



Name: _____

Abiturprüfung 2011

Physik, Leistungskurs

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.

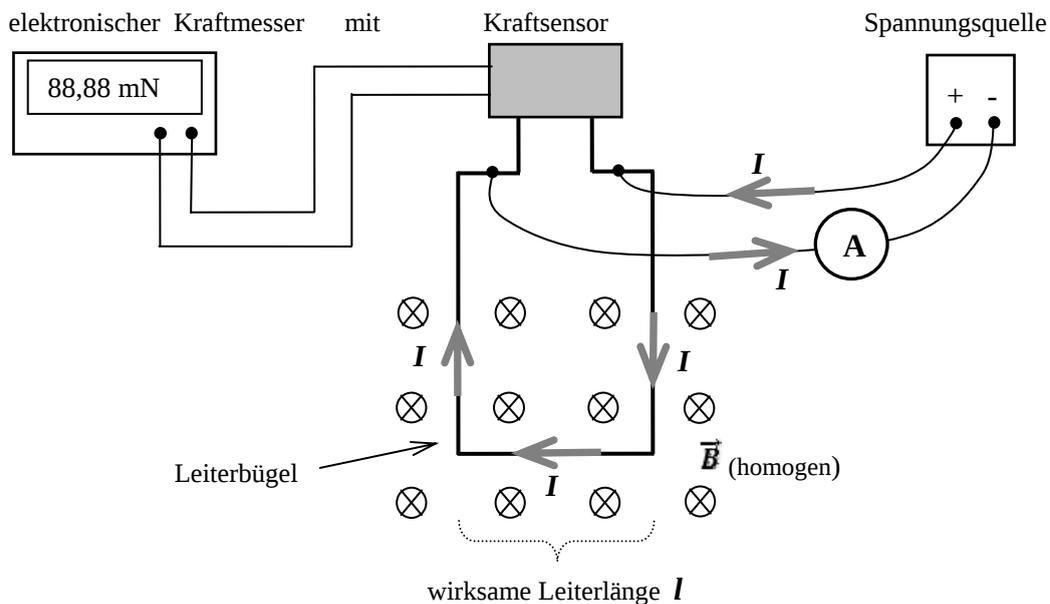


Abbildung 1: Versuchsanordnung zur Messung der Stärke B magnetischer Felder

Beschreiben Sie, wie mit Hilfe dieser Anordnung die Stärke B eines räumlich ausgedehnten homogenen Magnetfeldes gemessen werden kann. (7 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 Magnetfeldstärkemessgeräte, z. B. die „Hallsonde“, lassen sich wesentlich einfacher bedienen. Eine Hallsonde besteht im Wesentlichen aus einem kleinen, dünnen, quaderförmigen Halbleiterplättchen, durch das in Längsrichtung ein konstanter Strom der Stärke I fließt. Befindet sich dieses Plättchen wie in Abbildung 2 dargestellt in einem (homogenen) Magnetfeld, so kann zwischen der „oberen“ und der „unteren“ Seite des Plättchens eine Spannung, die sogenannte Hallspannung U_{Hall} , gemessen werden.

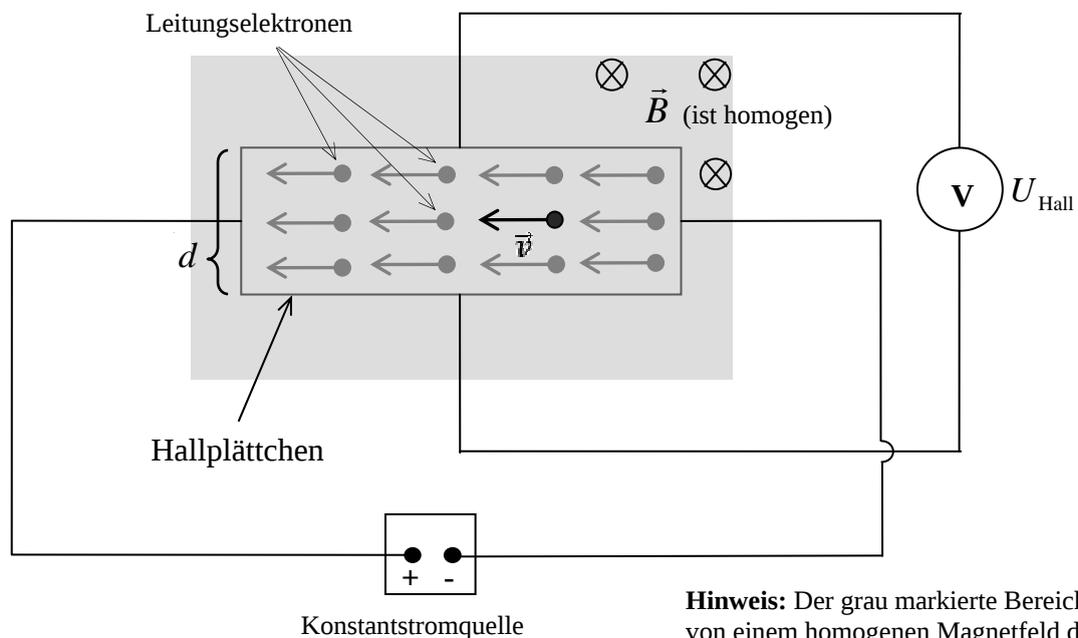


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau einer Hallsonde



Name: _____

- a) Erläutern Sie, durch welche physikalischen Prozesse bei dieser Anordnung eine Spannung U_{Hall} zwischen der „oberen“ und der „unteren“ Seite des Hallplättchens auftritt, und geben Sie die Polung der Hallspannung in der in Abbildung 2 skizzierten Situation begründet an.
- b) Leiten Sie (unter Bezug auf die Skizze) aus einem geeigneten Kraftansatz die hier gültige Beziehung $U_{\text{Hall}} = d \cdot v \cdot B$ her und begründen Sie Ihren (Kraft-)Ansatz. (d bezeichnet die Breite des Hallplättchens, siehe Abbildung 2, v ist die Driftgeschwindigkeit der Leitungselektronen im Plättchen.)
- c) Erläutern Sie, warum bei konstanter Steuerstromstärke I die Beziehung $U_{\text{Hall}} \sim B$ gilt und warum die Hallsonde sich somit gut zur Messung der Stärke B magnetischer Felder eignet. (20 Punkte)

- 1.3 In einem Versuch gemäß Abbildung 3 wird das magnetische Feld eines langen, geraden, stromdurchflossenen Leiters mit Hilfe einer Hallsonde vermessen. Die Stärke des Konstantstromes, der durch den Leiter fließt, wird mit I bezeichnet. r sei der Abstand der Hallsonde von der Längsachse des Leiters.

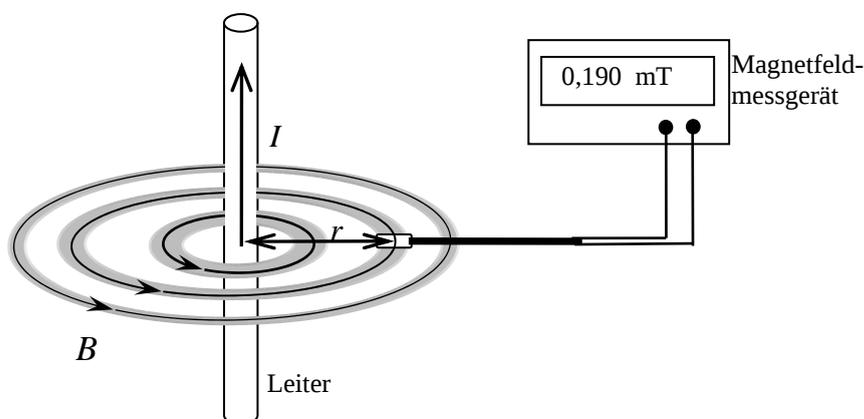


Abbildung 3: Hallsonde im Magnetfeld eines geraden, stromdurchflossenen Leiters (Markiert ist die technische Richtung des Stromes.)



Name: _____

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

- 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. (16 Punkte)



Name: _____

1.4 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 4 dargestellt, zusätzlich einen geschlossenen Eisenkern, auf den die Spule aufgebracht wird.

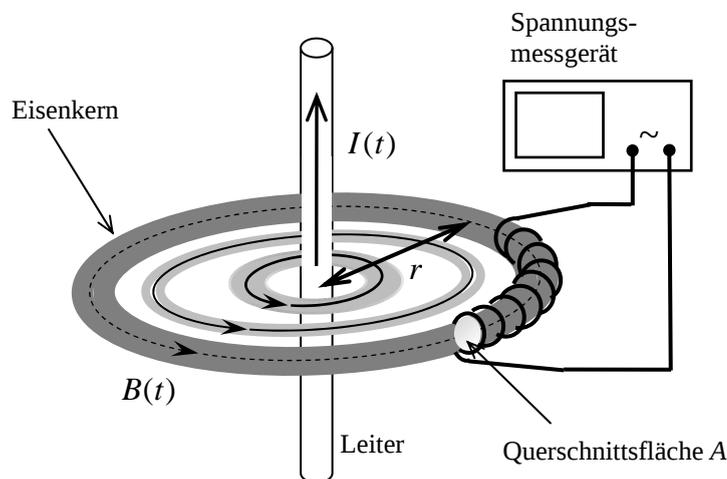


Abbildung 4: Ringförmiger Eisenkern mit Induktionsspule im B -Feld des langen, geraden, stromdurchflossenen Leiters

a) Zeigen Sie, dass für die in der Spule induzierte Spannung die Beziehung

$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_0}{r} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) \text{ gilt, wenn der gerade Leiter von}$$

einem Wechselstrom der Stärke $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ durchflossen wird.

(n : Anzahl der Windungen der Induktionsspule

A : Querschnittsfläche der Induktionsspule

μ_0 : magnetische Feldkonstante

μ_r : Materialkonstante des Eisenkerns

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

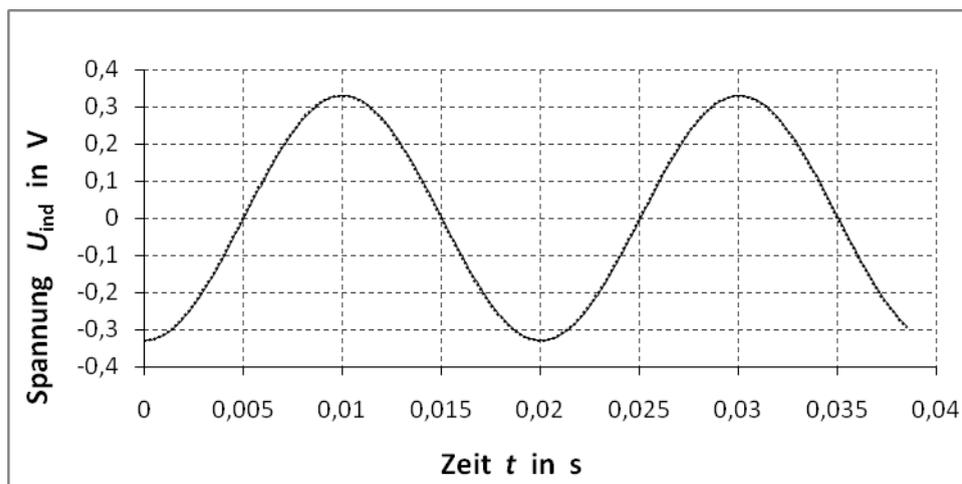
ω : Kreisfrequenz des Wechselstromes)



Name: _____

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.

- b) Das Oszillogramm in Abbildung 5 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 5: Oszillogramm, aufgenommen mit einer Anordnung gemäß Abbildung 4

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

- c) Begründen Sie, warum das in dieser Teilaufgabe 1.4 dargestellte Verfahren zur (kontaktlosen) Bestimmung von zeitlich konstanten Gleichströmen nicht geeignet ist. (19 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 Zählrohrs.

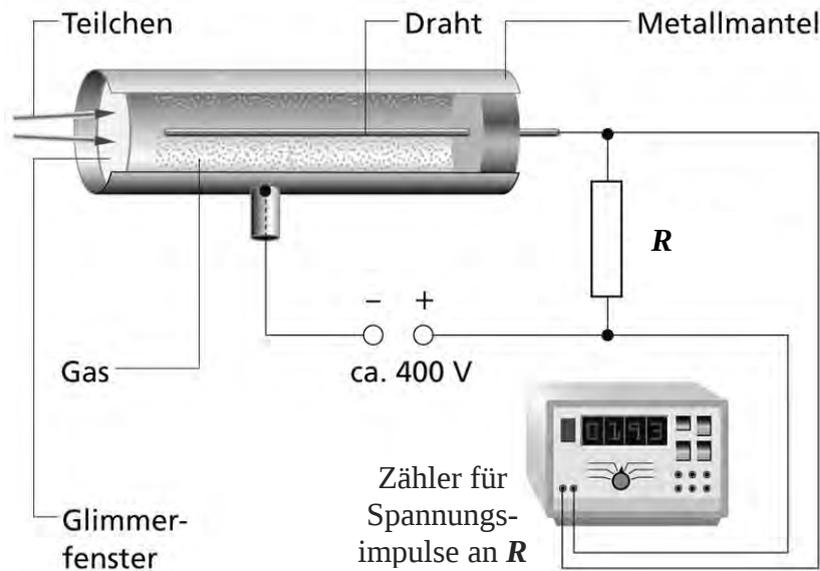


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs
(Quelle: Physik Oberstufe, Cornelsen Verlag, Berlin 2008, leicht geändert)

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



Name: _____

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

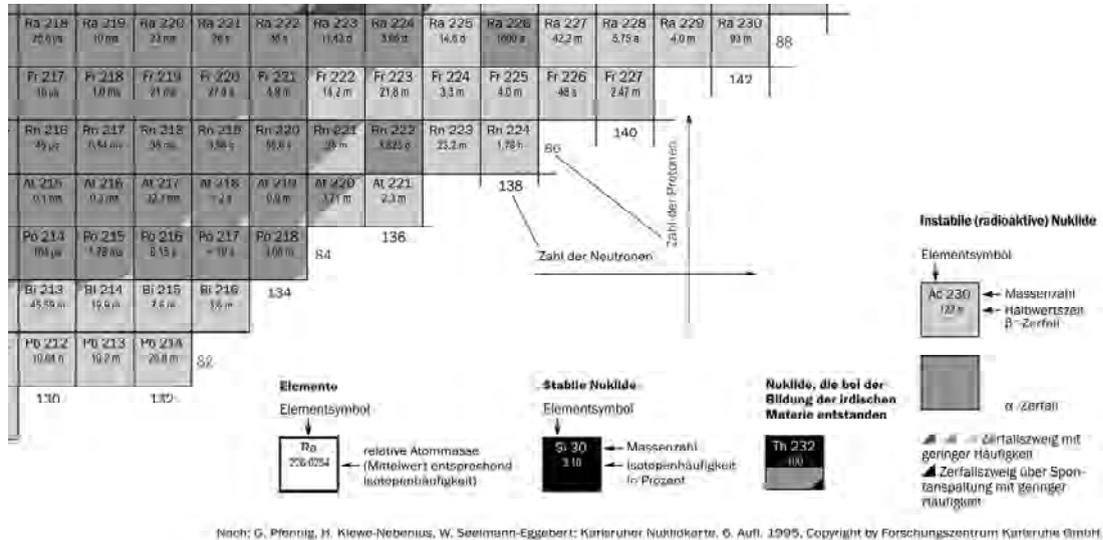


Abbildung 2: Ausschnitt aus einer Nuklidkarte
(Quelle: Das große Tafelwerk, Volk und Wissen Verlag, Berlin 2002, leicht geändert)

- 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 γ -Strahlung zahlreicher unterschiedlicher Energiewerte aussendet, obwohl in dem in Abbildung 2 wiedergegebenen Ausschnitt einer Nuklidkarte nur α - und β -Zerfälle dargestellt werden. (9 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 α -, β - und γ -Strahlung aus. Die α -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 γ -Strahlung sollten wegen ihrer großen Reichweite in Luft geeignete Absorber verwendet werden. Für die Absorption (monoenergetischer) γ -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

μ : 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 μ her. (10 Punkte)



Name: _____

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

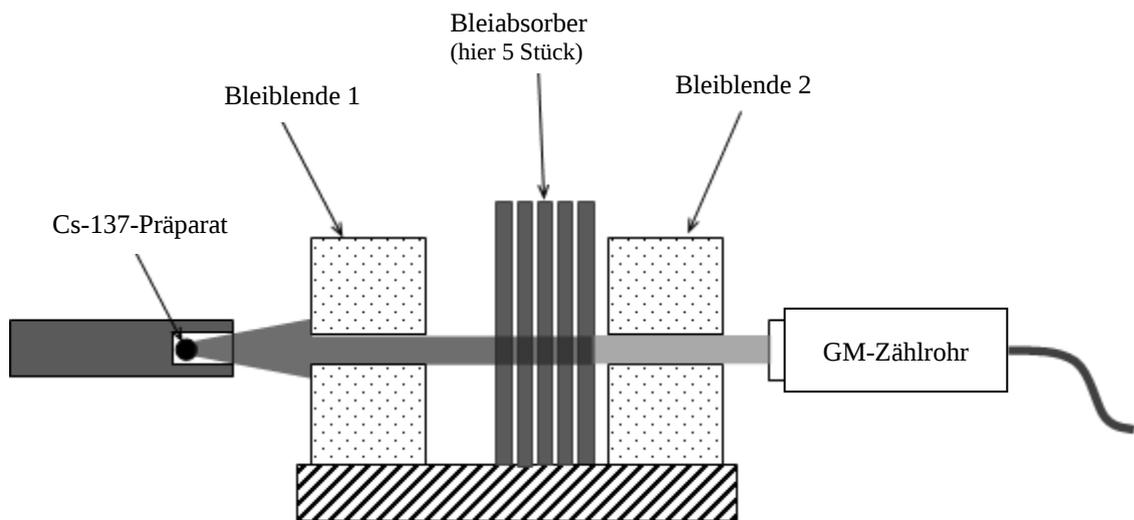


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Absorption von γ -Strahlung

Hinweise: Cs 137 sendet β - und γ -Strahlung aus, aufgrund der Bauart der Umhüllung des Präparates tritt allerdings keine β -Strahlung aus, untersucht wird also nur die (relativ intensive) monoenergetische γ -Strahlung. Die Energie dieser γ -Quanten beträgt $E_{\gamma\text{-Cs137}} \approx 662 \text{ keV}$.

Zunächst wird die Zählrate Z_0 dieser γ -Strahlung bestimmt. Dann werden zusätzlich Bleiplatten zunehmender Dicke d angebracht. Dabei bleibt der Abstand zwischen Zählrohr und Strahlenquelle konstant.

Durch die beiden Bleiblenen „1“ und „2“ soll möglichst verhindert werden, dass neben den vom Cs-137-Präparat stammenden γ -Quanten auch noch Streustrahlung bzw. Sekundärelektronen ins Zählrohr gelangen.

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.)



Name: _____

- a) Überprüfen Sie mit Hilfe einer grafischen Auswertung der Messwerte, ob diese dem in 2.4 angegebenen Absorptionsgesetz genügen.
- b) Bestimmen Sie aus der grafischen Darstellung den Absorptionskoeffizienten μ und die Halbwertsdicke $d_{1/2}$. (16 Punkte)

2.6 Die Schwächung von γ -Strahlung durch einen Absorber erfolgt durch Wechselwirkung der γ -Quanten mit der Absorbermaterie. Dabei kann es unter bestimmten Umständen zur sogenannten Paarbildung kommen. Bei diesem Paarbildungseffekt wird **ein** γ -Quant im elektrischen Feld eines Atomkerns in ein Elektron und in ein Positron umgewandelt.

Zeigen Sie mit Hilfe einer Energiebetrachtung, dass es bei der hier verwendeten γ -Strahlung von Cs 137 **nicht** zu einer Paarbildung kommen kann.

Hinweis: Die Energie der γ -Quanten beträgt $E_{\gamma - \text{Cs137}} \approx 662 \text{ keV}$. (7 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, Leistungskurs

1. Aufgabenart

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

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe 1: Definition und Messung der Feldstärke B (auch Flussdichte genannt) magnetischer Felder – kontaktlose Messung großer Ströme	(62 Punkte)
--	-------------

Aufgabe 2: Radioaktive Strahlung	(62 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

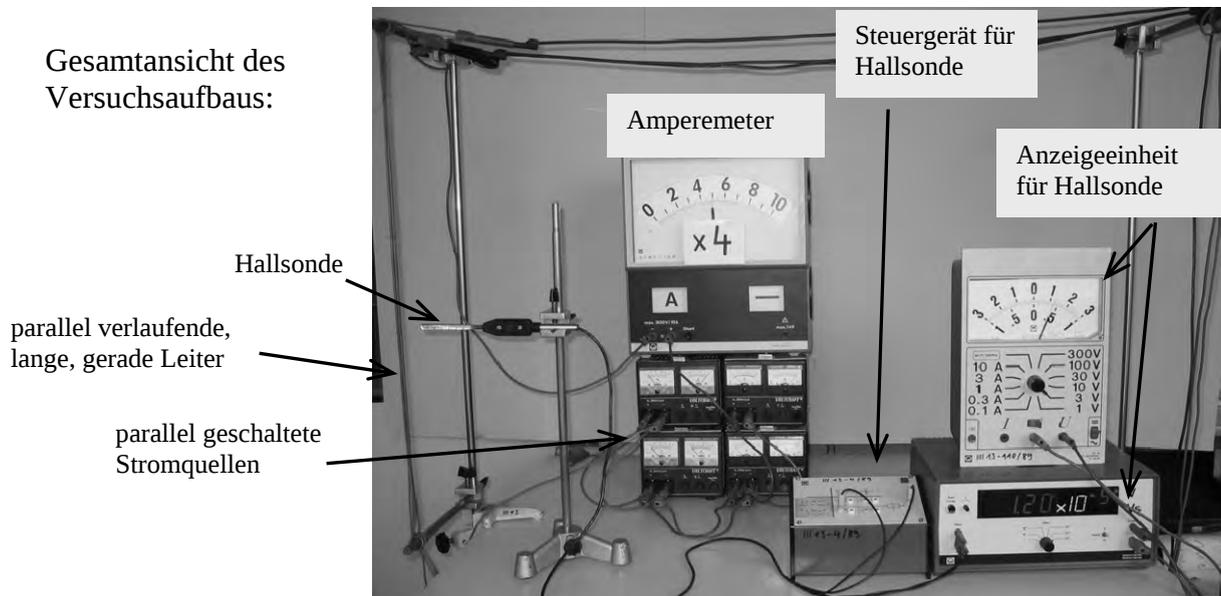
¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

Versuchsaufbau:

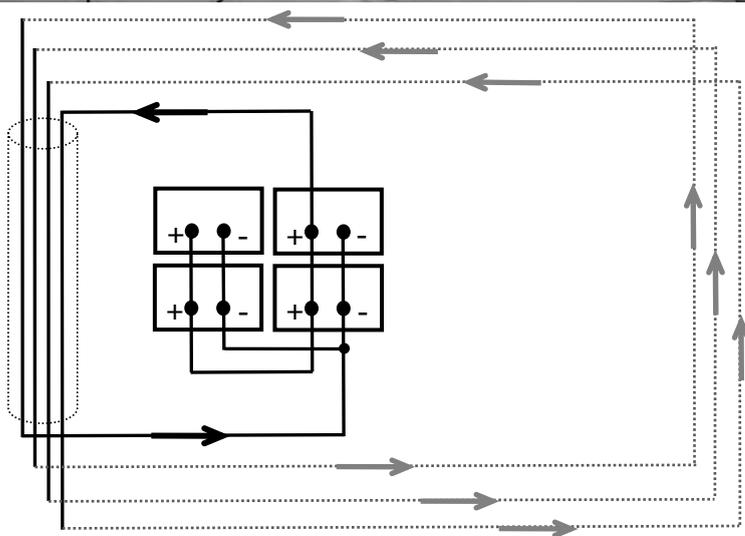
Der Aufbau erfolgt z. B. gemäß der folgenden Abbildungen.

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 „Nullpunktdrift“ 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.

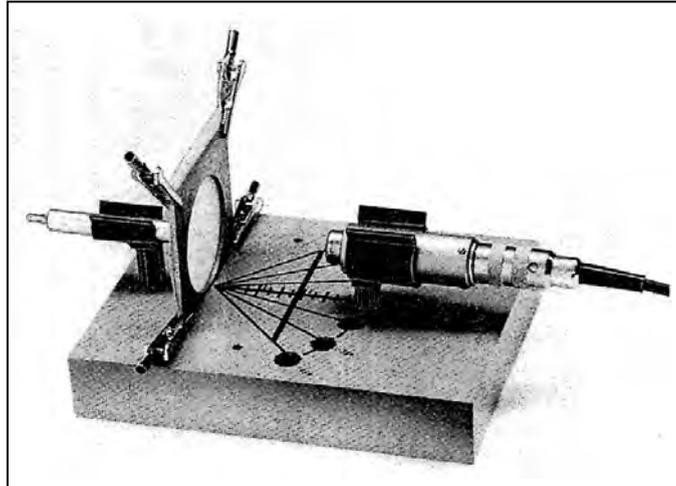
Der zweite Versuch (Absorptionsgesetz) soll nur mit Hilfe des gegebenen Materials ausgewertet werden, da die einzelnen Messungen zu lange dauern würden.

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. 7 cm * 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 (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld)
 - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft (Stromwaage)
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt)
- Elektromagnetismus
 - Elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz, Veränderung von A und B

Aufgabe 2:

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke
 - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
- Relativitätstheorie
 - Äquivalenz von Masse und Energie
- 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 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.

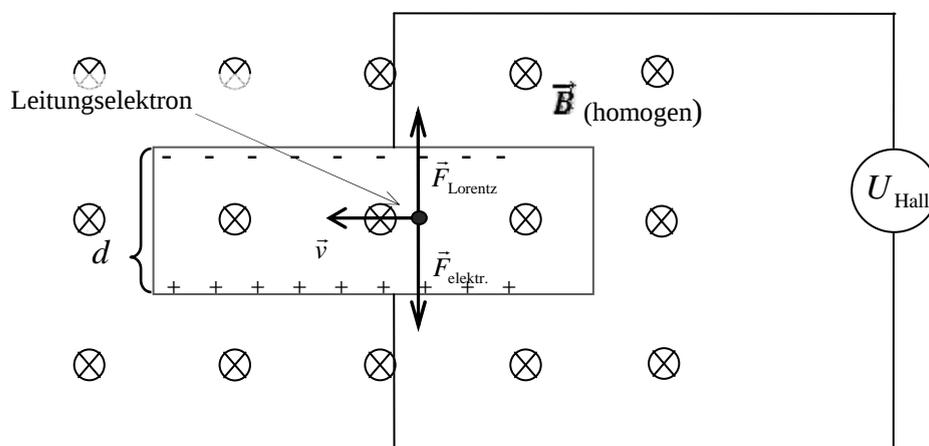
Modelllösungen Aufgabe 1: Definition und Messung der Feldstärke B (auch Flussdichte genannt) magnetischer Felder – kontaktlose Messung großer Ströme

- 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_{mag} wird vom Kraftsensor/Kraftmesser registriert. Werden diese magnetische Kraft F_{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) Fließt ein Steuerstrom durch das Hallplättchen, so bewegen sich die Leitungselektronen (gemäß der Abbildung 2) mit der Geschwindigkeit \vec{v} durch das (homogene) Magnetfeld der Stärke \vec{B} . Auf jedes bewegte Leitungselektron im Hallplättchen wirkt eine Lorentzkraft $\vec{F}_{\text{Lorentz}} = -e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$, welche senkrecht zu \vec{v} und zu \vec{B} steht. Daher werden die Leitungselektronen (wenn auch nur minimal) verschoben (hier nach oben), es kommt also zu einer „Konzentration“ von Elektronen an einer Seite des Hallplättchens und zu einem „Elektronenmangel“ an der anderen Seite des Plättchens. Insgesamt kommt es also zu einer Ladungstrennung und somit zu einer elektrischen Spannung, der sogenannten Hallspannung U_{Hall} zwischen der Ober- und der Unterseite des Hallplättchens.

In der in Abbildung 2 dargestellten Situation erfahren die bewegten Leitungselektronen gemäß Drei-Finger-Regel bzw. gemäß $\vec{F}_{\text{Lorentz}} = -e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ eine nach oben gerichtete Lorentzkraft. Damit wird die obere Seite des Hallplättchens negativ geladen sein, während die untere Seite positiv geladen sein wird.

- 1.2 b) Da die (hier) obere Seite des Halbleiterplättchens negativ und die untere Seite positiv geladen wird, erfahren die Leitungselektronen im Plättchen (zusätzlich zur Lorentzkraft) auch noch eine elektrische Kraft $\vec{F}_{\text{elektr.}}$, welche der Lorentzkraft genau entgegengerichtet ist. Die in Teilaufgabe 1.2 a) beschriebene Verschiebung der Leitungselektronen erfolgt so lange, bis die elektrische Kraft so groß ist, dass sie die Lorentzkraft gerade kompensiert, bis also $\vec{F}_{\text{elektr.}} = -\vec{F}_{\text{Lorentz}}$ gilt.



Aus $|\vec{F}_{\text{elektr.}}| = |\vec{F}_{\text{Lorentz}}|$ folgt mit $|\vec{F}_{\text{elektr.}}| = e \cdot E$ und $|\vec{F}_{\text{Lorentz}}| = e \cdot v \cdot B \cdot \sin(90^\circ)$ die

Beziehung $e \cdot E = e \cdot v \cdot B$ und mit $E = \frac{U_{\text{Hall}}}{d}$ folgt nach Umformen und Vereinfachen

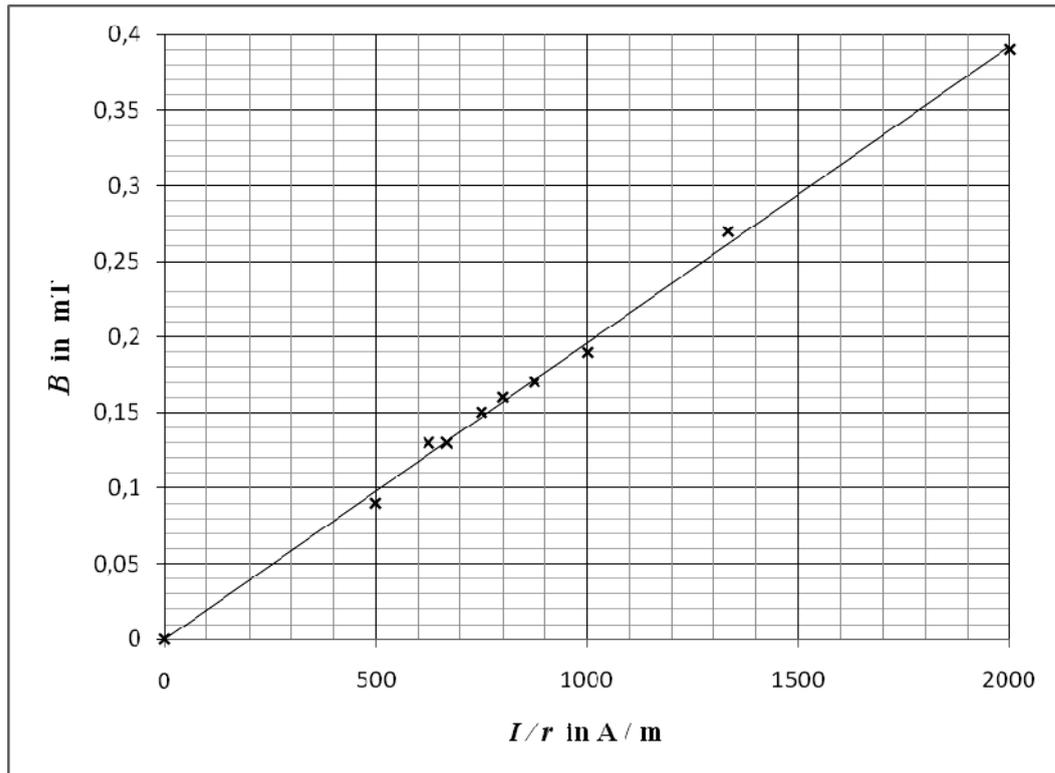
die angegebene/gesuchte Beziehung $U_{\text{Hall}} = d \cdot v \cdot B$.

Anmerkungen für die korrigierende Lehrkraft:

- Akzeptiert wird auch jede gleichwertige alternative Lösung; so kann z. B. auch eine entsprechende nicht vektorielle Darstellung gleichwertig sein.
- Die hier wiedergegebene Skizze ist nicht erforderlich, die umgangssprachliche Beschreibung reicht aus, eine entsprechende Skizze kann aber z. B. Teile einer Beschreibung ersetzen.

1.2 c) Bei konstanter Steuerstromstärke I ist die Geschwindigkeit v der Leitungselektronen im Hallplättchen konstant. Da auch d (Gerätekonstante) konstant ist, ist gemäß $U_{\text{Hall}} = d \cdot v \cdot B$ die Hallspannung U_{Hall} proportional zu B . Wird der Proportionalitätsfaktor (z. B. experimentell) ermittelt, kann aus einer gemessenen Hallspannung die Stärke B des magnetischen Feldes ermittelt werden.

1.3 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:

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

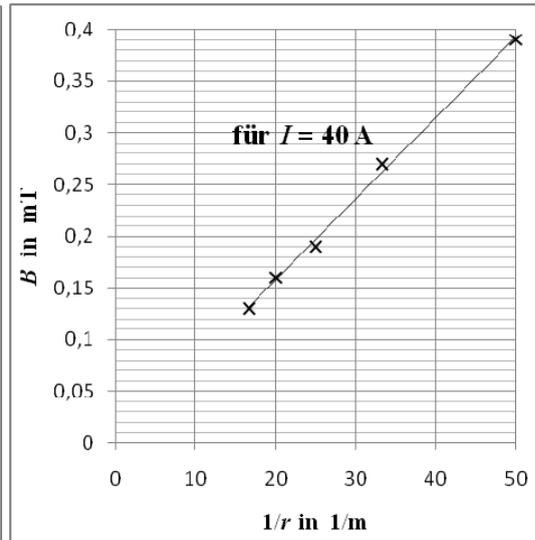
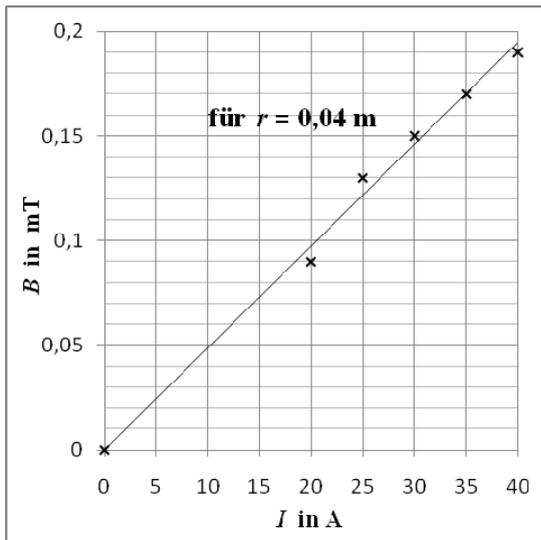
$$= 1,96 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}.$$

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:



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

$$m_{B,1/r} = \frac{\Delta B}{\Delta \left(\frac{1}{r}\right)} \approx \frac{0,39 \text{ mT} - 0,13 \text{ mT}}{50 \frac{1}{\text{m}} - 17 \frac{1}{\text{m}}}$$

$$\dots \approx 7,88 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot \text{m}$$

Damit folgt für die Proportionalitätskonstante:

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

$$\dots \approx 1,93 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

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

$$\dots \approx 1,97 \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}}$$

- 1.4 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

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

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

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

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

- 1.4 b) Dem Diagramm in Abbildung 5 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:

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

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

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

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

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

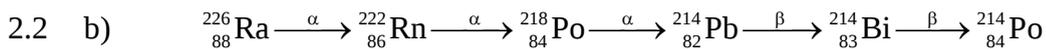
$$I_0 = 35 \frac{\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}}{\text{m}^2 \cdot \text{T}} = 35 \frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot \text{s} \cdot \text{A}}{\text{m}^2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}} = 35 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m} \cdot \frac{\text{N}}{\text{A}}}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

- 1.4 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 α - oder β -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 γ -Strahlung in ihren jeweiligen Grundzustand über. Dies erfolgt zum Teil auch in mehreren Schritten, sodass mehrere γ -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.

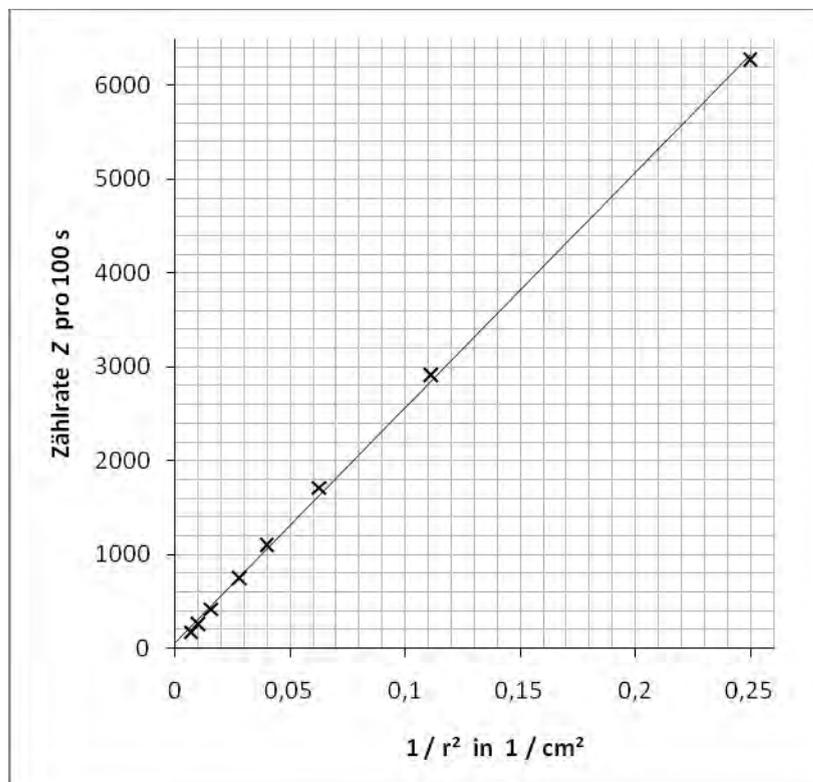
Zu überprüfen ist somit, ob der Quotient $\frac{Z}{\frac{1}{r^2}}$, also das Produkt $Z \cdot r^2$, für alle

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 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 α -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 β - und γ -Strahlung registriert werden. Wegen des hohen Anteils an α -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 β - und die γ -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 α -Strahlung auch auf der Absorption in der Luft beruhen, welche für β - und γ -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 α -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 $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$.

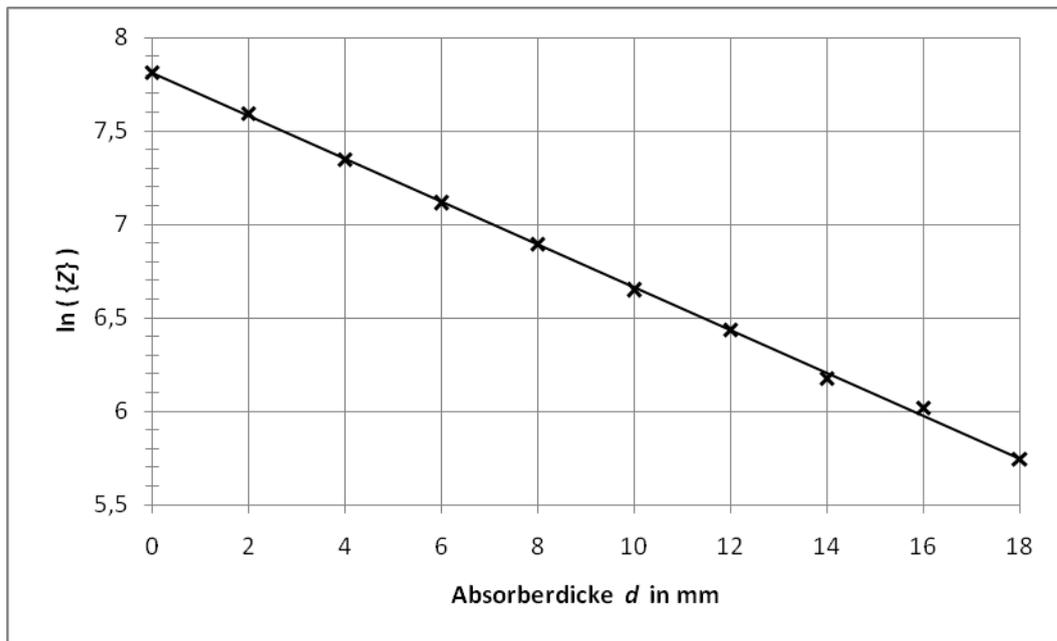
- 2.5 a) Um zu prüfen, ob die Messwerte der Beziehung $Z(d) = Z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$ genügen, ist eine linearisierende grafische Darstellung der Messwerte sinnvoll. Logarithmieren der Beziehung liefert:

$$\ln(\{Z\}) = \ln(\{Z_0\}) + \ln(e^{-\mu \cdot d}) = -\mu \cdot d + \ln(\{Z_0\}).$$

Die Auftragung von $\ln(\{Z\})$ gegen die Absorberdicke d müsste also eine Gerade mit der Steigung $-\mu$ und dem Achsenabschnitt $\ln(\{Z_0\})$ liefern.

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
$\ln(\{Z\})$	7,81	7,59	7,35	7,12	6,89	6,65	6,43	6,17	6,02	5,74

Es ergibt sich folgende grafische Darstellung:



Da ein linearer Zusammenhang zwischen $\ln(\{Z\})$ und d besteht, genügen die Messwerte der Beziehung $Z(d) = Z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$.

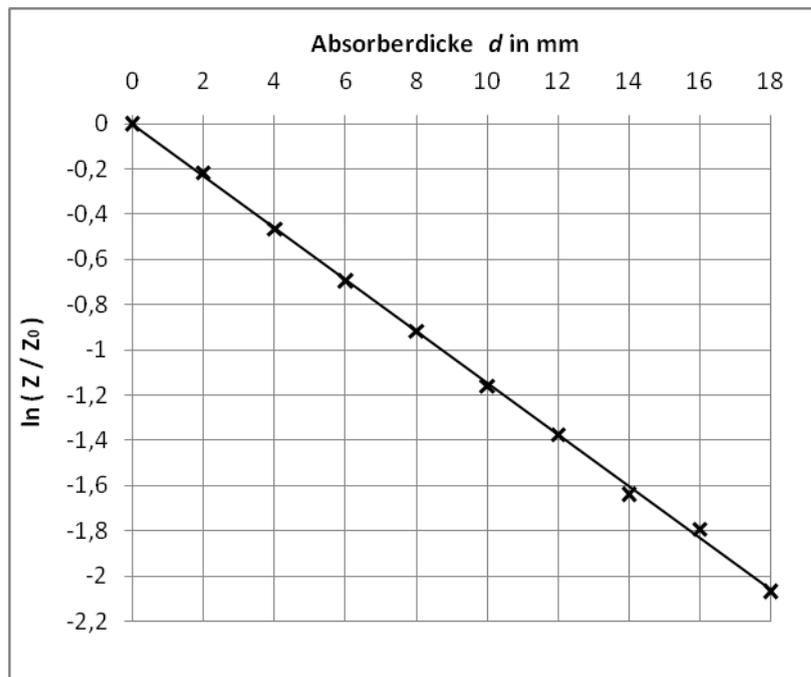
Anmerkungen für die korrigierende Lehrkraft:

- Es muss nicht diskutiert werden, dass der Logarithmus nur von einer Maßzahl, hier dargestellt durch die geschweifte Klammer – also $\ln(\{Z\})$, und nicht von einer physikalischen Größe gebildet werden kann.

- Wird die Beziehung aus 2.4 zu $\ln\left(\frac{Z(d)}{Z_0}\right) = -\mu \cdot d$ umgeformt, um dann

$\ln\left(\frac{Z(d)}{Z_0}\right)$ gegen d aufzutragen, sollte dies als gleichwertige Lösung akzeptiert

werden, auch wenn dazu statt mit Z_0 mit dem Messwert $Z(0)$ gearbeitet wird.



Es ist in diesem Fall also nicht erforderlich zu diskutieren, dass aus stochastischer Sicht ein sinnvoller Wert für Z_0 erst durch Bestimmung des Achsenabschnitts der Ausgleichsgeraden gemäß $\ln(\{Z\}) = -\mu \cdot d + \ln(\{Z_0\})$ ermittelt werden kann.

- Gleichwertig kann auch eine Lösung sein, bei der unmittelbar $Z(d)$ gegen d aufgetragen wird, um dann zu prüfen, ob eine „Halbwertsdicke $d_{1/2}$ “ existiert (siehe GK-Lösung). In diesem Fall muss aber (hier im LK) durch zusätzliche Rechnungen und/oder Überlegungen zumindest beispielhaft diskutiert werden, dass die gezeichnete grafische Darstellung der Messwerte tatsächlich einen exponentiellen Verlauf hat.

2.5 b) Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt:

$$m = \frac{\Delta \ln(\{Z\})}{\Delta d} = \frac{5,75 - 7,81}{18 \text{ mm} - 0 \text{ mm}} = -0,114 \frac{1}{\text{mm}}.$$

Damit beträgt der Absorptionskoeffizient $\mu = 0,114 \frac{1}{\text{mm}}$.

Mit $\mu \cdot d_{1/2} = \ln 2$, also $d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$, ergibt sich für die Halbwertsdicke

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{0,114} \text{ mm} \approx 6,1 \text{ mm}.$$

2.6 Bei der Paarbildung wird die Energie eines γ -Quants in Materie (hier ein Elektron und ein Positron) umgewandelt. Nach der Beziehung $E = m \cdot c^2$ muss das γ -Quant also mindestens die Energie haben, die der gesamten Ruhemasse von einem Elektron und einem Positron entspricht. Somit ist folgende Energie erforderlich:

$$E_{0 \text{ von } e^- \text{ und } e^+} = (m_{0 \text{ } e^-} + m_{0 \text{ } e^+}) \cdot c^2 \approx 2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \approx 1,64 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

Zur Verfügung stehen in Form des γ -Quants aber nur:

$$E_{\gamma \text{ - Cs137}} = 662 \text{ keV} \approx 662 \cdot 10^3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \frac{\text{J}}{\text{C}} \approx 1,06 \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

Somit kann der Paarbildungsprozess bei der Absorption der Gammastrahlung von Cs 137 nicht auftreten, denn die Energie der Gammaquanten ist kleiner als die mindestens erforderliche Ruheenergie der beiden zu erzeugenden Teilchen.

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.	7

Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	erläutert, durch welche physikalischen Prozesse die Hallspannung zwischen der oberen und der unteren Seite des Hallplättchens auftritt.	6
a2)	gibt die Polung der Hallspannung für die skizzierte Situation an und begründet seine Aussage.	2
b1)	leitet (unter Bezug auf die Skizze) aus einem Kraftansatz die Beziehung $U_{\text{Hall}} = d \cdot v \cdot B$ her.	6
b2)	begründet den (Kraft-)Ansatz.	3
c)	erläutert, warum bei konstanter Steuerstromstärke I die Bedingung $U_{\text{Hall}} \sim B$ gilt und warum die Hallsonde sich somit gut zur Messung der Stärke B magnetischer Felder eignet.	3

Teilaufgabe 1.3

	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.	10
b)	ermittelt ausgehend von der grafischen Auswertung der Messwerte den Wert für die Proportionalitätskonstante.	6

Teilaufgabe 1.4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	zeigt, dass für die induzierte Spannung die Beziehung $U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A \cdot \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{I_0}{r} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$ gilt.	8
b)	bestimmt die Frequenz f und die Amplitude I_0 .	8
c)	begründet, warum das in dieser Teilaufgabe dargestellte Verfahren zur Bestimmung von zeitlich konstanten Gleichströmen nicht geeignet ist.	3

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.	4
b)	gibt für jeden Zerfall die Zerfallsart an.	2
c)	erläutert, wieso das Ra-226-Präparat auch γ -Strahlung unterschiedlicher Energiewerte aussendet, obwohl in dem wiedergegebenen Ausschnitt einer Nuklidkarte nur α - und β -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)	überprüft mit Hilfe einer grafischen Auswertung der Messwerte, ob diese dem in 2.4 angegebenen Absorptionsgesetz genügen.	10
b)	bestimmt aus der grafischen Darstellung den Absorptionskoeffizienten μ und die Halbwertsdicke $d_{1/2}$.	6

Teilaufgabe 2.6

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	zeigt mit Hilfe einer Energiebetrachtung, dass es bei der γ -Strahlung von Cs 137 nicht zu einer Paarbildung kommen kann.	7

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 ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	beschreibt, wie mit ...	7			
	Summe Teilaufgabe 1.1	7			

Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	erläutert, durch welche ...	6			
a2)	gibt die Polung ...	2			
b1)	leitet (unter Bezug ...	6			
b2)	begründet den (Kraft-)Ansatz.	3			
c)	erläutert, warum bei ...	3			
	Summe Teilaufgabe 1.2	20			

Teilaufgabe 1.3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	zeigt mit Hilfe ...	10			
b)	ermittelt ausgehend von ...	6			
	Summe Teilaufgabe 1.3	16			

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

Teilaufgabe 1.4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	zeigt, dass für ...	8			
b)	bestimmt die Frequenz ...	8			
c)	begründet, warum das ...	3			
	Summe Teilaufgabe 1.4	19			
	Summe Teilaufgaben 1.1, 1.2, 1.3 und 1.4	62			

Aufgabe 2: Radioaktive Strahlung**Teilaufgabe 2.1**

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

Teilaufgabe 2.2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	ermittelt anhand der ...	4			
b)	gibt für jeden ...	2			
c)	erläutert, wieso das ...	3			
	Summe Teilaufgabe 2.2	9			

Teilaufgabe 2.3

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

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			
	Summe Teilaufgabe 2.4	10			

Teilaufgabe 2.5

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	überprüft mit Hilfe ...	10			
b)	bestimmt aus der ...	6			
	Summe Teilaufgabe 2.5	16			

Teilaufgabe 2.6

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	zeigt mit Hilfe ...	7			
	Summe Teilaufgabe 2.6	7			
	Summe Teilaufgaben 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 und 2.6	62			
	Summe der 1. und 2. Aufgabe	124			

	Summe insgesamt	124			
	aus der Punktsumme resultierende Note				
	Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
	Paraphe				

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:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	124 – 118
sehr gut	14	117 – 112
sehr gut minus	13	111 – 106
gut plus	12	105 – 100
gut	11	99 – 93
gut minus	10	92 – 87
befriedigend plus	9	86 – 81
befriedigend	8	80 – 75
befriedigend minus	7	74 – 69
ausreichend plus	6	68 – 62
ausreichend	5	61 – 56
ausreichend minus	4	55 – 48
mangelhaft plus	3	47 – 41
mangelhaft	2	40 – 33
mangelhaft minus	1	32 – 25
ungenügend	0	24 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2011

Physik, Leistungskurs

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 λ sehr viel kleiner als der Spaltabstand d und der Spaltabstand d wiederum sehr viel kleiner als die Entfernung e .

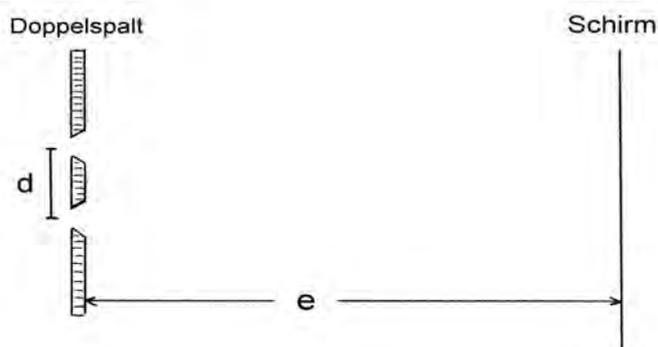


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau des Doppelspaltexperiments (nicht maßstäblich gezeichnet)

Der Doppelspalt wird mit monochromatischem Licht der Wellenlänge λ 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: _____

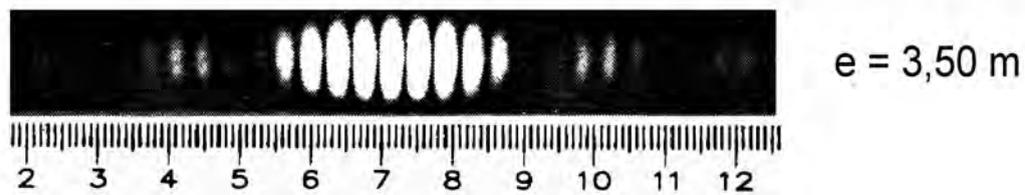
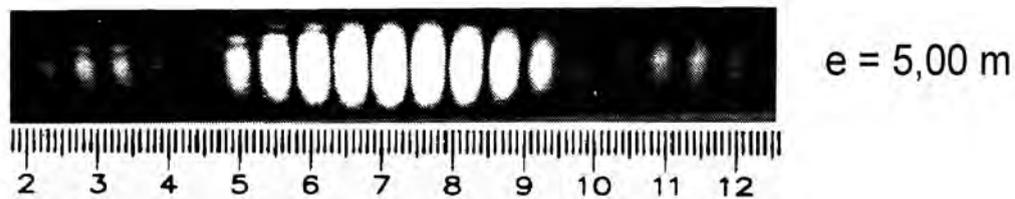
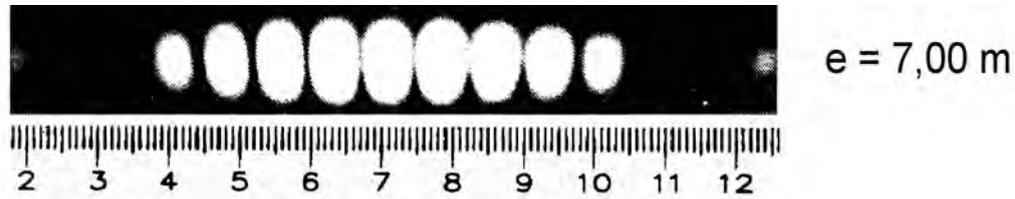


Abbildung 2: Interferenzbilder für drei verschiedene Schirmentfernungen e
(Quelle: Materialien zum Kursunterricht Physik, Teil 2, Aulis-Verlag, 1980, geändert)

- 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 α_n):

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

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



Name: _____

- d) *Ermitteln Sie aus der Abbildung 2 für die drei Interferenzfiguren jeweils die Wellenlänge.*
- e) Ein Experimentator beleuchtet nun den Doppelspalt mit Licht eines Helium-Neon-Lasers mit der Wellenlänge $\lambda = 633 \text{ nm}$. Er misst bei dem Abstand $e = 7,00 \text{ m}$ die Entfernung des Maximums erster Ordnung vom Maximum der Ordnung Null zu $a_1 = 7,5 \text{ mm}$.

Berechnen Sie den prozentualen Fehler der Ablesung von a_1 . (30 Punkte)

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.



Name: _____

- 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.

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.

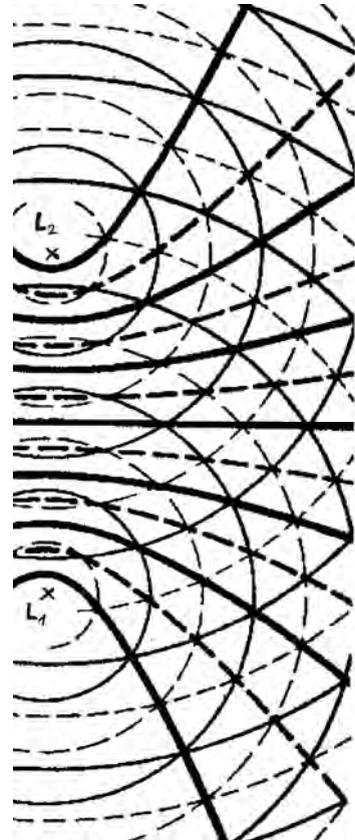


Abbildung 3: Das Interferenzfeld zweier Schallquellen

- 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 λ 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.

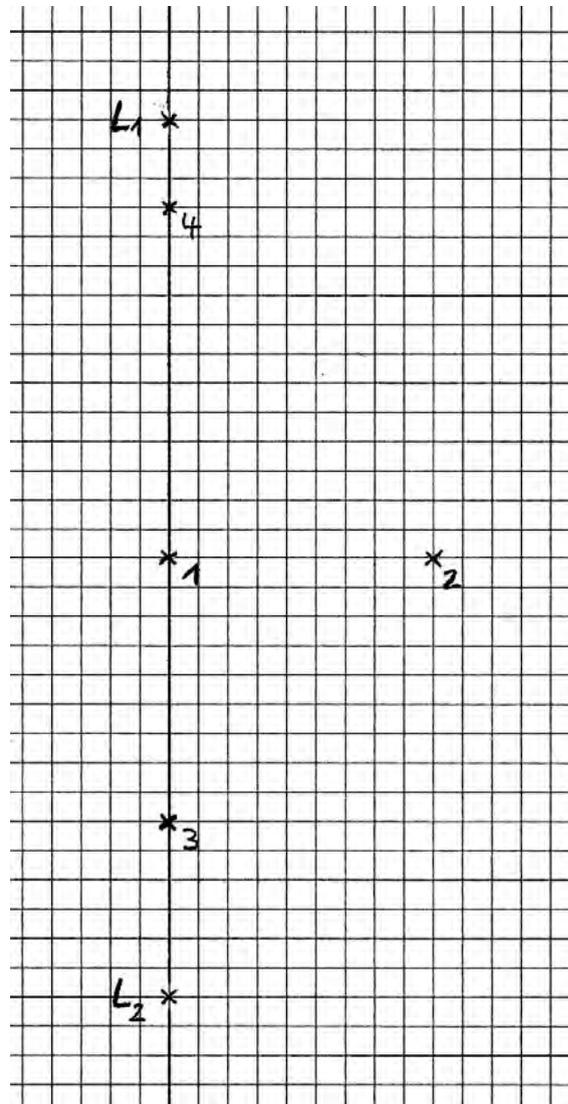


Abbildung 4: Lage der Punkte im Interferenzfeld

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.

Geben Sie die Lage eines weiteren Punktes auf der Verbindungslinie von L_1 zu L_2 an, an dem es zu einer Wellenauslöschung kommt.

Ermitteln Sie, wie viele Punkte von maximaler konstruktiver Interferenz es auf der Verbindungslinie insgesamt gibt, und geben Sie deren Lage auf der Verbindungslinie an.



Name: _____

- 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.*
- e) In vielen Fällen ist es aus Lärmschutzgründen erwünscht, dass Lärmemission vermindert oder verhindert wird.

Ein Beispiel dazu ist die medizinische Untersuchung in einem sogenannten Kernspintomographen, bei der der zu untersuchende Patient einem hohen Geräuschpegel ausgesetzt ist. Wie sich dieser Lärm verhindern ließe, daran arbeitet unter anderem ein britisches Forscherteam: „Kernspintomographen [...] machen zudem einen Heidenlärm. [...] Unsere Technik setzt bei der Wahrnehmung an. Der Tomograph ist genauso laut wie vorher. Aber der Patient bekommt von diesem Lärm nicht mehr soviel mit. Und das funktioniert so: Ein Mikrofon nimmt den Lärm auf, und ein Prozessor errechnet aus diesem Signal in Echtzeit eine Art Gegensignal. Dieses Gegensignal geben wir dem Patienten dann auf einen Kopfhörer [...].“¹

Erläutern Sie, was mit „Gegensignal“ gemeint ist, und beschreiben Sie die physikalische Wirkung dieses Signals. (30 Punkte)

¹ Quelle: <http://dradio.de/dlf/sendungen/forschak/633568>



Name: _____

Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt

2.1 Zur quantitativen Untersuchung des lichtelektrischen Effekts dient folgender Versuchsaufbau:

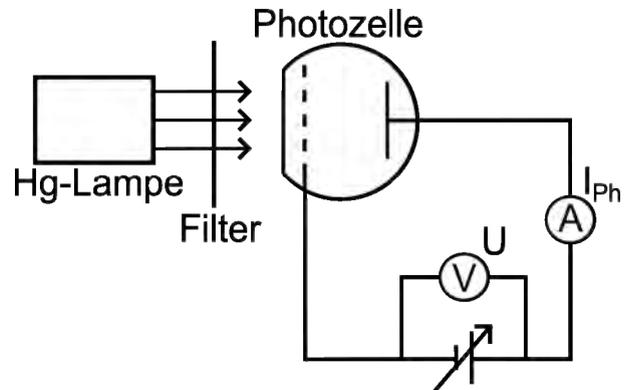


Abbildung 1

- 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 λ 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]

- e) Die Photokathode werde nun mit einer weiteren UV-Linie der Quecksilberdampf Lampe ($\lambda = 185$ nm) bestrahlt. Bestimmen Sie die maximal mögliche Geschwindigkeit der dadurch gelösten Elektronen. (36 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 Anzahl der ausgelösten Elektronen und ihre maximale Geschwindigkeit. (9 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.

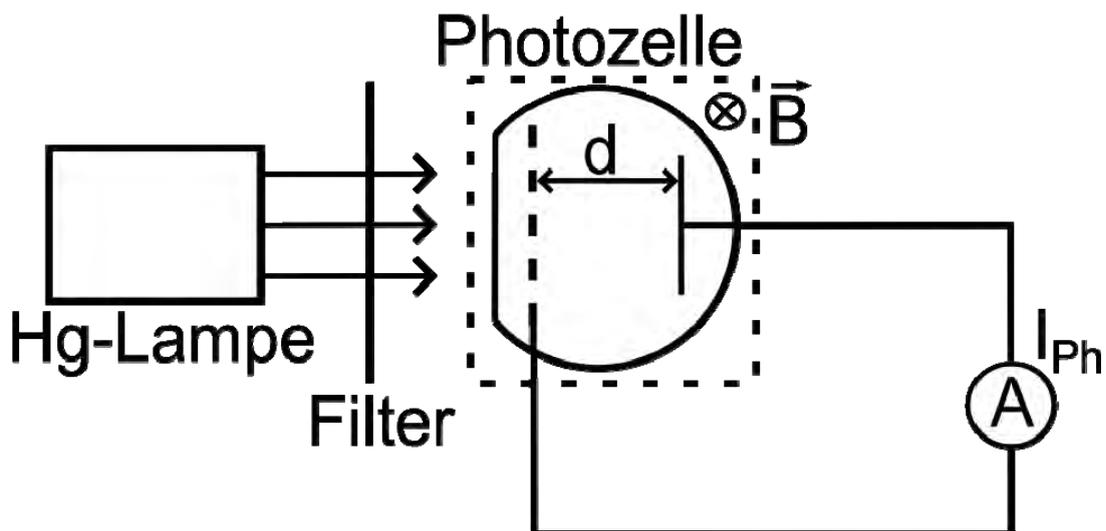


Abbildung 2 (Der gestrichelt umrandete Bereich wird vom angegebenen Magnetfeld durchsetzt.)



Name: _____

- a) Zeichnen Sie in Abbildung 2 die Flugbahn eines aus der Kathode senkrecht austretenden Elektrons ein und begründen Sie den Bahnverlauf.
- b) Zeigen Sie, dass für den Bahnradius r eines mit der Geschwindigkeit v aus der Kathode austretenden Elektrons gilt:

$$r = \frac{m_e \cdot v}{e \cdot B}$$

- c) Zeigen Sie mit Hilfe des Ergebnisses aus Teilaufgabe b), dass für diejenige Stärke B_1 des Magnetfeldes, bei der senkrecht aus der Kathode austretende Elektronen die Anode gerade noch erreichen, folgende Beziehung gilt:

$$B_1 = \frac{m_e}{e \cdot d} \sqrt{\frac{2(h \cdot f - W_A)}{m_e}}$$

- d) Erklären Sie, warum bei der Stärke B_1 des magnetischen Feldes noch immer Elektronen die Anode erreichen. Begründen Sie, warum der Photostrom erst dann Null wird, wenn die Stärke des magnetischen Feldes den doppelten Wert von B_1 übersteigt. (20 Punkte)

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, Leistungskurs

1. Aufgabenart

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

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe 1: Der Doppelspalt	(60 Punkte)
Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt	(65 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.

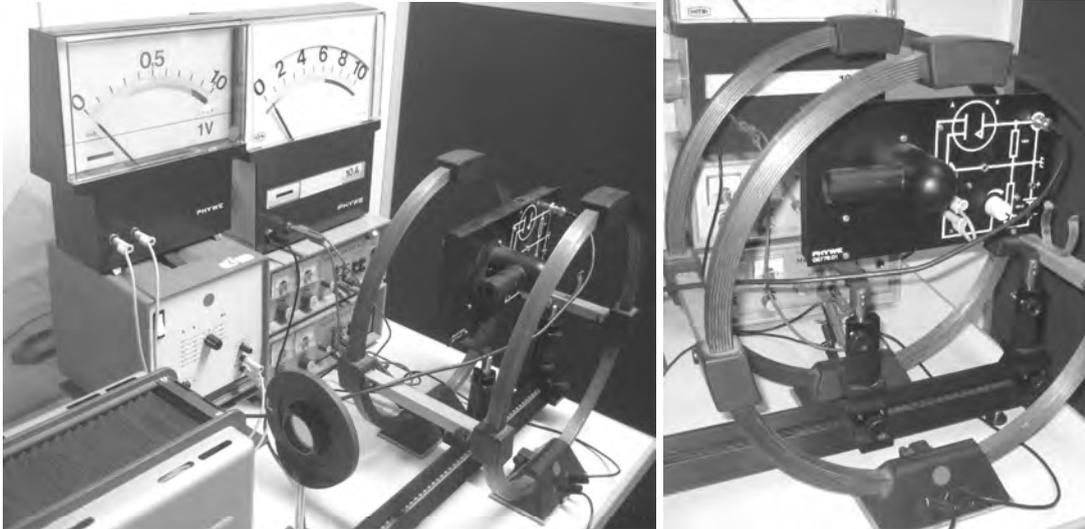
Der Versuchsaufbau zu Aufgabe 2.3 besteht aus dem bekannten Experiment zur Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums mit einer Photozelle, wobei auf die Gegenspannung verzichtet wird und sich stattdessen die Photozelle im Magnetfeld eines Helmholtzspulenpaares befindet (siehe Photo unten).

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 von einer stark vereinfachten Geometrie der Photozelle ausgeht und der dort diskutierte Zusammenhang daher im Realexperiment nur qualitativ und nicht quantitativ nachvollzogen werden kann und ein Photostrom von 0 A aufgrund der begrenzten Magnetfeldstärke nicht erreicht wird.

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

Qualitativ ist das Sinken des Photostroms mit steigender Stärke des Magnetfeldes gut zu beobachten. 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 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.

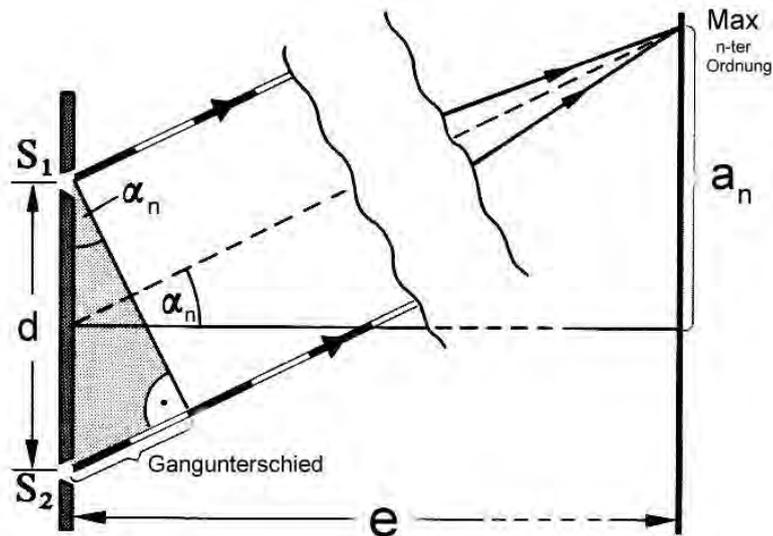
Modelllösungen Aufgabe 1: Der Doppelspalt

- 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 λ 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 λ 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.

- 1.1 e) Hier ist zunächst der Wert für a_1 zu berechnen, der für die vorgegebenen Werte gilt.

$$a_1 = \frac{e \cdot \lambda}{d} = \frac{7 \text{ m} \cdot 633 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{0,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 7,8 \text{ mm} . \text{ Der prozentuale Fehler des gemessenen}$$

$$\text{Wertes berechnet sich damit zu: } \Delta a_1 = \frac{(7,8 - 7,5) \cdot 100 \%}{7,8} = 3,85 \% .$$

- 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.

Für einen weiteren Punkt von Wellenauslöschung muss der Gangunterschied zwischen den Wellenzügen ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge betragen. Dies ist zum Beispiel für einen Punkt der Fall, der von einer Quelle die Entfernung 30 cm hat. Die Entfernung zur anderen Quelle beträgt dann 45 cm und der Gangunterschied dazwischen 15 cm, was zu Auslöschung führt.

Die Anzahl der Punkte von maximaler Verstärkung auf der Verbindungslinie ergibt sich aus dem Abstand der Schallquellen und der Wellenlänge. Der Abstand beträgt 75 cm, die Wellenlänge 30 cm. Für maximale Verstärkung muss der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge sein. Ausgehend vom Mittelpunkt der Verbindungslinie, auf dem der Gangunterschied 0 ist, kann man zu beiden Seiten jeweils eine halbe Wellenlänge abzählen. Eine halbe Wellenlänge zu einer Seite weniger bedeutet Zunahme von einer halben Wellenlänge zur anderen Seite, also insgesamt einen Gangunterschied von einer ganzen Wellenlänge. Demnach liegen auf der einen Seite von der Mitte noch zwei weitere Stellen mit einem Gangunterschied zwischen den beiden Wellen von 30 cm und 60 cm. Dasselbe gilt auf der anderen Seite von der Mitte. Demnach gibt es insgesamt 5 Stellen maximaler Verstärkung auf der Verbindungslinie (7,5 cm, 22,5 cm, 37,5 cm, 52,5 cm und 67,5 cm von einer der beiden Quellen entfernt).

- 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.
- 1.2 e) Mit Gegensignal ist ein Signal gemeint, das mit dem ursprünglichen Signal zu einer Auslöschung oder Abschwächung führt. Damit dies geschieht, muss das Gegensignal so verlaufen, dass es jeweils die entgegengesetzte Elongation besitzt (es verläuft gegenphasig).

Modelllösungen Aufgabe 2: Der lichtelektrische Effekt

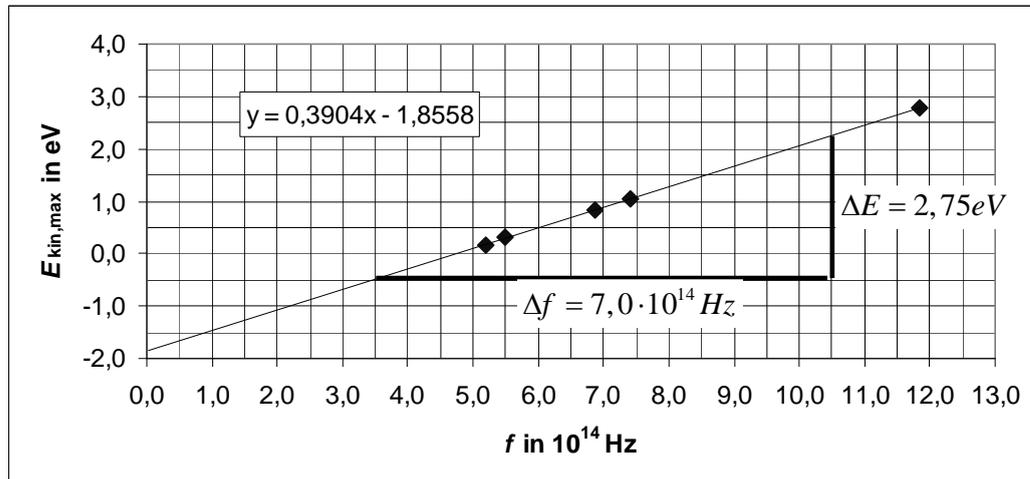
- 2.1 a) Die Hg-Lampe sendet ein Spektrum von Wellenlängen aus. Mit Hilfe des Filters fällt nur jeweils Licht einer Wellenlänge auf die Photokathode, die sich in einem evakuierten Glaskolben befindet. Sofern die Energie des Lichts ausreicht, löst es dort Elektronen aus dem Metall, die sich in alle Richtungen 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:

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

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

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

Wellenlänge λ 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
$E_{\text{kin,max}}$ 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: $W_A \approx 1,86 \text{ eV}$

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

Planck'sches Wirkungsquantum:

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

2.1 e) $f = \frac{c}{\lambda} = 1,62 \cdot 10^{15} \text{ Hz} \Rightarrow E_{\text{ph}} = h \cdot f = 1,07 \cdot 10^{-18} \text{ J}$

$$E_{\text{kin}} = h \cdot f - W_A = 7,76 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m_e}} = 1,31 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

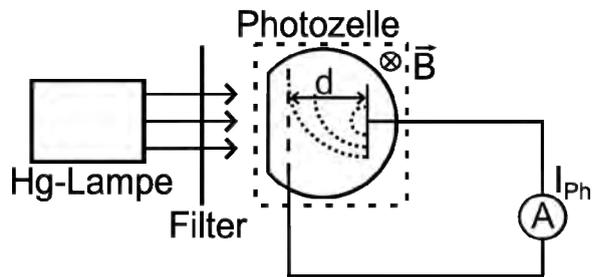
In der Zeit $\Delta t = 1 \text{ s}$ übertragene Energie: $\Delta E = P \cdot \Delta t = 1 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

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

2.2 b) Kleinere Wellenlänge bedeutet größere Photonenenergie, womit sich die Geschwindigkeit der Elektronen erhöht. Da die Leistung des Lasers aber nicht verändert wird, muss die Anzahl der Photonen kleiner werden. Damit verkleinert sich auch die Anzahl der ausgelösten Elektronen.

- 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 Stärke des Magnetfeldes und der Geschwindigkeit der Elektronen. (Dass die Austrittsrichtung der Elektronen hier keine Rolle spielt, soll nicht thematisiert werden.) Zur quantitativen Beschreibung wird die Identität von Zentripetal- und Lorentzkraft genutzt:

$$F_z = F_L \Rightarrow \frac{m_e \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B \Rightarrow r = \frac{m_e \cdot v}{e \cdot B}$$

- 2.3 c) Senkrecht aus der Kathode austretende Elektronen erreichen gerade dann noch die Anode, wenn sie sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius d (Abstand zwischen Photokathode und Anode) befinden. Mit $r = d$ sowie $B = B_1$ folgt aus Teilaufgabe b):

$$d = \frac{m_e \cdot v}{e \cdot B_1} \Rightarrow B_1 = \frac{m_e}{e \cdot d} \cdot v$$

Die Geschwindigkeit der Elektronen ergibt sich aus ihrer maximalen kinetischen Energie:

$$E_{\text{kin}} = h \cdot f - W_A \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 = h \cdot f - W_A \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot (h \cdot f - W_A)}{m_e}}$$

Damit ergibt sich insgesamt die gesuchte Beziehung:

$$B_1 = \frac{m_e}{e \cdot d} \sqrt{\frac{2 \cdot (h \cdot f - W_A)}{m_e}}$$

- 2.3 d) Die Elektronen werden in alle Richtungen emittiert. Der Mittelpunkt der Kreisbahn eines Elektrons, das die Kathode senkrecht zur Kathodenoberfläche verlässt, liegt auf der Kathodenfläche. Verlässt ein Elektron die Kathode schräg nach unten (bezogen auf Abbildung 2), so liegt der Mittelpunkt der Kreisbahn zwischen Kathode und Anode. (Verlässt ein Elektron die Kathode schräg nach oben, so liegt der Mittelpunkt der Kreisbahn rechts von der Kathode.) Damit kann ein solches Elektron auch bei einer Kreisbahn mit dem Radius d die Anode noch erreichen. Bei einem Elektron, das die Kathode nahezu parallel zur Oberfläche nach unten verlässt, liegt der Mittelpunkt der Kreisbahn annähernd in der Mitte zwischen Kathode und Anode. Ein solches Elektron erreicht daher auch bei einer Kreisbahn, deren Radius halb so groß ist wie der Abstand zwischen Photokathode und Anode, gerade noch die Anode und damit bei einer Stärke des magnetischen Feldes, die doppelt so groß ist wie B_1 . Erst bei einem noch stärkeren magnetischen Feld erreicht ein solches Elektron die Anode nicht mehr.

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
e)	berechnet die prozentuale Abweichung.	3

Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	beschreibt die Bedeutung der durchgezogenen und gestrichelten Linien.	2
a2)	beschreibt die Verteilung der Schallwellenenergie im Interferenzfeld.	4
b)	berechnet die Wellenlänge.	2
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
c5)	gibt die Lage eines weiteren Punktes von Auslöschung an.	3
c6)	ermittelt die Punkte maximaler Verstärkung auf der Verbindungslinie.	4
d)	beschreibt die Änderung.	3
e1)	erläutert den Begriff Gegensignal.	2
e2)	beschreibt die physikalische Wirkung des Signals.	2

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
e)	bestimmt die maximal mögliche Geschwindigkeit der Elektronen.	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
b3)	beschreibt, dass aufgrund der unveränderten Lichtleistung des Lasers die Anzahl der Photonen und damit die Anzahl der gelösten Elektronen kleiner wird.	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
b)	leitet aus der Kräfteidentität $F_z = F_L$ die gesuchte Gleichung her.	3
c1)	begründet, dass der Radius r einer solchen Kreisbahn gleich dem Abstand d zwischen Photokathode und Gitteranode ist.	2
c2)	bestimmt die Geschwindigkeit der Elektronen mit Hilfe der kinetischen Energie.	2
c3)	setzt in die Gleichung aus Teilaufgabe b) ein und entwickelt durch Umformung die gesuchte Beziehung.	2
d1)	beschreibt, dass die Elektronen das Kathodenmaterial in verschiedene Richtungen verlassen.	2
d2)	erläutert, dass ein schräg nach unten emittiertes Elektron auch bei einem Bahnradius $r = d$ die Anode noch erreicht.	2
d3)	erläutert, dass ein schräg nach unten emittiertes Elektron im Extremfall auch bei einem Bahnradius $r = 0,5 \cdot d$ die Anode noch erreicht, und folgert, dass erst bei einer Stärke des Magnetfeldes größer als $2 \cdot B_1$ kein Photostrom mehr fließt.	2

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe 1: Der Doppelspalt**Teilaufgabe 1.1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
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			
e)	berechnet die prozentuale ...	3			
	Summe Teilaufgabe 1.1	30			

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

Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen Der Prüfling	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a1)	beschreibt die Bedeutung ...	2			
a2)	beschreibt die Verteilung ...	4			
b)	berechnet die Wellenlänge.	2			
c1)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
c2)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
c3)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
c4)	gibt das Interferenzergebnis ...	2			
c5)	gibt die Lage ...	3			
c6)	ermittelt die Punkte ...	4			
d)	beschreibt die Änderung.	3			
e1)	erläutert den Begriff ...	2			
e2)	beschreibt die physikalische ...	2			
	Summe Teilaufgabe 1.2	30			
	Summe Teilaufgaben 1.1 und 1.2	60			

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

	Anforderungen Der Prüfling	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
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			
e)	bestimmt die maximal ...	3			
	Summe Teilaufgabe 2.1	36			

Teilaufgabe 2.2

	Anforderungen Der Prüfling	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	berechnet die Anzahl ...	3			
b1)	erkennt, dass die ...	2			
b2)	beschreibt, dass durch ...	2			
b3)	beschreibt, dass aufgrund ...	2			
	Summe Teilaufgabe 2.2	9			

Teilaufgabe 2.3

	Anforderungen Der Prüfling	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a1)	zeichnet die Flugbahn ...	2			
a2)	begründet den Bahnverlauf ...	3			
b)	leitet aus der ...	3			
c1)	begründet, dass der ...	2			
c2)	bestimmt die Geschwindigkeit ...	2			
c3)	setzt in die ...	2			
d1)	beschreibt, dass die ...	2			
d2)	erläutert, dass ein ...	2			
d3)	erläutert, dass ein ...	2			
	Summe Teilaufgabe 2.3	20			
	Summe Teilaufgaben 2.1, 2.2 und 2.3	65			
	Summe der 1. und 2. Aufgabe	125			

	Summe insgesamt	125			
	aus der Punktsumme resultierende Note				
	Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
	Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktsummen 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	125 – 119
sehr gut	14	118 – 113
sehr gut minus	13	112 – 106
gut plus	12	105 – 100
gut	11	99 – 94
gut minus	10	93 – 88
befriedigend plus	9	87 – 81
befriedigend	8	80 – 75
befriedigend minus	7	74 – 69
ausreichend plus	6	68 – 63
ausreichend	5	62 – 56
ausreichend minus	4	55 – 50
mangelhaft plus	3	49 – 42
mangelhaft	2	41 – 33
mangelhaft minus	1	32 – 25
ungenügend	0	24 – 0