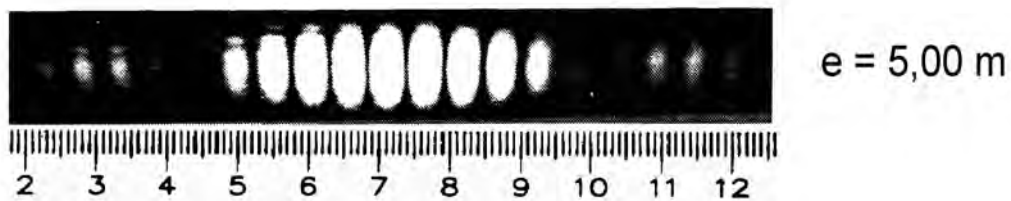
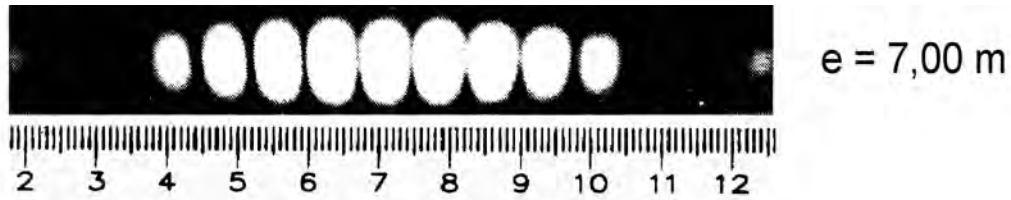


Abbildung 2: Interferenzbilder für drei verschiedene Schirmentfernungen  $e$   
(Quelle: Materialien zum Kursunterricht Physik, Teil 2, Aulis-Verlag, 1980, geändert)

- Erläutern Sie, warum auf dem Schirm Hell- und Dunkelbereiche entstehen.  
(Gehen Sie dabei davon aus, dass die Spaltbreiten vernachlässigbar klein sind.)
- Erläutern Sie, warum die Abfolge der Hell- und Dunkelstellen symmetrisch zum Maximum der Ordnung Null ist. Erläutern Sie dazu auch das Zustandekommen des Maximums der Ordnung Null.
- Für die Entfernung  $a_n$  des Maximums  $n$ -ter Ordnung von der Mitte der Interferenzfigur gilt näherungsweise (für kleine Winkel  $\alpha_n$ ):

$$a_n = \frac{n \cdot e \cdot \lambda}{d}$$

Leiten Sie diese Gleichung anhand einer geeigneten Skizze her und erläutern Sie Ihre Herleitungsschritte.

- Ermitteln Sie aus der Abbildung 2 für die drei Interferenzfiguren jeweils die Wellenlänge. (27 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

## 1.2 Interferenzen beim Schall

In einem zweiten Experiment werden – analog zum Doppelspaltexperiment mit sichtbarem Licht – akustische Phänomene mit Schallwellen untersucht. Dazu erzeugen zwei als punktförmig betrachtete Lautsprecher  $L_1$  und  $L_2$  (an den mit  $x$  bezeichneten Stellen) phasengleich Schall derselben Frequenz  $f$  und derselben Intensität. Die beiden Lautsprecher haben den gegenseitigen Abstand  $d$  voneinander. Es werden die Interferenzphänomene betrachtet, die in einer Ebene stattfinden, in der auch die Lautsprecher liegen. Diese Ebene ist hier die Zeichenebene.

- a) In der Abbildung 3 ist ein Teil des sich in der Zeichenebene nach rechts ausbreitenden Interferenzfeldes der beiden Schallwellen zu einem festen Zeitpunkt dargestellt.

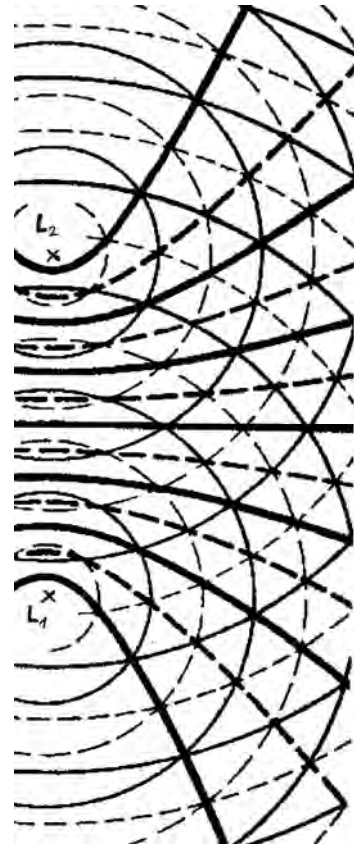


Abbildung 3: Das Interferenzfeld zweier Schallquellen

Die dünn gezeichneten durchgezogenen Kreise stellen „Wellenberge“ der Schallwellen dar, die dünn gezeichneten gestrichelten Kreise stellen „Wellentäler“ dar.

*Beschreiben Sie die Interferenzergebnisse entlang der dick gezeichneten durchgezogenen Linien und entlang der dick gezeichneten gestrichelten Linien.*

*Beschreiben Sie damit die örtliche Verteilung der Schallwellenenergie im Interferenzfeld.*

- b) Nun wird das Lautsprechersystem mit konkreten Werten betrachtet: Die Frequenz der ausgesandten Schallwellen beträgt  $f = 1134 \text{ Hz}$ . Der Lautsprecherabstand beträgt  $d = 0,75 \text{ m}$ .

*Berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda$  der Schallwellen. Verwenden Sie als Schallausbreitungsgeschwindigkeit den Wert  $c = 340 \text{ m/s}$ .*

[Kontrollwert:  $\lambda = 0,300 \text{ m}$ ]



Name: \_\_\_\_\_

- c) Abbildung 4 zeigt den Bereich zwischen den beiden Lautsprechern mit den Punkten 1, 2, 3 und 4. Die Abbildung ist maßstäblich gezeichnet (die Länge eines Kästchens entspricht 2,5 cm), sodass daraus die Lagen der 4 Punkte entnommen werden können.

**Hinweis:**

Beachten Sie, dass das Interferenzfeld der beiden Schallwellen für diese konkreten Werte anders verläuft als das in Abbildung 3 allgemein dargestellte Interferenzfeld.

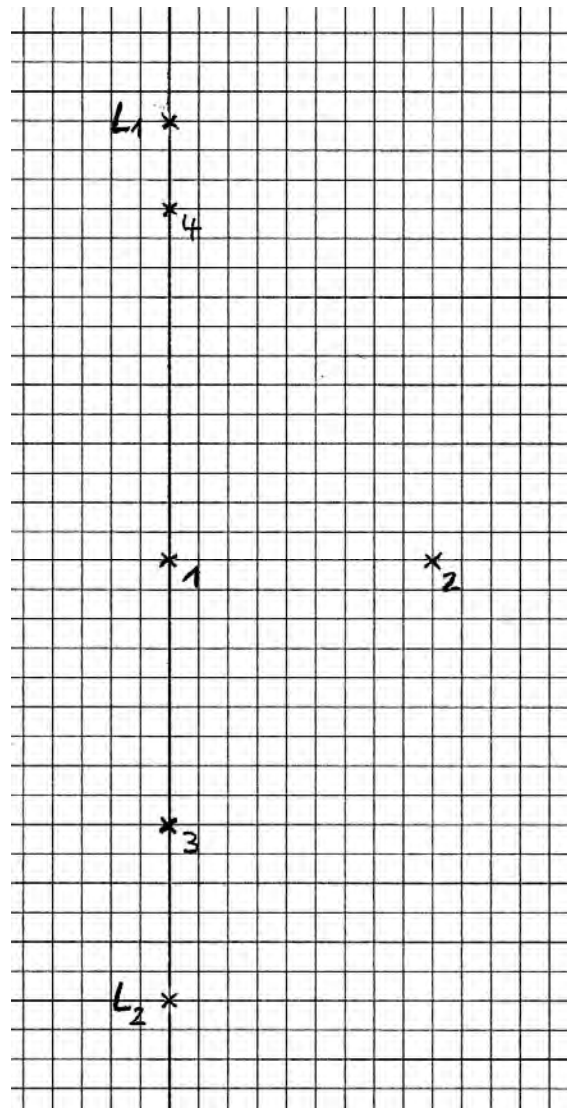


Abbildung 4: Lage der Punkte im Interferenzfeld

Geben Sie für diese vier Punkte an, welches Ergebnis die Interferenz der beiden sich überlagernden Schallwellen dort jeweils hat.

**Hinweis:** Die Skizze ist maßstäblich gezeichnet.

Begründen Sie jeweils Ihre Antwort.

- d) Beschreiben Sie, wie sich das Interferenzfeld ändert, wenn die beiden Lautsprecher die Schallwellen gegenphasig aussenden, sich also die Lautsprechermembranen zu jedem Zeitpunkt genau gegenläufig bewegen. (23 Punkte)

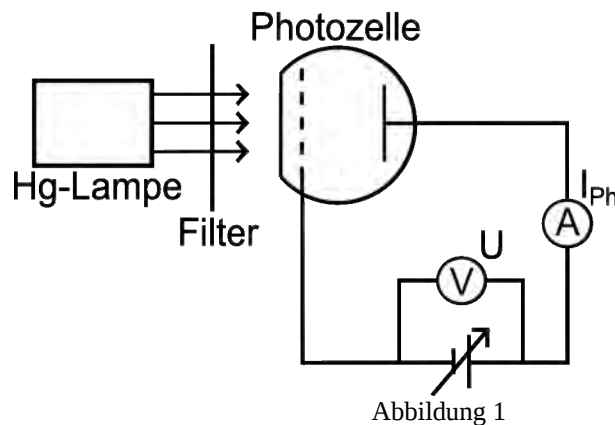




Name: \_\_\_\_\_

## Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt

2.1 Zur quantitativen Untersuchung des lichtelektrischen Effekts dient folgender Versuchsaufbau:



- a) Beschreiben Sie anhand der Skizze den Aufbau und die Durchführung des Versuchs zum Photoeffekt mit der sogenannten Gegenfeldmethode. Gehen Sie dabei insbesondere auf die Bestimmung der maximalen kinetischen Energie der Elektronen ein.

Bei der Durchführung des Experiments ergeben sich die folgenden Messdaten:

Wellenlänge $\lambda$ in nm	578	546	436	405	253
Frequenz $f$ in $10^{14}$ Hz	5,19	5,49	6,88	7,40	11,85
Gegenspannung $U$ in V	0,16	0,30	0,82	1,04	2,77

- b) Stellen Sie die Energie der Elektronen (in eV) in Abhängigkeit von der Frequenz des Lichts grafisch dar.
- c) Deuten Sie den entstandenen Graphen im Rahmen der Einstein'schen Lichtquantenhypothese.
- d) Bestimmen Sie unter Berücksichtigung aller Messwerte die Austrittsarbeit  $W_A$  und die Grenzfrequenz  $f_G$  des verwendeten Kathodenmaterials sowie das Planck'sche Wirkungsquantum  $h$ .

[Kontrollergebnis:  $W_A = 1,86$  eV]

(33 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

2.2 Die Photokathode werde mit dem monochromatischen Licht eines Lasers der Wellenlänge 532 nm bestrahlt. Der Laser habe eine Lichtleistung von 1 mW.

- Berechnen Sie die Anzahl von Photonen, die der Laser in einer Sekunde aussendet.
- Der zuvor verwendete Laser werde durch einen Laser gleicher Lichtleistung mit der Wellenlänge 405 nm (Blu-Ray-Laser) ersetzt.

Erläutern Sie qualitativ den Einfluss auf die maximale Geschwindigkeit der ausgelösten Elektronen. (7 Punkte)

2.3 Die Photozelle werde nun durch ein homogenes, regelbares Magnetfeld der Stärke  $B$  mit Feldlinien parallel zur Photokathode und zur Gitteranode durchsetzt (siehe Abbildung 2). Photokathode und Gitteranode haben den Abstand  $d$ , zwischen ihnen liegt keine äußere Spannung an. Die Frequenz  $f$  des einfallenden Lichts und die Auslösearbeit  $W_A$  werden als bekannt vorausgesetzt. Die Stärke  $B$  des magnetischen Feldes wird nun während der Bestrahlung langsam erhöht.

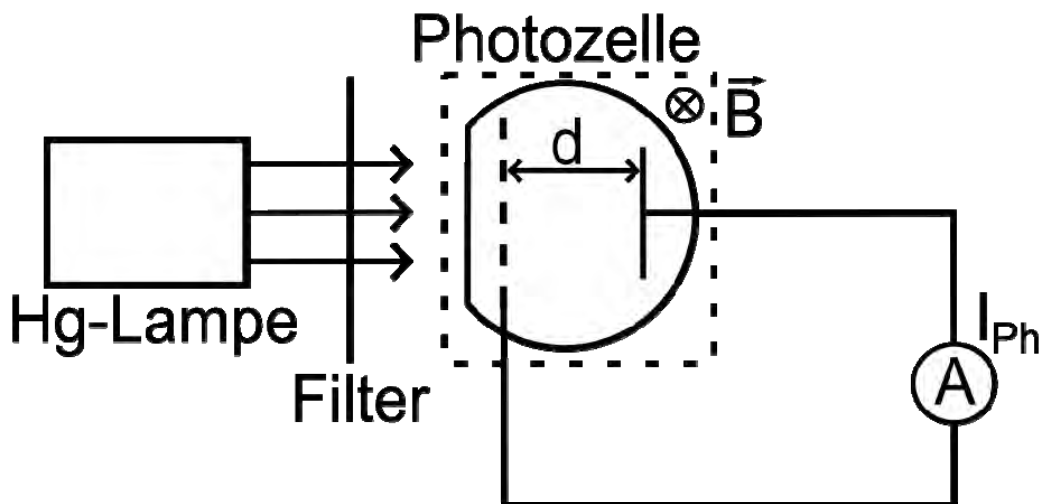


Abbildung 2 (Der gestrichelt umrandete Bereich wird vom angegebenen Magnetfeld durchsetzt.)

- Zeichnen Sie in Abbildung 2 die Flugbahn eines aus der Kathode senkrecht austretenden Elektrons ein und begründen Sie den Bahnverlauf.
- Erläutern Sie, warum bei zunehmender Stärke  $B$  des magnetischen Feldes immer weniger Elektronen die Anode erreichen. (12 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

**Zugelassene Hilfsmittel:**

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

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2011

## Physik, Grundkurs

---

### 1. Aufgabenart

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

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

Aufgabe 1: Der Doppelspalt	(50 Punkte)
Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt	(52 Punkte)

### 3. Materialgrundlage

#### Versuchsmaterial und -aufbau

#### **Hinweise zum Experiment in Aufgabe 1**

Hierzu wird der Aufbau des Doppelspaltexperiments mit sichtbarem Licht empfohlen, so dass die Prüflinge sich noch einmal die Interferenzfigur auf dem Schirm anschauen können.

#### **Hinweise zum Experiment in Aufgabe 2, insbesondere Aufgabe 2.3**

Das Experiment ist nach Möglichkeit aufzubauen, um den in Aufgabe 2.3 thematisierten Vorgang qualitativ vorzuführen. Gleichzeitig haben die Schülerinnen und Schüler damit auch den grundsätzlichen Aufbau des Versuchs zu Aufgabe 2.1 real vor Augen.

Der Versuchsaufbau zu Aufgabe 2.3 besteht aus dem bekannten Experiment zur Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums mit einer Photozelle, wobei auf die Gegenspannung verzichtet wird und sich stattdessen die Photozelle im Magnetfeld eines Helmholtzspulenpaares befindet (siehe Photo unten).

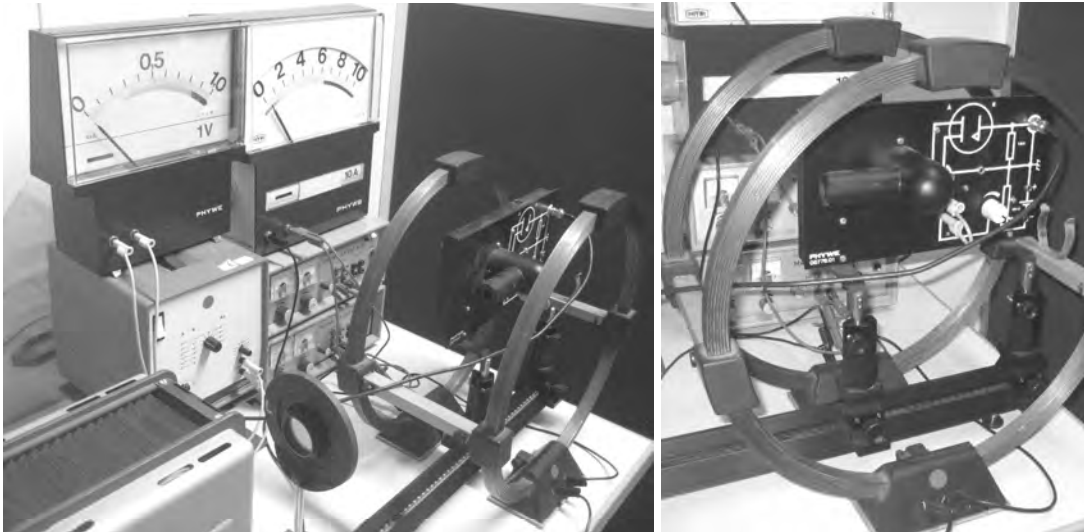
Die Schülerinnen und Schüler sollten vor Durchführung des Experiments zunächst auf die im Vergleich zum klassischen Versuch fehlende Gegenspannung hingewiesen werden. Anschließend wird, dem einleitenden Text von Aufgabe 2.3 entsprechend, der Spulenstrom langsam erhöht und die Veränderung des Photostroms beobachtet.

Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass Aufgabe 2.3 zwar von einer stark vereinfachten Geometrie der Photozelle ausgeht, der dort diskutierte Zusammenhang dennoch qualitativ nachvollzogen werden kann.

---

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

Im unten abgebildeten Versuch wurde bei verschiedenen Wellenlängen und einer maximalen Stärke des Magnetfeldes von 2,7 mT ein Rückgang des Photostroms um 80 bis 90 % gegenüber dem Photostrom ohne Magnetfeld beobachtet.



#### 4. Bezüge zu den Vorgaben 2011

##### 1. Inhaltliche Schwerpunkte

###### Aufgabe 1:

- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen einschließlich Resonanz
  - Interferenz (Mikrowelleninterferenz, Wellenwanne, Lichtbeugung am Spalt, Doppelspalt und Gitter, Wellenlängenmessung)

###### Aufgabe 2:

- Quanteneffekte
  - Lichtelektrischer Effekt und Lichtquantenhypothese ( $h$ -Bestimmung mit Photozelle und Gegenfeldmethode)
- 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

## 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.

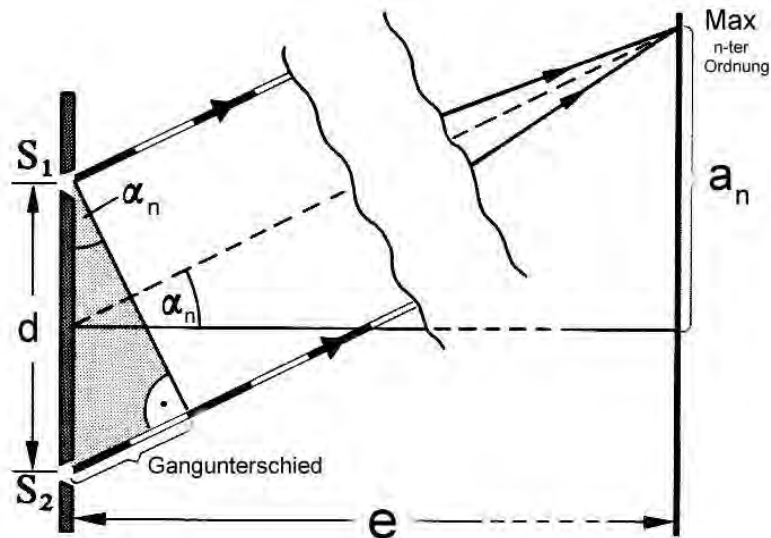
Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

#### Modellösungen Aufgabe 1: Der Doppelspalt

- 1.1 a) Die beiden Wellen überlagern sich hinter dem Doppelspalt und es kommt zu Interferenzerscheinungen. Dabei gibt es je nach Gangunterschied zwischen den beiden Wellen Stellen von Verstärkung und Stellen von Auslöschung.
  
- 1.1 b) Die Mittellinie ist die Linie, entlang derer jeder Punkt gleich weit von den beiden Spalten entfernt ist. Deshalb ist hier der Gangunterschied zwischen den beiden Wellenzügen überall gleich Null und es kommt zu maximaler Verstärkung (oder: zu maximaler konstruktiver Interferenz). Betrachtet man Bereiche auf einer Seite neben der Mittellinie, so nimmt nach außen hin der Gangunterschied zwischen den Wellen kontinuierlich zu. Diese Zunahme des Gangunterschieds verläuft zur anderen Seite der Mittellinie genauso.

- 1.1 c) Die Skizze zum Doppelspalt soll alle relevanten Größen enthalten, mit denen die Gleichung hergeleitet wird.

**Hinweis:** Hier wird nur der Bereich hinter dem Doppelspalt betrachtet. Es wird wie im Unterricht vorausgesetzt, dass die einlaufende Welle monochromatisch, parallel und kohärent sein soll.



(Quelle: Dorn-Bader Physik, Oberstufe 12/13, 1986, Schroedel-Verlag, geändert)

Für Maxima gilt: Gangunterschied  $\Delta s = n \cdot \lambda$ .

(Äquivalente Skizzen, die die relevanten Größen enthalten, sind ebenfalls als richtig zu werten, auch, wenn sie nicht das Zusammenlaufen der Wellenstrahlen zu einem Punkt zeigen.)

Aus den beiden Dreiecken erhält man die beiden Gleichungen:

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

Da laut Vorgabe die Wellenlänge sehr viel kleiner ist als der Spaltabstand, sind die Beugungswinkel sehr klein und man kann den Sinus des Beugungswinkels gleich dem Tangens desselben Beugungswinkels setzen. Daraus folgt:

$$\sin \alpha_n = \tan \alpha_n \Rightarrow \frac{n \cdot \lambda}{d} = \frac{a_n}{e} \Rightarrow a_n = \frac{e \cdot n \cdot \lambda}{d}.$$

- 1.1 d) Wählt man zum Beispiel das Maximum 1. Ordnung aus, so erhält man durch Ablesen auf dem unterlegten Maßstab etwa den folgenden Wert:

für  $e = 7$  m Schirmabstand:  $a_1 = 0,75$  cm .

Dies ist in die Gleichung aus Aufgabenteil c), die nach  $\lambda$  aufzulösen ist, einzusetzen:

$$\lambda = \frac{a_n \cdot d}{n \cdot e}$$

$$\lambda = \frac{0,0075 \text{ m} \cdot 0,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{7 \text{ m}} = 611 \cdot 10^{-9} \text{ m} (= 611 \text{ nm})$$

Für  $e = 5$  m Schirmabstand liest man etwa ab:  $a_1 = 0,54$  cm .

Eingesetzt in die Gleichung für  $\lambda$  ergibt sich aus analoger Rechnung:  $\lambda = 616$  nm,

für  $e = 3,5$  m Schirmabstand:  $a_1 = 0,38$  cm .

Daraus folgt:  $\lambda = 619$  nm.

**Anmerkung:** Beim Ablesen werden Ablesefehler von plus/minus 1,5 mm toleriert, ebenso die daraus entstehenden Abweichungen in der Wellenlänge.

- 1.2 a) Entlang der dick durchgezogen gezeichneten Linien treffen jeweils Berg auf Berg und Tal auf Tal. Demnach liegt entlang dieser Linien maximale Verstärkung (maximale konstruktive Interferenz) vor. Entlang der dick gestrichelt gezeichneten Linien treffen jeweils Berg auf Tal und Tal auf Berg. Demnach liegt entlang dieser Linien Auslöschung (maximale destruktive Interferenz) vor.

Entlang der Linien maximaler Verstärkung ist die Energie ebenfalls maximal.

Entlang der Linien von Auslöschung ist keine Energie vorhanden. Demnach ist die Gesamtenergie im Interferenzfeld örtlich aufgeteilt.

- 1.2 b) Berechnung:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1134 \text{ Hz}} = 0,3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$



- 1.2 c) Hier ist für die angegebenen Punkte zunächst deren Lage (Entfernungen von den Schallquellen) zu ermitteln und daraus der jeweilige dort vorliegende Gangunterschied zu bestimmen.

Für Punkt 1: Da Punkt 1 in der Mitte liegt, sind die Wegstrecken für die beiden Wellenzüge dorthin gleich groß, der Gangunterschied ist also 0.

Hier liegt also maximale Verstärkung (maximale konstruktive Interferenz) vor.

Für Punkt 2: Punkt 2 ist von den beiden Schallquellen gleich weit entfernt. Also liegt auch hier der Gangunterschied 0 vor, der zu maximaler Verstärkung führt.

Für Punkt 3: Dieser Punkt ist von einer Quelle 15 cm entfernt und demnach von der anderen 60 cm. Demnach ist der Gangunterschied 45 cm. Dies führt zu Auslöschung (maximale destruktive Interferenz).

Für Punkt 4: Dieser Punkt ist von einer Quelle 7,5 cm entfernt und demnach von der anderen 67,5 cm. Der Gangunterschied beträgt also 60 cm, was zu maximaler Verstärkung führt.

- 1.2 d) Bei gegenphasiger Schallaussendung treffen dort, wo vorher Berg auf Berg traf, nun Berg auf Tal und umgekehrt. Es werden also die Orte maximaler Verstärkung und maximaler Auslöschung vertauscht.

**Modellösungen Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt**

2.1 a) Die Hg-Lampe sendet ein Spektrum von Wellenlängen aus. Mit Hilfe des Filters fällt nur jeweils Licht einer Wellenlänge auf die Photokathode, die sich in einem evakuierten Glaskolben befindet. Sofern die Energie des Lichts ausreicht, löst es dort Elektronen aus dem Metall, die sich in alle Richtungen bewegen. Zwischen Kathode und Anode wird durch die Spannung  $U$  ein Gegenfeld erzeugt, sodass die Elektronen auf dem Weg zur Anode abgebremst werden.

Solange ein Photostrom  $I_{ph}$  zu messen ist, müssen Elektronen die Anode erreichen. Die kinetische Energie dieser Elektronen ist also größer als die auf dem Weg von der Kathode zur Anode gewonnene potenzielle Energie:

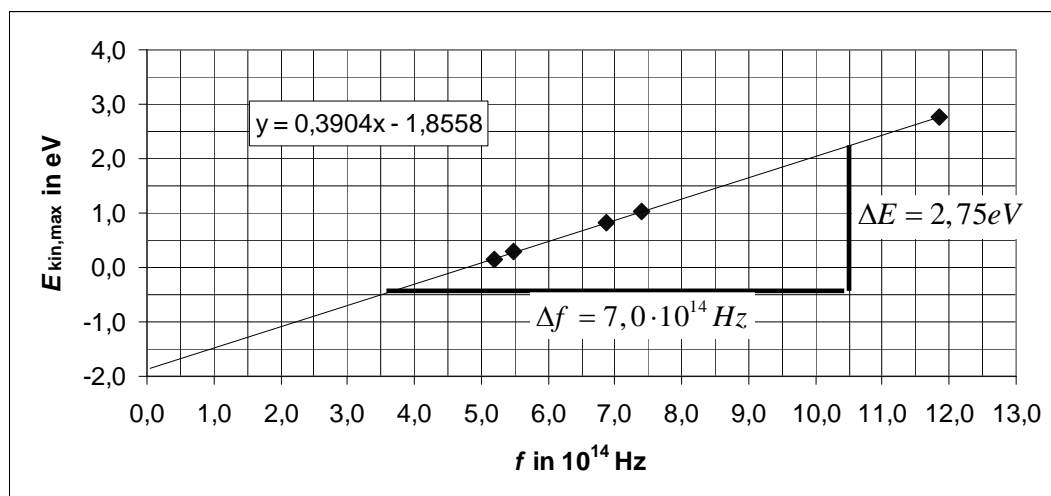
$$E_{kin} > E_{pot} \Rightarrow E_{kin} > U \cdot e.$$

Um die kinetische Energie der schnellsten Elektronen zu bestimmen, wird die Spannung  $U$  so eingestellt, dass gerade kein Photostrom mehr fließt. In diesem

Fall gilt:  $E_{kin,max} = U \cdot e.$

2.1 b) Berechnung der maximalen kinetischen Energie:  $E_{kin,max} = U \cdot e$

Wellenlänge $\lambda$ in nm	578	546	436	405	253
Frequenz $f$ in $10^{14}$ Hz	5,19	5,49	6,88	7,40	11,85
Gegenspannung $U$ in V	0,16	0,30	0,82	1,04	2,77
$E_{kin,max}$ in eV	0,16	0,30	0,82	1,04	2,77



- 2.1 c) Nach der Einstein'schen Lichtquantenhypothese besteht Licht aus Photonen mit der Energie  $h \cdot f$ , wobei  $h$  das Planck'sche Wirkungsquantum ist. Ein Teil der abgegebenen Photonenenergie wird bei der Wechselwirkung mit den Elektronen im Kathodenmaterial als kinetische Energie an die Elektronen abgegeben. Im Extremfall gibt ein Photon seine gesamte Energie an ein Elektron ab, welches dadurch die kinetische Energie  $h \cdot f$  erhält. Zum Verlassen des Körpers muss das Elektron jedoch noch eine Austrittsarbeit  $W_A$  verrichten, weshalb es nach dem Verlassen des Körpers noch die kinetische Energie  $h \cdot f - W_A$  besitzt. Allgemein gilt also folgender linearer Zusammenhang zwischen der maximalen kinetischen Energie der Elektronen und der Frequenz des einfallenden Lichts:

$$E_{\text{kin,max}} = h \cdot f - W_A.$$

Dies ergibt in der grafischen Darstellung eine Gerade, deren Steigung dem Planck'schen Wirkungsquantum  $h$  und deren Achsenabschnitt der negativen Austrittsarbeit  $-W_A$  entsprechen.

- 2.1 d) Austrittsarbeit:  $W_A \approx 1,86 \text{ eV}$

$$\text{Grenzfrequenz: } f_G \approx 4,75 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Planck'sches Wirkungsquantum:

$$h = \frac{\Delta E_{\text{kin,max}}}{\Delta f} \approx \frac{2,75 \text{ eV}}{7,0 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 3,93 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} = 6,29 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

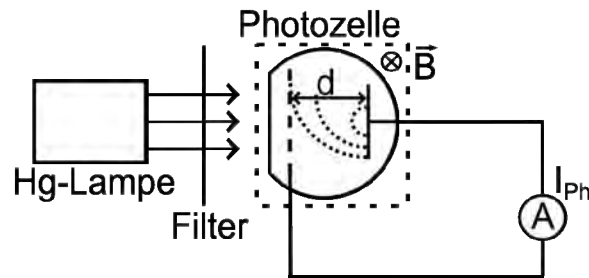
- 2.2 a) Energie eines Photons:  $E_{\text{ph}} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 3,73 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$$\text{In der Zeit } \Delta t = 1 \text{ s übertragene Energie: } \Delta E = P \cdot \Delta t = 1 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$\text{Anzahl der Photonen: } \Delta N = \frac{\Delta E}{E_{\text{ph}}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{3,73 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2,68 \cdot 10^{15}$$

- 2.2 b) Kleinere Wellenlänge bedeutet größere Photonenenergie, womit sich die Geschwindigkeit der Elektronen erhöht.

- 2.3 a) Die folgende Abbildung zeigt mehrere Alternativen, von den Schülerinnen und Schülern wird nur eine Lösung erwartet. Dabei sollte klar werden, dass die Bahn in der Zeichnung nach oben gekrümmt ist.



Auf die ausgelösten Elektronen wirkt im Magnetfeld die Lorentzkraft. Die Richtung der Lorentzkraft ist stets senkrecht zur momentanen Bewegungsrichtung der Elektronen. Die Lorentzkraft wirkt daher als Zentripetalkraft und zwingt die Elektronen auf eine Kreisbahn.

- 2.3 b) Der Radius der Elektronenbahn ist abhängig von der Geschwindigkeit der Elektronen und der Stärke des Magnetfeldes. Der Bahnradius steigt mit der Geschwindigkeit der Elektronen und sinkt mit der Stärke des Magnetfeldes. Mit zunehmender Stärke des Magnetfeldes wird also der Bahnradius der austretenden Elektronen immer kleiner, sodass nur noch ausreichend schnelle Elektronen einen Bahnradius haben, der groß genug ist, um zur Anode zu gelangen. Wird die Stärke des Magnetfeldes also erhöht, erreichen immer weniger Elektronen die Anode.

**6.2 Teilleistungen – Kriterien****Aufgabe 1: Der Doppelspalt****Teilaufgabe 1.1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erläutert die Entstehung der Hell- und Dunkelbereiche.	3
b1)	erläutert den Grund für die symmetrische Anordnung.	3
b2)	erläutert das Zustandekommen der Mittellinie.	2
c1)	erstellt die Skizze mit den relevanten Größen.	4
c2)	leitet die Gleichung her.	3
c3)	erläutert die Herleitungsschritte.	3
d1)	ermittelt die drei Abstände.	6
d2)	berechnet daraus drei Wellenlängen.	3

**Teilaufgabe 1.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	beschreibt die Bedeutung der durchgezogenen und gestrichelten Linien.	4
a2)	beschreibt die Verteilung der Schallwellenenergie im Interferenzfeld.	4
b)	berechnet die Wellenlänge.	3
c1)	gibt das Interferenzergebnis im Punkt 1 an und begründet es.	2
c2)	gibt das Interferenzergebnis im Punkt 2 an und begründet es.	2
c3)	gibt das Interferenzergebnis im Punkt 3 an und begründet es.	2
c4)	gibt das Interferenzergebnis im Punkt 4 an und begründet es.	2
d)	beschreibt die Änderung.	4

**Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt****Teilaufgabe 2.1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	beschreibt Aufbau und Durchführung des Versuchs.	4
a2)	beschreibt die Bestimmung der maximalen kinetischen Energie der Elektronen.	3
b1)	bestimmt die maximale kinetische Energie der Elektronen in eV.	2
b2)	stellt die Energie der Elektronen in Abhängigkeit von der Frequenz des Lichts grafisch dar.	5
c1)	beschreibt die Vorgänge im Rahmen der Lichtquantenhypothese.	6
c2)	nennt die Einstein'sche Gleichung.	2
c3)	deutet die Steigung als Planck'sches Wirkungsquantum.	2
c4)	deutet den Ordinatenabschnitt als (negative) Austrittsarbeit.	2
d1)	bestimmt die Austrittsarbeit $W_A$ .	2
d2)	bestimmt die Grenzfrequenz $f_G$ .	2
d3)	bestimmt das Planck'sche Wirkungsquantum $h$ .	3

**Teilaufgabe 2.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	berechnet die Anzahl der Photonen, die der Laser in einer Sekunde aussendet.	3
b1)	erkennt, dass die Energie der einzelnen Photonen größer wird.	2
b2)	beschreibt, dass durch die größere Energie der einzelnen Photonen die maximale Geschwindigkeit der Elektronen steigt.	2

**Teilaufgabe 2.3**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	zeichnet die Flugbahn eines Elektrons ein.	2
a2)	begründet den Bahnverlauf durch die Wirkung der Lorentzkraft als Zentripetalkraft.	3
b1)	beschreibt, dass der Radius der Elektronenbahnen mit steigender Stärke des Magnetfeldes kleiner wird.	4
b2)	erklärt, dass durch die kleiner werdenden Bahnradien immer weniger Elektronen die Anode erreichen.	3

## 7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

### Aufgabe 1: Der Doppelspalt

#### Teilaufgabe 1.1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	erläutert die Entstehung ...	3			
b1)	erläutert den Grund ...	3			
b2)	erläutert das Zustandekommen ...	2			
c1)	erstellt die Skizze ...	4			
c2)	leitet die Gleichung ...	3			
c3)	erläutert die Herleitungsschritte.	3			
d1)	ermittelt die drei ...	6			
d2)	berechnet daraus drei ...	3			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.1</b>	<b>27</b>			

#### Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a1)	beschreibt die Bedeutung ...	4			
a2)	beschreibt die Verteilung ...	4			
b)	berechnet die Wellenlänge.	3			
c1)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
c2)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
c3)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
c4)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
d)	beschreibt die Änderung.	4			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.2</b>	<b>23</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 1.1 und 1.2</b>	<b>50</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt****Teilaufgabe 2.1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a1)	beschreibt Aufbau und ...	4			
a2)	beschreibt die Bestimmung ...	3			
b1)	bestimmt die maximale ...	2			
b2)	stellt die Energie ...	5			
c1)	beschreibt die Vorgänge ...	6			
c2)	nennt die Einstein'sche ...	2			
c3)	deutet die Steigung ...	2			
c4)	deutet den Ordinatenabschnitt ...	2			
d1)	bestimmt die Austrittsarbeit $W_A$ .	2			
d2)	bestimmt die Grenzfrequenz $f_G$ .	2			
d3)	bestimmt das Planck'sche ...	3			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.1</b>	<b>33</b>			

**Teilaufgabe 2.2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	berechnet die Anzahl ...	3			
b1)	erkennt, dass die ...	2			
b2)	beschreibt, dass durch ...	2			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.2</b>	<b>7</b>			



**Teilaufgabe 2.3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a1)	zeichnet die Flugbahn ...	2			
a2)	begründet den Bahnverlauf ...	3			
b1)	beschreibt, dass der ...	4			
b2)	erklärt, dass durch ...	3			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.3</b>	<b>12</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 2.1, 2.2 und 2.3</b>	<b>52</b>			
	<b>Summe der 1. und 2. Aufgabe</b>	<b>102</b>			

	<b>Summe insgesamt</b>	<b>102</b>			
	<b>aus der Punktsumme resultierende Note</b>				
	<b>Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST</b>				
	<b>Paraphe</b>				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktsommen 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:

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
sehr gut plus	15	102 – 97
sehr gut	14	96 – 92
sehr gut minus	13	91 – 87
gut plus	12	86 – 82
gut	11	81 – 77
gut minus	10	76 – 72
befriedigend plus	9	71 – 67
befriedigend	8	66 – 62
befriedigend minus	7	61 – 56
ausreichend plus	6	55 – 51
ausreichend	5	50 – 46
ausreichend minus	4	45 – 40
mangelhaft plus	3	39 – 34
mangelhaft	2	33 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 21
ungenügend	0	20 – 0