



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Drehung einer Spule im homogenen Magnetfeld

Zwei Einzelspulen werden in Reihe geschaltet und erzeugen im Inneren dieser sogenannten Helmholtzspule ein homogenes Magnetfeld konstanter magnetischer Feldstärke B . Nun wird eine rechteckige, flache Induktionsspule mit 4000 Windungen aus Kupferlackdraht (Durchmesser 0,1 mm) und einer wirksamen Fläche von $41,7 \text{ cm}^2$ im Feld der Helmholtzspule drehbar aufgebaut, sodass ihre Drehachse senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfelds liegt (vgl. Abbildung 1). Die elektrische Verbindung zur Spule wird über Schleifkontakte hergestellt.

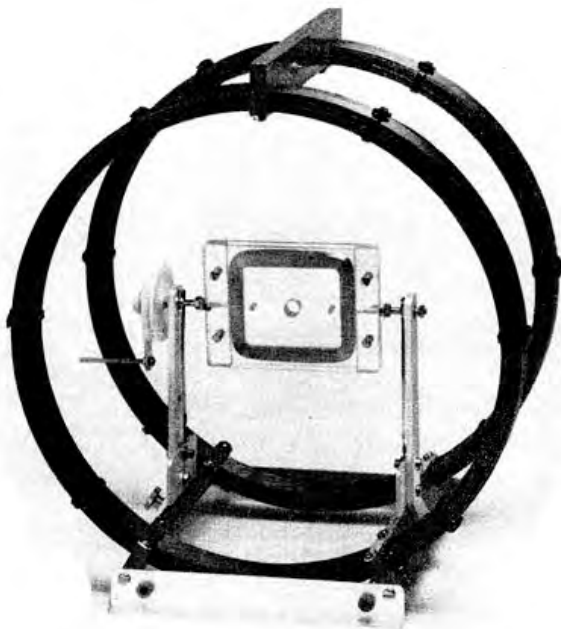


Abbildung 1: aus: NEVA-Versuchsanleitung zu Drehrahmen mit Flachspule 6735279, o. J., S. 1



Name: _____

Auf der Achse des Rahmens der Induktionsspule ist eine Rolle befestigt, mit der die Spule von Hand oder durch einen Motor gedreht werden kann. Das Magnetfeld der Erregerspule ist zeitlich konstant. Die Induktionsspule rotiert gemäß der folgenden Abbildung 2 (Draufsicht auf die Helmholtzspule der Abbildung 1 von oben) mit konstanter Winkelgeschwindigkeit.

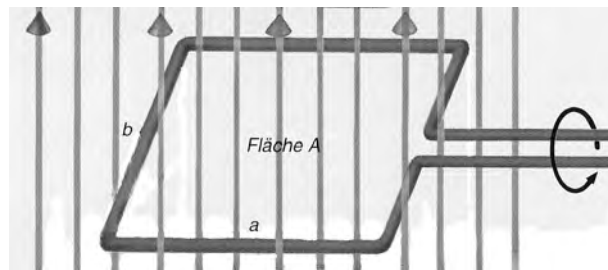


Abbildung 2: Teilskizze aus: J. Grehn, J. Krause: Metzler Physik, 3. Auflage, Hannover 1998, S. 260

Teilaufgabe 1

- a) Ein geeignetes Spannungsmessgerät (z. B. ein Datenlogger) zeichnet mit Hilfe eines Spannungssensors, der an den Schleifkontakten der Spule angeschlossen ist, die Messwerte des Spannungsverlaufs auf. Dieser Verlauf ist in Abbildung 3 dargestellt.

Erklären Sie qualitativ, wie es in der Induktionsspule zur Ausbildung der Spannung kommt.

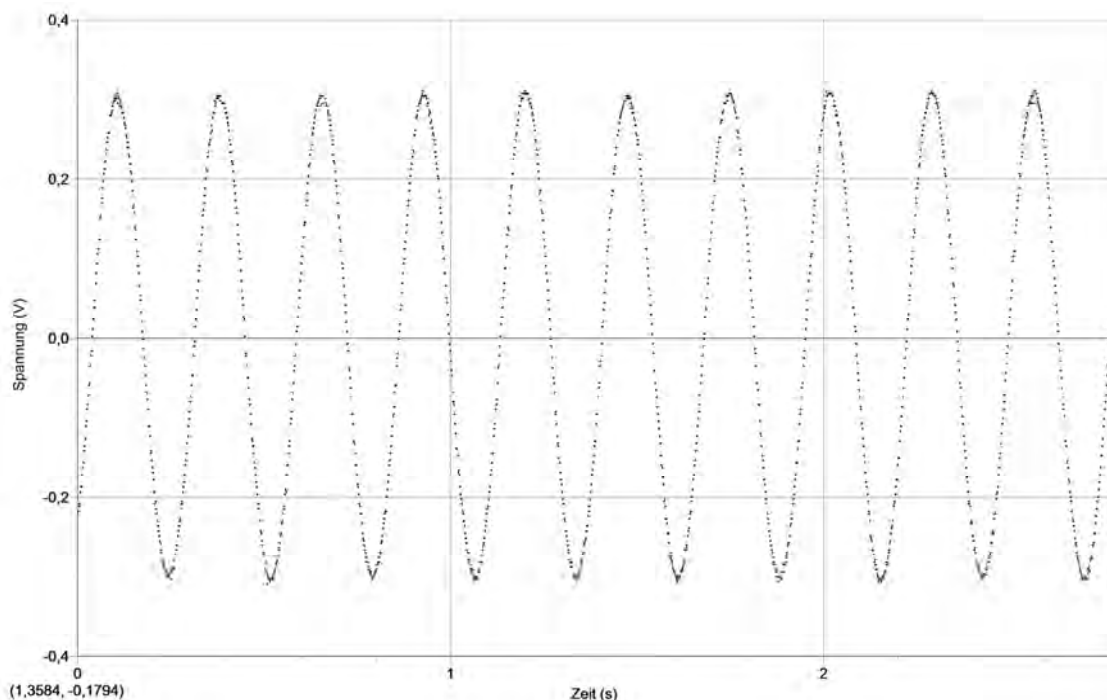


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Induktionsspannung an der Drehspule



Name: _____

- b) Die abgebildete Spannung weist periodisch aufeinander folgende Scheitelwerte und Nulldurchgänge auf.

Erläutern Sie, bei welchen Stellungen der Drehspule diese charakteristischen Werte erreicht werden. Argumentieren Sie dabei mit der magnetischen Flussänderung.

(12 Punkte)

Teilaufgabe 2

- a) Für die induzierte Spannung gilt die Gleichung:

$$U_{\text{ind}} = n \cdot A \cdot B \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t).$$

Leiten Sie diese Gleichung her, wobei Sie von dem sich zeitlich cosinusförmig verändernden magnetischen Fluss Φ ausgehen.

- b) Diese Gleichung für die Spannung lässt sich umformulieren, indem der Scheitelwert U_m der Spannung einbezogen wird.

Leiten Sie diesen Scheitelwert durch Vergleich mit der allgemeinen Gleichung für eine Wechselspannung her.

Ermitteln Sie mit Hilfe des Diagramms gemäß Abbildung 3 die Stärke B des magnetischen Feldes, das die Helmholtzspule erzeugt.

(21 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

- a) Die Drehschleife mit der oben genannten Fläche von $41,7 \text{ cm}^2$ rotiere nun in einem homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 0,8 \text{ mT}$. Dabei wird die Drehfrequenz f der Schleife gleichmäßig erhöht.

Berechnen Sie einen quantitativen Funktionsterm, der die Abhängigkeit des Scheitelwerts der Spannung U_m von der Drehfrequenz f beschreibt.

[Kontrollergebnis: $U_m = n \cdot A \cdot B \cdot \omega = 8,38 \cdot 10^{-2} \text{ Vs} \cdot f$]

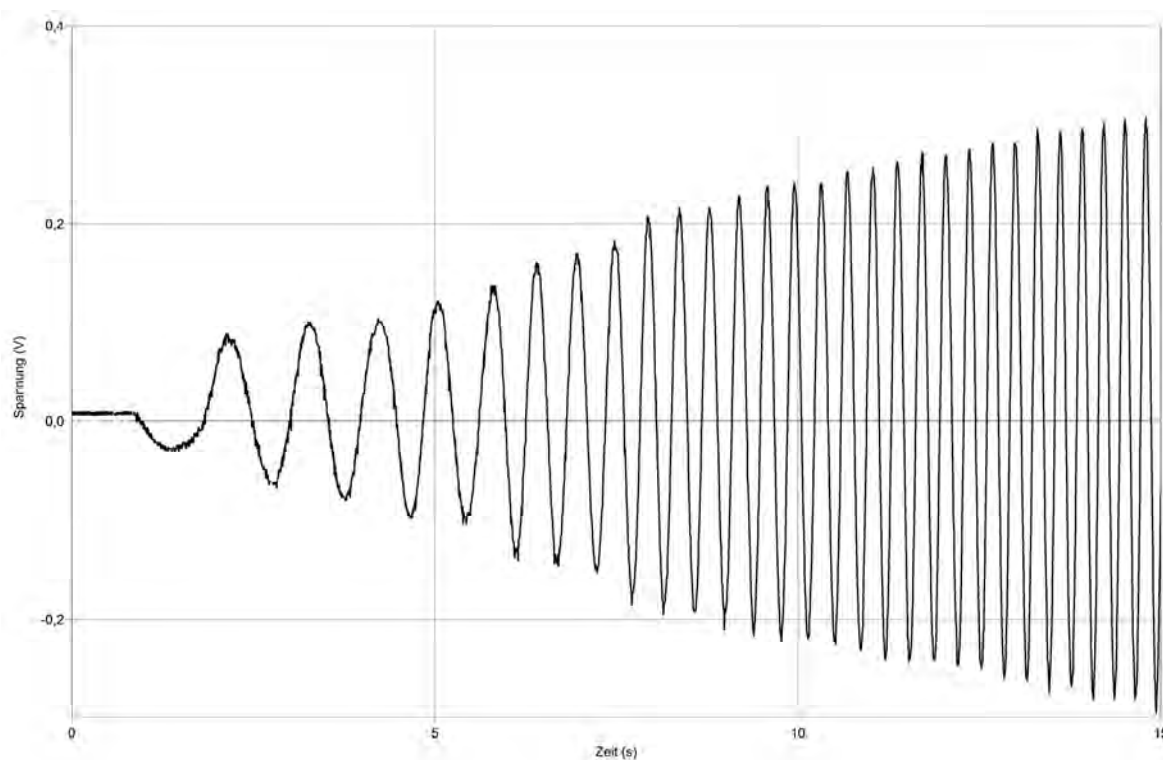


Abbildung 4: Induktionsspannung an der Drehschleife bei zunehmender Drehfrequenz f

- b) Überprüfen Sie für einen Spannungsscheitelwert, den Sie aus Abbildung 4 entnehmen, ob die Gleichung für den Scheitelwert der Spannung aus dem Kontrollergebnis der Teilaufgabe 3 a) erfüllt ist.

[Hinweis: Sie können davon ausgehen, dass innerhalb einer betrachteten Periode die Frequenz im Rahmen der Ablesegenauigkeit konstant bleibt.]

(12 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Bei Wartungsarbeiten an einem Generator stellt ein Techniker sein Notebook in unmittelbarer Nähe eines Kabels ab, durch das ein sinusförmiger Strom großer Stärke fließt. Der Techniker bemerkt eine Erwärmung des Display-Deckels. Innerhalb des Deckels befindet sich ein Metallrahmen aus Aluminium, der zur Stabilisierung des Displays eingebaut wurde (Abbildung 5).

Erläutern Sie aus physikalischer Sicht, warum es hier sinnvoll ist, den Metallrahmen an einer Stelle aufzutrennen und die Lücke durch ein Zwischenstück aus Kunststoff zu schließen.

(5 Punkte)

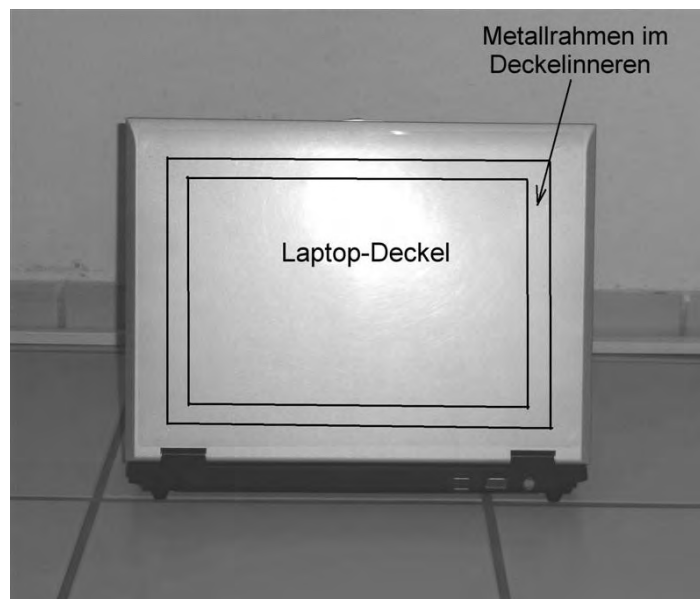


Abbildung 5: Laptopdeckel mit innerem Metallrahmen (schematisch)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

1. Aufgabenart

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

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Drehung einer Spule im homogenen Magnetfeld (50 Punkte)

Hinweis: Nur kombinierbar entweder mit 1NT 2 oder 1NT 4

3. Materialgrundlage

Versuchsmaterial und -aufbau

Hinweise zum Experiment

Versuchsaufbau:

Eine Drehspule wird innerhalb der Helmholtzspule aufgestellt und möglichst fixiert (vgl. Abbildung 1 des Aufgabenblatts).

Versuchsdurchführung:

Sollte kein Messwerterfassungssystem zur Verfügung stehen, kann auch ein Oszilloskop an die Drehspule angeschlossen werden. Steht nur eine Helmholtzspule mit integriertem Fadenstrahlrohr zur Verfügung, kann das Fadenstrahlrohr gelöst und vorsichtig ausgebaut werden. Der Spulenstrom für die Helmholtzspule sollte auf den maximal vom Hersteller zugelassenen Wert (Gerätekarte) eingestellt werden. Die Lehrkraft führt den Versuch mit zwei unterschiedlichen Drehfrequenzen vor. Der Einfluss der Drehfrequenz auf Amplitude und Periodendauer sollte hinreichend deutlich werden. Steht keine Drehspule mit Riemenscheibe zur Verfügung, kann ggf. auch von Hand gedreht werden. Die Versuchsvorführung hat qualitativen Charakter. Die Lehrkraft verweist auf die Aufgabenstellungen.

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld)
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern
- Elektromagnetismus
 - Elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz, Veränderung von A und B (Drehung einer Leiterschleife im homogenen Magnetfeld)
 - Selbstinduktion

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.

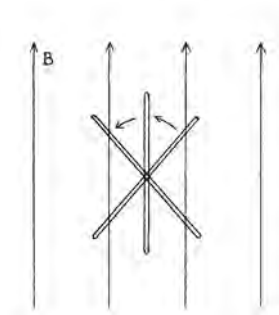
Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

Modelllösungen Aufgabe: Drehung einer Spule im homogenen Magnetfeld**Teilaufgabe 1**

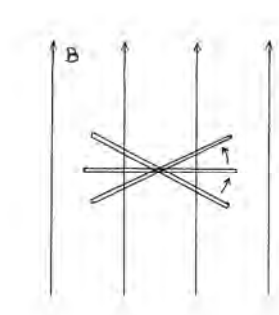
a) Während sich die Induktionsspule im homogenen Magnetfeld mit konstanter Frequenz (konstanter Winkelgeschwindigkeit) dreht, ändert sich die (effektive) Spulenfläche A , die vom Magnetfeld durchsetzt wird. Damit ändert sich der magnetische Fluss Φ , der das (Skalar-)Produkt aus A und B ist, ebenfalls periodisch mit derselben Frequenz. Hierdurch wird in der Induktionsspule eine Induktionsspannung U_{ind} induziert. Diese ändert sich damit ebenfalls mit derselben Frequenz.

b) Entsprechend den genannten Spannungswerten (Scheitelwert und Nulldurchgang) müssen zwei Zeitbereiche und die entsprechenden Positionen der Induktionsspule betrachtet werden. Diese sind die Positionen, in denen die Induktionsspule parallel zu den magnetischen Feldlinien (für den Scheitelwert der Spannung) und senkrecht zu den magnetischen Feldlinien (für den Nulldurchgang der Spannung) orientiert ist.

Man betrachtet die Zeitabschnitte, in denen die Spulenfläche A nahezu nicht von den Feldlinien durchsetzt wird (linke Seite der Abbildung) und von ihnen nahezu senkrecht durchsetzt wird (rechte Seite der Abbildung). Im ersten Fall ist der magnetische Fluss durch die Fläche nahezu null und im zweiten Fall nahezu maximal. Das Umgekehrte gilt für die induzierte Spannung, da diese die zeitliche Änderung (zeitliche Ableitung) des magnetischen Flusses ist (multipliziert mit $(-n)$). Also werden die Spannungsscheitelwerte erreicht, wenn die Induktionsspule parallel zu den Feldlinien orientiert ist (linke Darstellung), und die Nulldurchgänge der Spannung, wenn die Induktionsspule senkrecht zu den Feldlinien steht (rechte Darstellung).



linke Darstellung: Spule parallel zu B



rechte Darstellung: Spule senkrecht zu B

[Hinweis: Man blickt hier von rechts auf die Spulendarstellung in Abbildung 2 und damit auf eine Seite der Länge b .]

Teilaufgabe 2

- a) Der magnetische Fluss durch die Induktionsspule berechnet sich zu:

$$\begin{aligned}\Phi &= A \cdot B \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \\ &= A \cdot B \cdot \cos(\omega \cdot t)\end{aligned}$$

und die zeitliche Ableitung zu: $\dot{\Phi} = -\omega \cdot A \cdot B \cdot \sin(\omega \cdot t)$.

Einsetzen in das Induktionsgesetz $U_{ind} = -n \cdot \dot{\Phi}$ liefert:

$$\begin{aligned}U_{ind} &= (-n) \cdot (-\omega \cdot A \cdot B \cdot \sin(\omega \cdot t)) \\ &= n \cdot A \cdot B \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t).\end{aligned}$$

- b) Die allgemeine Gleichung für eine Wechselspannung lautet:

$$U(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t).$$

Der Vergleich mit der hergeleiteten Gleichung für die induzierte Wechselspannung liefert für den Scheitelwert:

$$U_m = n \cdot A \cdot B \cdot \omega.$$

Da der Scheitelwert neben vorgegebenen Größen die Stärke B des magnetischen Feldes und die Drehfrequenz f als unbekannte Größen enthält, lässt sich B aus dem Spannungsverlauf der Abbildung 3 aus dem Scheitelwert der Spannung und der Frequenz bestimmen. Dazu wird der Scheitelwert aus dem Spannungsverlauf abgelesen. Er ergibt sich zu (etwa):

$$U_m = 0,31 \text{ V}.$$

Die Drehfrequenz kann man ebenfalls aus dem Spannungsverlauf entnehmen. Mittelt man z. B. über 9 volle Perioden, so ergibt sich f zu etwa 3,67 Hz.

Auflösen der Gleichung für den Scheitelwert nach B und Einsetzen der Werte ergibt:

$$\begin{aligned}B &= \frac{U_m}{n \cdot A \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,31 \text{ V}}{4000 \cdot 4,17 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 3,67 \text{ Hz}} \\ &= 8 \cdot 10^{-4} \text{ T} = 0,8 \text{ mT}.\end{aligned}$$

Teilaufgabe 3

- a) Setzt man in den Scheitelwert der Spannung alle Größen ein, erkennt man, dass neben gegebenen, festen Größen nur noch die Frequenz f als Variable auftritt. Mit den gegebenen Werten erhält man:

$$\begin{aligned}U_m &= n \cdot A \cdot B \cdot \omega \\&= 4000 \cdot 4,17 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \\&= 8,38 \cdot 10^{-2} \cdot V_s \cdot f.\end{aligned}$$

- b) Aus dem Spannungsverlauf der Abbildung 4 entnimmt man den Wert für die Periodendauer und für die zugehörige Scheitelspannung.

Man erhält z. B.:

Um den Zeitpunkt 5 Sekunden: $f \approx 1,1 \text{ Hz}$ und $U_m \approx 0,11 \text{ V}$

Der berechnete Wert liegt bei: $U_m = 8,38 \cdot 10^{-2} V_s \cdot 1,1 \text{ Hz} = 0,092 \text{ V}$

(2. Beispiel: Um den Zeitpunkt 10 Sekunden: $f \approx 2,7 \text{ Hz}$ und $U_m \approx 0,25 \text{ V}$)

Der berechnete Wert liegt bei: $U_m = 8,38 \cdot 10^{-2} V_s \cdot 2,7 \text{ Hz} = 0,27 \text{ V}$)

Im Rahmen der Ablesegenauigkeit stimmen diese Werte mit den berechneten zufriedenstellend überein. Es ist jeweils eine angemessene Ableseungenauigkeit zu tolerieren.

Teilaufgabe 4

Der Rahmen des Notebook-Displays wird von einem magnetischen Wechselfeld durchsetzt, welches durch den Wechselstrom in der Leitung erzeugt wird. Die Änderungen des magnetischen Feldes erzeugen im Aluminiumrahmen eine Induktionsspannung und einen entsprechenden starken Induktionsstrom. Der Induktionsstrom bewirkt die Erwärmung des Rahmens. Wird der Rahmen aufgetrennt, kann kein Strom mehr fließen. Damit kommt es nicht mehr zu einer Erwärmung.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Drehung einer Spule im homogenen Magnetfeld****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erklärt, wie es zur Spannung kommt.	4
b)	erläutert, bei welchen Stellungen die charakteristischen Werte erreicht werden.	8

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	leitet die Gleichung her.	3
b1)	leitet den Scheitelwert her.	8
b2)	ermittelt die Stärke B .	10

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	berechnet den Funktionsterm.	4
b)	überprüft die Gleichung für den Scheitelwert.	8

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erläutert, warum es sinnvoll ist, den Rahmen aufzutrennen.	5

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Drehung einer Spule im homogenen Magnetfeld**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
a)	erklärt, wie es ...	4			
b)	erläutert, bei welchen ...	8			
	Summe Teilaufgabe 1	12			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	leitet die Gleichung ...	3			
b1)	leitet den Scheitel...	8			
b2)	ermittelt die Stärke ...	10			
	Summe Teilaufgabe 2	21			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	berechnet den Funktionsterm.	4			
b)	überprüft die Gleichung ...	8			
	Summe Teilaufgabe 3	12			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erläutert, warum es ...	5			
	Summe Teilaufgabe 4	5			

	Summe insgesamt	50			
--	------------------------	----	--	--	--

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

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	50			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	50			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	100			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 39
mangelhaft plus	3	38 – 33
mangelhaft	2	32 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Strahlung von Strontium-90

Strontium-90 (^{90}Sr) ist ein radioaktives Isotop, das einerseits bei manchen Unfällen in Nuklearanlagen unabsichtlich freigesetzt wurde, andererseits aber auch in der medizinischen Therapie und in der Schule zu Untersuchungen nutzbringend eingesetzt wird.

^{90}Sr ist ein β^- -Strahler mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2,1} = 28,64 \text{ a}$ und zerfällt in eine Tochtersubstanz X , die ihrerseits wiederum als erneuter β^- -Strahler mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2,2} = 64,1 \text{ h}$ in die stabile Endsubstanz Z zerfällt.

Teilaufgabe 1

a) Stellen Sie für beide Zerfälle die Kernumwandlungsgleichungen auf und identifizieren Sie die beiden Substanzen X und Z anhand der im Anhang beigefügten Nuklidkarte.

b) Eine Schule besitzt ein ^{90}Sr -Präparat, das vor genau 10 Jahren hergestellt wurde und unmittelbar nach der Herstellung ausschließlich aus $N_1(0)$ Atomen ^{90}Sr bestand.

Die Startaktivität lag bei $A_1(0) = 74 \text{ kBq}$.

Bestätigen Sie rechnerisch den Wert $N_1(0) \approx 9,65 \cdot 10^{13}$.

Berechnen Sie, welcher Prozentsatz der ursprünglichen ^{90}Sr -Masse heute, also 10 Jahre nach der Herstellung des Präparates, noch im Präparat enthalten ist.

(16 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2

Bei der Bestimmung des β^- -Zerfalls der Tochtersubstanz X ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl $N_2(t)$ der Atome des Tochterelements X sowohl durch die Abnahme infolge des β^- -Zerfalls von X selber als auch durch die Zunahme durch den β^- -Zerfall der Muttersubstanz ${}^{90}\text{Sr}$ bestimmt wird. Für $N_2(t)$ gilt die Gleichung:

$$N_2(t) = N_1(0) \cdot \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$

- a) Ermitteln Sie jeweils die Anzahl der Atome der Muttersubstanz ${}^{90}\text{Sr}$, der Tochtersubstanz X und der stabilen Endsubstanz Z im Präparat zum heutigen Zeitpunkt, also 10 Jahre nach der Herstellung.
- b) Berechnen Sie die Gesamtaktivität $A_{\text{ges}}(t)$ des Präparates zum heutigen Zeitpunkt.

(11 Punkte)

Teilaufgabe 3

Um die Energieverteilung der Elektronen des ${}^{90}\text{Sr}$ -Präparates zu ermitteln, wird der in Abbildung 1 dargestellte Versuchsaufbau verwendet.

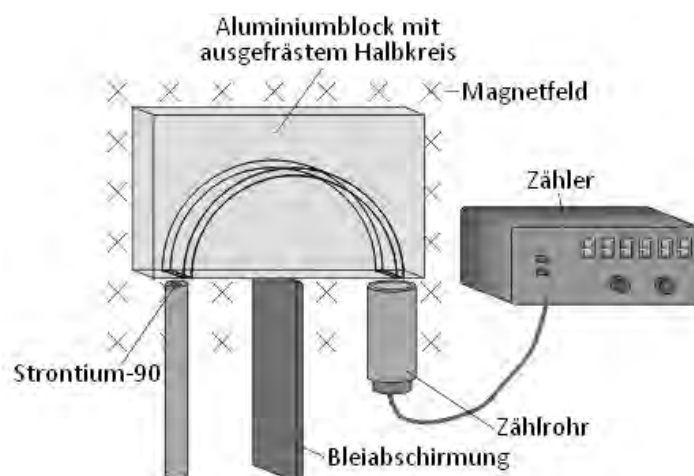


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Messung der Energieverteilung der Elektronen



Name: _____

- Begründen Sie die Richtung des Magnetfelds, mit dessen Hilfe die Elektronen auf der halbkreisförmigen Bahn vom Präparat zum Zählrohr gelangen.
- Begründen Sie, warum die vom Präparat ausgesandten Elektronen in dem Magnetfeld eine halbkreisförmige Bahn beschreiben.
- Eine Messung ergibt den in Abbildung 2 dargestellten Zusammenhang zwischen der Stärke B des Magnetfelds (in mT) und der bereits um den Nulleffekt bereinigten Zählrate R (in Impulsen pro 30 Minuten):

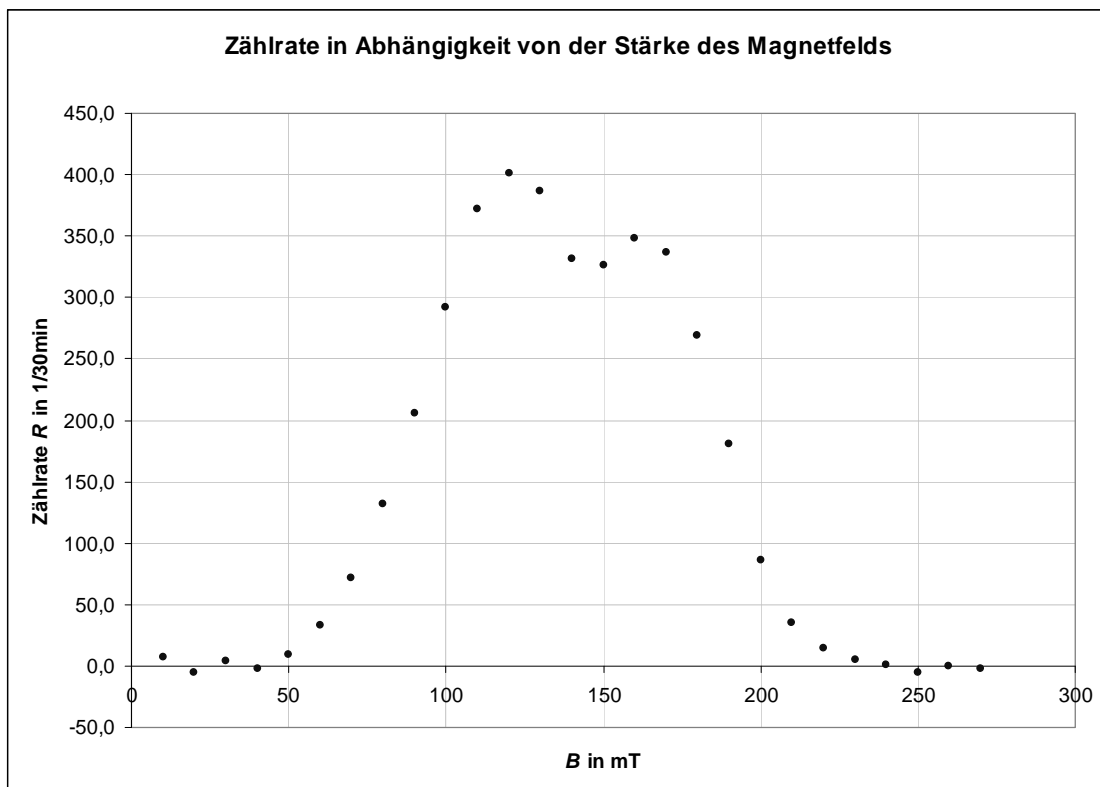


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Stärke B des Magnetfelds und der Zählrate R

Begründen Sie, wie die am linken und rechten Rand der Messkurve auftretenden „kleinen“ negativen Werte für die Zählrate R erklärt werden können.

Ermitteln Sie anhand der Kurve denjenigen Wert für B , für den die schnellsten vom Präparat ausgesandten Elektronen zum Zählrohr gelangen.

Begründen Sie, warum das Spektrum in Abbildung 2 zwei Maxima zeigt.

(15 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Im Vergleich zur Muttersubstanz ist die Tochtersubstanz eines ^{90}Sr -Präparates sehr kurzlebig. Bei einem solchen Gemisch stellt sich nach der Herstellung des Präparats rasch ein „Gleichgewicht“ zwischen der Aktivität der Tochter- und der Mutterkerne ein.

Berechnet man das Verhältnis $\frac{A_2(t)}{A_1(t)}$ der Aktivitäten von Tochtersubstanz $A_2(t)$ und

Muttersubstanz $A_1(t)$, ergibt sich für den zeitlichen Verlauf des Graphen von $\frac{A_2(t)}{A_1(t)}$ die

Darstellung in Abbildung 3:

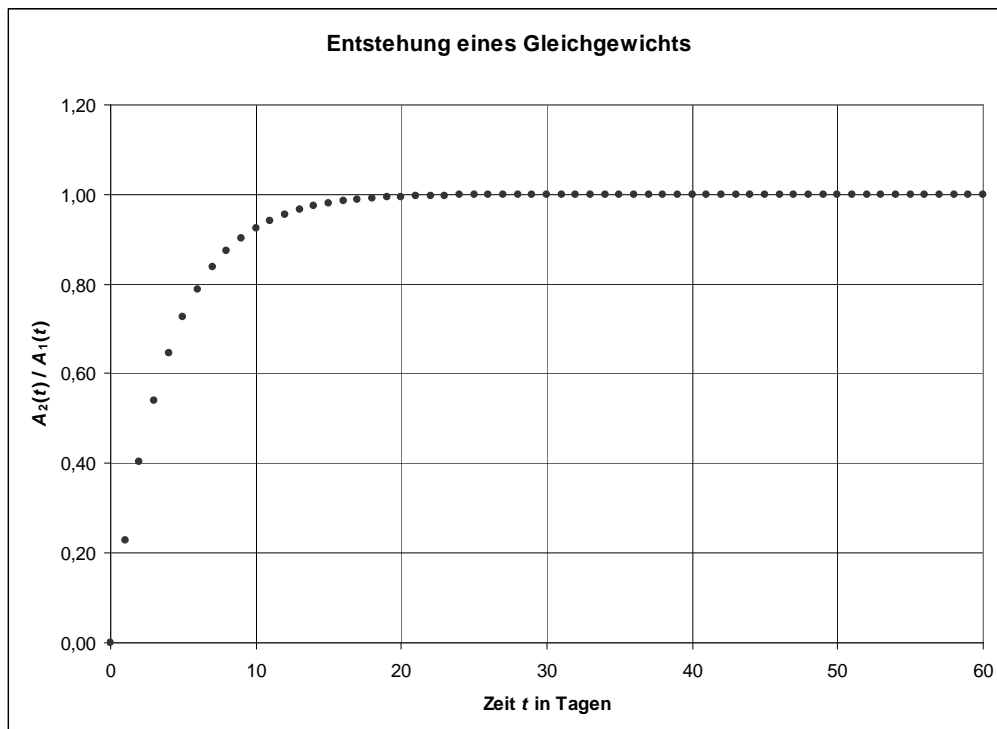


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Aktivitätsverhältnisses von Tochter- und Muttersubstanz

- Begründen Sie den Verlauf des Graphen aus physikalischer Sicht.
- Es lässt sich rechnerisch nachweisen (und in Abbildung 3 erahnen), dass die Aktivität der Tochtersubstanz im Gleichgewicht (sogar) leicht größer ist als die der Muttersubstanz. Diese Tatsache erscheint auf den ersten Blick widersinnig: Es können offensichtlich nicht mehr Tochteratome zerfallen, als gebildet werden.

Erörtern Sie diesen scheinbaren Widerspruch.

(8 Punkte)



Name: _____

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Anhang: Auszug aus einer Nuklidkarte

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc
⁷⁵ As	⁷⁶ Se	⁷⁷ Br	⁷⁸ Kr	⁷⁹ Rb	⁸⁰ Sr	⁸¹ Y	⁸² Zr	⁸³ Nb	⁸⁴ Mo	
⁷⁶ As	⁷⁷ Se	⁷⁸ Br	⁷⁹ Kr	⁸⁰ Rb	⁸¹ Sr	⁸² Y	⁸³ Zr	⁸⁴ Nb	⁸⁵ Mo	⁸⁶ Tc
⁷⁷ As	⁷⁸ Se	⁷⁹ Br	⁸⁰ Kr	⁸¹ Rb	⁸² Sr	⁸³ Y	⁸⁴ Zr	⁸⁵ Nb	⁸⁶ Mo	⁸⁷ Tc
⁷⁸ As	⁷⁹ Se	⁸⁰ Br	⁸¹ Kr	⁸² Rb	⁸³ Sr	⁸⁴ Y	⁸⁵ Zr	⁸⁶ Nb	⁸⁷ Mo	⁸⁸ Tc
⁷⁹ As	⁸⁰ Se	⁸¹ Br	⁸² Kr	⁸³ Rb	⁸⁴ Sr	⁸⁵ Y	⁸⁶ Zr	⁸⁷ Nb	⁸⁸ Mo	⁸⁹ Tc
⁸⁰ As	⁸¹ Se	⁸² Br	⁸³ Kr	⁸⁴ Rb	⁸⁵ Sr	⁸⁶ Y	⁸⁷ Zr	⁸⁸ Nb	⁸⁹ Mo	⁹⁰ Tc
⁸¹ As	⁸² Se	⁸³ Br	⁸⁴ Kr	⁸⁵ Rb	⁸⁶ Sr	⁸⁷ Y	⁸⁸ Zr	⁸⁹ Nb	⁹⁰ Mo	⁹¹ Tc
⁸² As	⁸³ Se	⁸⁴ Br	⁸⁵ Kr	⁸⁶ Rb	⁸⁷ Sr	⁸⁸ Y	⁸⁹ Zr	⁹⁰ Nb	⁹¹ Mo	⁹² Tc
⁸³ As	⁸⁴ Se	⁸⁵ Br	⁸⁶ Kr	⁸⁷ Rb	⁸⁸ Sr	⁸⁹ Y	⁹⁰ Zr	⁹¹ Nb	⁹² Mo	⁹³ Tc
⁸⁴ As	⁸⁵ Se	⁸⁶ Br	⁸⁷ Kr	⁸⁸ Rb	⁸⁹ Sr	⁹⁰ Y	⁹¹ Zr	⁹² Nb	⁹³ Mo	⁹⁴ Tc
⁸⁵ As	⁸⁶ Se	⁸⁷ Br	⁸⁸ Kr	⁸⁹ Rb	⁹⁰ Sr	⁹¹ Y	⁹² Zr	⁹³ Nb	⁹⁴ Mo	⁹⁵ Tc
⁸⁶ As	⁸⁷ Se	⁸⁸ Br	⁸⁹ Kr	⁹⁰ Rb	⁹¹ Sr	⁹² Y	⁹³ Zr	⁹⁴ Nb	⁹⁵ Mo	⁹⁶ Tc
⁸⁷ As	⁸⁸ Se	⁸⁹ Br	⁹⁰ Kr	⁹¹ Rb	⁹² Sr	⁹³ Y	⁹⁴ Zr	⁹⁵ Nb	⁹⁶ Mo	⁹⁷ Tc
	⁸⁹ Se	⁹⁰ Br	⁹¹ Kr	⁹² Rb	⁹³ Sr	⁹⁴ Y	⁹⁵ Zr	⁹⁶ Nb	⁹⁷ Mo	⁹⁸ Tc
	⁹⁰ Se	⁹¹ Br	⁹² Kr	⁹³ Rb	⁹⁴ Sr	⁹⁵ Y	⁹⁶ Zr	⁹⁷ Nb	⁹⁸ Mo	⁹⁹ Tc
	⁹¹ Se	⁹² Br	⁹³ Kr	⁹⁴ Rb	⁹⁵ Sr	⁹⁶ Y	⁹⁷ Zr	⁹⁸ Nb	⁹⁹ Mo	¹⁰⁰ Tc
		⁹³ Br	⁹⁴ Kr	⁹⁵ Rb	⁹⁶ Sr	⁹⁷ Y	⁹⁸ Zr	⁹⁹ Nb	¹⁰⁰ Mo	¹⁰¹ Tc
			⁹⁵ Kr	⁹⁶ Rb	⁹⁷ Sr	⁹⁸ Y	⁹⁹ Zr	¹⁰⁰ Nb	¹⁰¹ Mo	¹⁰² Tc
			⁹⁶ Kr	⁹⁷ Rb	⁹⁸ Sr	⁹⁹ Y	¹⁰⁰ Zr	¹⁰¹ Nb	¹⁰² Mo	¹⁰³ Tc

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Strahlung von Strontium-90

(50 Punkte)

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

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern
- Atom- und Kernphysik
 - Ionisierende Strahlung und ihre Energieverteilung
 - Radioaktiver Zerfall

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

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

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modellösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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

Modellösungen Aufgabe: Strahlung von Strontium-90

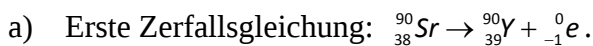
Vorabdaten

Lit.-Werte gemäß Karlsruher Nuklidkarte 6. Auflage 1995

$$\lambda_1 = \frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}1}} = \frac{\ln(2)}{28,64 \cdot 365,2 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} \approx 7,67 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{s}}$$

$$\lambda_2 = \frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}2}} = \frac{\ln(2)}{64,1 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}} \approx 3,00 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{s}}$$

Teilaufgabe 1



Das Tochterelement ist Yttrium-90.



Das stabile Endelement ist Zirkonium-90.

b) Berechnung des Wertes $N_1(0)$:

Für die Aktivität gilt: $A_1(t) = -\lambda \cdot N_1(t)$. Für $N_1(t)$ gilt: $N_1(t) = N_1(0) \cdot e^{-\lambda t}$.

Daraus ergibt sich: $A_1(t) = -\lambda \cdot N_1(0) \cdot e^{-\lambda t}$. Für $t = 0$ also: $A_1(0) = -\lambda \cdot N_1(0)$.

Mit $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{\frac{1}{2}}}$ ergibt sich damit für die gesuchte Größe: $N_1(0) = -\frac{A_1(0)}{\ln(2)} \cdot T_{\frac{1}{2}1}$ oder, da die

$$\text{Aktivität betragsmäßig gegeben ist, } N_1(0) = \left| -\frac{A_1(0)}{\ln(2)} \cdot T_{\frac{1}{2}1} \right|.$$

Mit den gegebenen Zahlenwerten erhält man:

$$N_1(0) = \frac{A_1(0)}{\ln(2)} \cdot T_{1/2} = \frac{74 \cdot 10^3 \frac{1}{s}}{\ln(2)} \cdot 28,64 \cdot 365,2 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} \approx 9,64 \cdot 10^{13}.$$

Berechnung des Prozentsatzes:

$$\text{Es ist } N_1(t) = N_1(0) \cdot e^{-\lambda_1 t} = N_1(0) \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} t}, \text{ also } \frac{N_1(t)}{N_1(0)} = e^{-\frac{\ln(2)}{T_{1/2}} t} = e^{-\frac{\ln(2)}{28,64a} \cdot 10a} \approx 0,785 = 78,5\%.$$

Teilaufgabe 2

a) Strontium-90-Mutter-Atome nach 10 Jahren:

$$\text{Es ist } N_1(10a) = N_1(0) \cdot e^{-\lambda_1 t} = 9,65 \cdot 10^{13} \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{28,64a} \cdot 10a} \approx 7,57 \cdot 10^{13}.$$

Es sind nach 10 Jahren noch ungefähr $7,57 \cdot 10^{13}$ Strontium-90-Atome vorhanden.

Yttrium-90-Tochter-Atome nach 10 Jahren:

$$N_2(10a) = N_1(0) \cdot \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \cdot (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \approx 1,93 \cdot 10^{10}.$$

Es sind nach 10 Jahren ungefähr $1,93 \cdot 10^{10}$ Yttrium-90-Atome vorhanden.

Zirkonium-90-Endsubstanz-Atome nach 10 Jahren:

$$N_3(10a) = N_1(0) - N_1(10a) - N_2(10a) = 9,65 \cdot 10^{13} - 7,57 \cdot 10^{13} - 1,93 \cdot 10^{10} \approx 2,07 \cdot 10^{13}.$$

Es sind nach 10 Jahren ungefähr $2,07 \cdot 10^{13}$ Zirkonium-90-Atome vorhanden.

b) Es ist $A_{ges}(10a) = A_1(10a) + A_2(10a)$, also die Summe der Aktivitäten von Strontium und Yttrium.

$$A_{ges}(10a) = A_1(10a) + A_2(10a) = \lambda_1 \cdot N_1(10a) + \lambda_2 \cdot N_2(10a)$$

$$A_{ges}(10a) = 7,67 \cdot 10^{-10} \frac{1}{s} \cdot 7,57 \cdot 10^{13} + 3,00 \cdot 10^{-6} \frac{1}{s} \cdot 1,93 \cdot 10^{10},$$

$$A_{ges}(10a) \underset{\text{gerundet auf Hundert}}{\approx} (58100 + 58100) \frac{1}{s} = 116200 \frac{1}{s}.$$

Die Gesamtaktivität beträgt ca. 116 kBq.

Teilaufgabe 3

- a) Nach der Drei-Finger-Regel (der linken bzw. der rechten Hand) muss das Magnetfeld in die Zeichenebene hinein gerichtet sein, damit die Elektronen auf ihrer Bahn eine Ablenkung nach rechts erfahren und somit die dargestellte Kreisbahn durchlaufen können. Dieses Magnetfeld ist entsprechend eingezeichnet.
- b) Die Elektronen erfahren im Magnetfeld aufgrund ihrer vorhandenen Geschwindigkeit die Lorentzkraft, die als Zentralkraft wirkt, da sie immer senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen steht, somit deren Geschwindigkeit betragsmäßig nicht verändert und daher immer betragsmäßig konstant ist. Sie bewegen sich daher auf einer (Halb-) Kreisbahn.

c) *Negative Werte an beiden Enden:*

Negative Werte am rechten Ende: Hier werden keine Elektronen registriert, da die Energie der vom Präparat ausgesandten Elektronen nach oben begrenzt ist. Da die Zählraten bereits um den Nulleffekt bereinigt angegeben sind, sind bei erneuten Messungen „kleine“ negative Werte aufgrund der natürlichen Schwankungen beim radioaktiven Zerfall nicht auszuschließen.

Negative Werte am linken Ende: Hier werden so wenige (sehr energiearme) Elektronen des Präparates registriert, dass ebenfalls aufgrund der statistischen Schwankungen negative Werte auftreten können.

Wert für B für die schnellsten Elektronen:

Aus dem Diagramm in Abbildung 2 liest man am rechten Ende der Kurve den Abfall auf Null ab: $B \approx 230 \text{ mT}$.

Begründung für zwei Maxima:

Das Präparat enthält die beiden Beta-Strahler Strontium-90 und Yttrium-90, deren Energiespektren sich hier überlagern, sodass zwei Maxima erkennbar werden.

Teilaufgabe 4

- a) Unmittelbar nach Herstellung des Präparates sind noch keine bzw. nur sehr wenige Atome der Tochtersubstanz vorhanden, daher ist auch das Aktivitätsverhältnis zunächst nahe bei Null.

Mit zunehmender Zeit wächst die Anzahl der Atome der Tochtersubstanz und damit ihre Aktivität, während die Aktivität der Muttersubstanz langsam abnimmt: das Aktivitätsverhältnis wächst.

Nach einer gewissen Zeit werden ungefähr so viele Atome der Tochtersubstanz aus der Muttersubstanz gebildet, wie auch wegen der kleinen Halbwertszeit der Tochtersubstanz zerfallen, es entsteht ein Gleichgewicht.

- b) Dies erscheint auf den ersten Blick widersinnig, denn es können offensichtlich nicht mehr Tochteratome zerfallen, als gebildet werden. Dennoch ist das Ergebnis richtig: Die zerfallenden Tochteratome wurden nämlich „geboren“, als noch mehr Mutteratome als gegenwärtig vorhanden waren.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Strahlung von Strontium-90****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	stellt für beide Zerfälle die Kernumwandlungsgleichungen auf.	4
a2)	identifiziert die beiden Substanzen.	2
b1)	bestätigt rechnerisch den Wert für $N_1(0)$.	6
b2)	berechnet den Prozentsatz der ^{90}Sr -Masse.	4

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	ermittelt die Anzahl der Atome der Muttersubstanz ^{90}Sr .	3
a2)	ermittelt die Anzahl der Atome der Tochtersubstanz X.	2
a3)	ermittelt die Anzahl der Atome der stabilen Endsubstanz Z.	2
b)	berechnet die Gesamtaktivität des Präparates.	4

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	begründet die Richtung des Magnetfelds.	2
b)	begründet die halbkreisförmige Bahn der Elektronen.	3
c1)	begründet die am linken und rechten Rand der Messkurve auftretenden negativen Werte.	4
c2)	ermittelt den Wert für B, für den die schnellsten vom Präparat ausgesandten Elektronen zum Zählrohr gelangen.	3
c3)	begründet die zwei Maxima.	3

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	begründet den Verlauf des Graphen.	4
b)	erörtert den scheinbaren Widerspruch.	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Strahlung von Strontium-90

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	stellt für beide ...	4			
a2)	identifiziert die beiden ...	2			
b1)	bestätigt rechnerisch den ...	6			
b2)	berechnet den Prozentsatz ...	4			
	Summe Teilaufgabe 1	16			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	ermittelt die Anzahl ...	3			
a2)	ermittelt die Anzahl ...	2			
a3)	ermittelt die Anzahl ...	2			
b)	berechnet die Gesamtaktivität ...	4			
	Summe Teilaufgabe 2	11			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet die Richtung ...	2			
b)	begründet die halbkreisförmige ...	3			
c1)	begründet die am ...	4			
c2)	ermittelt den Wert ...	3			
c3)	begründet die zwei ...	3			
	Summe Teilaufgabe 3	15			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet den Verlauf ...	4			
b)	erörtert den scheinbaren ...	4			
	Summe Teilaufgabe 4	8			

	Summe insgesamt	50			
--	------------------------	-----------	--	--	--

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

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	50			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	50			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	100			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 39
mangelhaft plus	3	38 – 33
mangelhaft	2	32 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Linearbeschleuniger für Protonen

Ein Linearbeschleuniger besteht aus mehreren röhrenförmigen Elektroden, sogenannten Driftröhren, die entlang der Achse einer evakuierten Röhre angeordnet sind. An die Driftröhren wird eine hochfrequente rechteckförmige Wechselspannung angelegt. Das Innere dieser Driftröhren ist feldfrei. Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum.

Elektrisch geladene Teilchen, die den Linearbeschleuniger durchlaufen, werden in den Zwischenräumen zwischen den Driftröhren mit der Spannung U beschleunigt. Die Länge der Driftröhren und die Frequenz der anliegenden Wechselspannung sind so aufeinander abgestimmt, dass die Teilchen die Röhren während einer halben Periodendauer der Wechselspannung durchlaufen.

Im linken Teil von Abbildung 1 ist ein solcher Linearbeschleuniger dargestellt. Protonen, die die Quelle „Q“ mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit verlassen, werden im Raum zwischen „Q“ und der mit „1“ bezeichneten ersten Driftröhre zum ersten Mal beschleunigt. Die Abstände zwischen den einzelnen Driftröhren sind gegenüber ihren Längen vernachlässigbar. Nach dem Verlassen des Linearbeschleunigers werden die Protonen in einem homogenen Magnetfeld B abgelenkt, das die in Abbildung 1 angegebene Form eines Kreissegments hat. Die Bahn der Protonen ist gestrichelt gezeichnet.



Name: _____

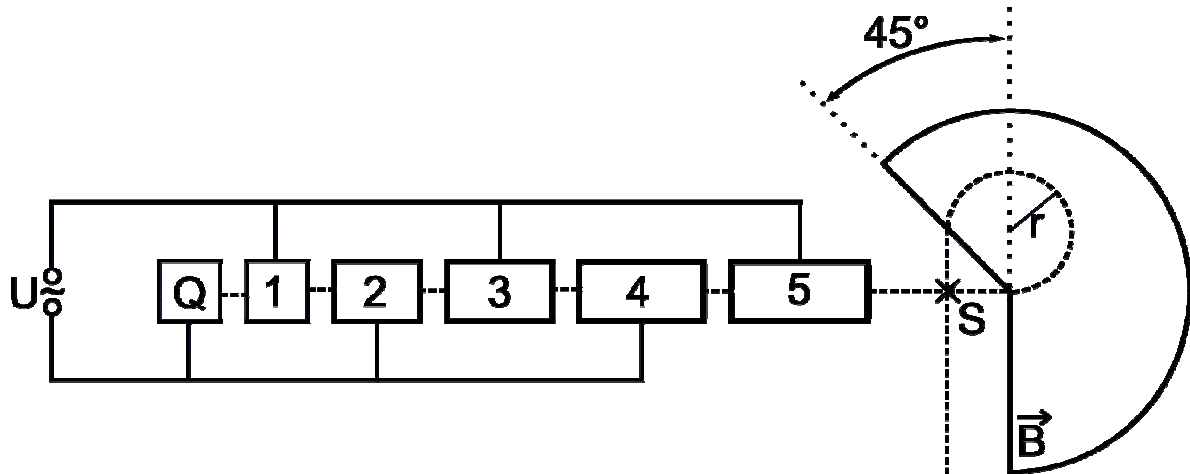


Abbildung 1

Der Linearbeschleuniger werde mit einer Spannung der Frequenz $f = 10$ MHz mit einem Maximalwert der Spannung von $U = 70$ kV betrieben.

Teilaufgabe 1

- a) Begründen Sie, warum die anliegende Wechselspannung ihre Polarität bis zum Eintritt der Protonen in den Spalt zwischen der ersten und zweiten Driftröhre geändert haben muss, um die Protonen weiter zu beschleunigen.

Erläutern Sie, warum weitere Protonen erst dann wieder von der Quelle Q zur ersten Driftröhre beschleunigt werden können, wenn sich die zuvor beschleunigten Protonen im Spalt zwischen der zweiten und dritten Driftröhre befinden.

- b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_1 der Protonen nach dem Beschleunigungsvorgang zwischen der Quelle Q und der ersten Driftröhre.

[Kontrollergebnis: $v_1 = 3,66 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Erläutern Sie, nach wie vielen weiteren Beschleunigungsvorgängen sich die Geschwindigkeit der Protonen verdoppelt hat.

Berechnen Sie die Länge L_1 der ersten Driftröhre.

(14 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2

Die Protonen treten nach dem Verlassen des Linearbeschleunigers mit der Geschwindigkeit $v_5 = 8,19 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ in den rechten Teil der in Abbildung 1 dargestellten Anordnung ein. Dieser Teil besteht aus einem homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 233,6 \text{ mT}$ in der in Abbildung 1 angegebenen Form. Die Protonen werden dabei so abgelenkt, dass sie die gestrichelte Bahn durchlaufen.

- a) *Begründen Sie den Bahnverlauf im Magnetfeld B .
Geben Sie die Richtung des Magnetfelds B an.
Begründen Sie, warum sich die kinetische Energie der Protonen im Magnetfeld nicht ändert.*
- b) Die Protonen durchlaufen auf ihrer Bahn zwei Mal den in Abbildung 1 eingezeichneten Punkt S.
Bestimmen Sie die Strecke d , die die Protonen zwischen den beiden Durchläufen durch den Punkt S zurücklegen.
[Kontrollergesult: $d = 2,46 \text{ m}$]
- c) *Prüfen Sie, ob die Gefahr besteht, dass Protonen im Punkt S mit nachfolgenden Protonen kollidieren.*
- d) In Folge eines technischen Defektes fällt die fünfte Driftröhre aus und die Protonen werden nach der vierten Röhre nicht weiter geradlinig beschleunigt.
*Skizzieren Sie in Abbildung 1 die neue Bahn der Protonen nach dem Eintritt in das Magnetfeld.
Begründen Sie, dass die Protonen unabhängig von ihrer Geschwindigkeit v das Magnetfeld immer senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn verlassen.*

(26 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Form und Position des Magnetfelds werden nun, wie in Abbildung 2 dargestellt, modifiziert.

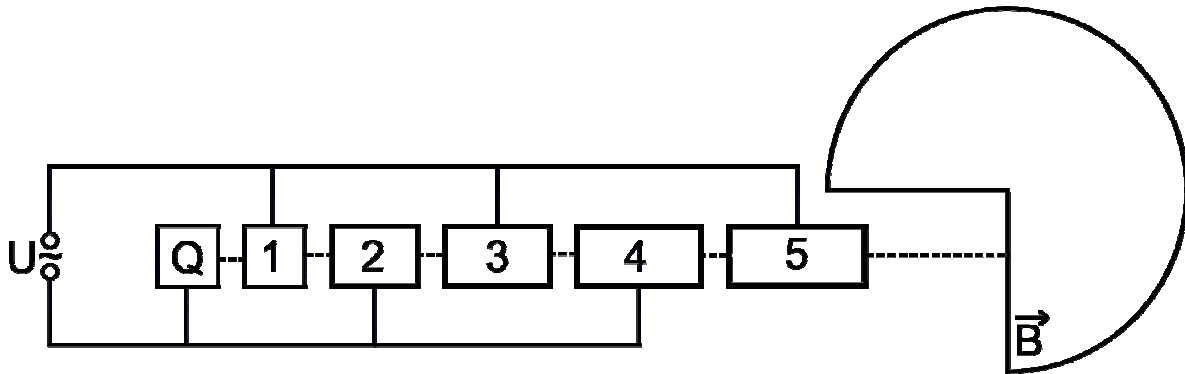


Abbildung 2

- Skizzieren Sie in Abbildung 2 die Bahn von Protonen, die das Magnetfeld senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn verlassen.*
- Begründen Sie, dass die Protonen in dieser Anordnung nur bei genau einer bestimmten Geschwindigkeit das Magnetfeld senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn verlassen. Beschreiben Sie, wie Sie vorgehen würden, um diese Geschwindigkeit zu berechnen, und nennen Sie die physikalischen und geometrischen Größen, die zur Berechnung bekannt sein müssten.*

(10 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Linearbeschleuniger für Protonen

(50 Punkte)

Hinweis: Nur kombinierbar entweder mit 1NT 2 oder 1NT 4

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld, radialsymmetrisches Feld)
 - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft, Energie des magnetischen Feldes (Stromwaage)
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Braunsche Röhre, Fadenstrahlrohr, Wien-Filter, Hall-Effekt)

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

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

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modellösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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

Modellösungen Aufgabe: Linearbeschleuniger für Protonen

Teilaufgabe 1

- a) Während die Protonen im Spalt zwischen der Quelle und der ersten Driftröhre beschleunigt werden, sind die Driftröhren 1, 3 und 5 negativ und die Driftröhren 2 und 4 positiv gepolt. Bei dieser Polarität würden die Protonen aufgrund ihrer positiven Ladung im Spalt zwischen der ersten und der zweiten Driftröhre abgebremst. Die anliegende Wechselspannung muss ihre Polarität also bis zum Austritt der Protonen aus der ersten Driftröhre geändert haben, damit die erste Driftröhre positiv und die zweite Driftröhre negativ gepolt ist und die Protonen weiter beschleunigt werden.

Weitere Protonen können erst dann wieder zur ersten Driftröhre beschleunigt werden, wenn diese negativ gepolt ist. Da die erste und dritte Driftröhre stets gleich gepolt sind, ist dies erst wieder der Fall, wenn sich die zuvor beschleunigten Protonen zwischen der zweiten und dritten Driftröhre befinden.

b) Energieerhaltung: $E_{\text{kin}} = E_{\text{el}} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m_p \cdot v_1^2 = U \cdot e \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot e}{m_p}} = 3,66 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Doppelte Geschwindigkeit bedeutet vierfache kinetische Energie. Die Geschwindigkeit hat sich daher nach insgesamt vier Beschleunigungsvorgängen, also drei weiteren Beschleunigungsvorgängen, verdoppelt.

Die Protonen durchlaufen die Driftröhren jeweils während einer halben Periodendauer

der Wechselspannung, daher gilt: $L_1 = v_1 \cdot \frac{T}{2}$. Außerdem ist

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ s}. \text{ Einsetzen liefert } L_1 = 3,66 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-7} \text{ s}}{2} = 0,183 \text{ m}.$$

Teilaufgabe 2

- a) Die Protonen erfahren im Magnetfeld senkrecht zur Bewegungsrichtung die Lorentzkraft. Die Lorentzkraft wirkt damit als Zentripetalkraft und die Protonen bewegen sich auf einer Kreisbahn.

Die Magnetfeldlinien sind in die Blatt-Ebene hinein gerichtet (Rechte-Hand-Regel).

Da die Lorentzkraft senkrecht zur Bewegungsrichtung der Protonen wirkt, wird an den Protonen keine Arbeit verrichtet. Ihre kinetische Energie bleibt daher konstant.

- b) Die Bahn setzt sich aus einem Dreiviertelkreis mit Radius r und zwei geraden Abschnitten, deren Länge jeweils dem Radius r entspricht, zusammen:

$$d = \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r + 2 \cdot r = \left(\frac{3}{2} \cdot \pi + 2 \right) \cdot r. \text{ Der Radius } r \text{ ergibt aus der Kräfteidentität von}$$

$$\text{Lorentzkraft und Zentripetalkraft: } e \cdot v_5 \cdot B = \frac{m_p \cdot v_5^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m_p \cdot v_5}{e \cdot B}.$$

Einsetzen der gegebenen Werte liefert zunächst $r = 0,366 \text{ m}$ und damit $d = 2,46 \text{ m}$.

- c) Die Zeit, die die Protonen für die Strecke d benötigen, werde mit t_d bezeichnet:

$$t_d = \frac{d}{v_5} = 3,004 \cdot 10^{-7} \text{ s}.$$

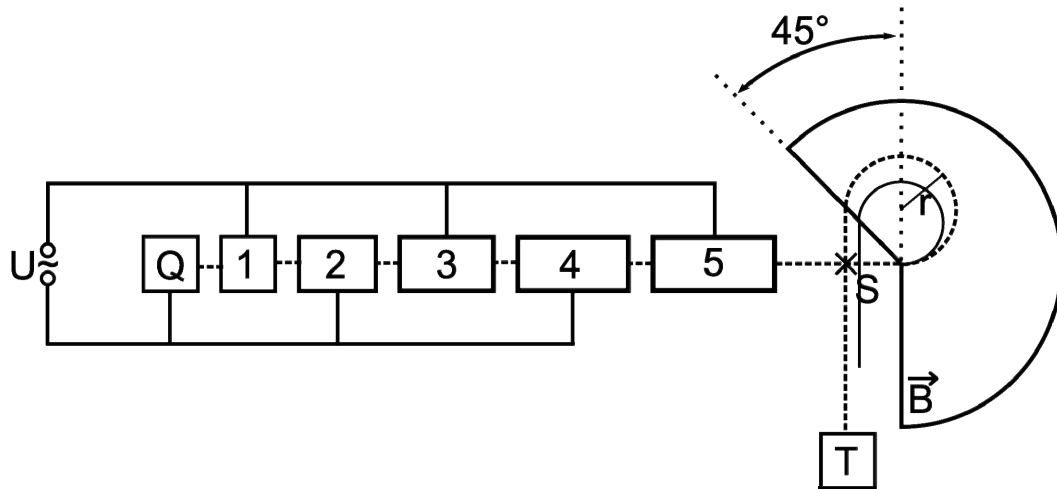
Der Zeitabstand zwischen zwei Protonen-Paketen entspricht aufgrund der Funktionsweise des Linearbeschleunigers der Periodendauer der verwendeten Wechselspannung f :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ s}.$$

Wegen $t_d \approx 3 \cdot T$ besteht die Gefahr der Kollision von Protonen im Punkt S.

[Hinweis: Von den Schülerinnen und Schülern wird nicht erwartet zu erkennen, dass diese Kollision nicht zwischen direkt aufeinander folgenden Protonen-Paketen besteht.]

- d) Die neue Bahn ist in der folgenden Abbildung durchgehend gezeichnet. Aus der Schülerlösung muss deutlich werden, dass der Radius kleiner wird.

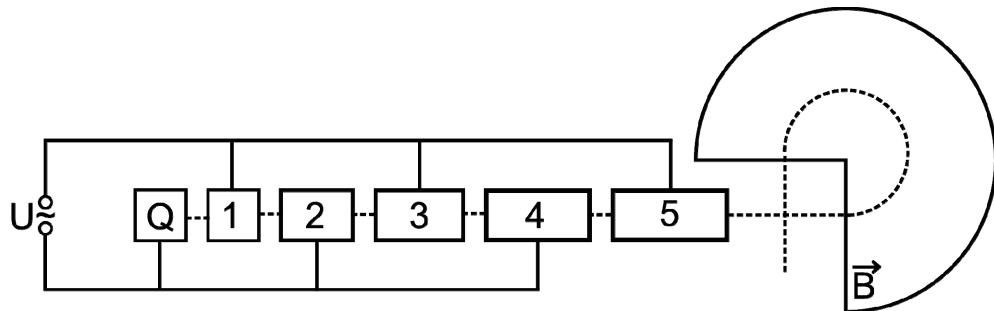


Die Protonen verlassen aufgrund der besonderen Geometrie des Aufbaus das Magnetfeld unabhängig von ihrer Geschwindigkeit v immer senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn: Das Magnetfeld ist räumlich auf den Bereich eines Kreissektors mit einem Mittelpunktswinkel von 225° begrenzt, die Protonen treten in der abgebildeten Weise im Scheitelpunkt des Kreissektors in das Magnetfeld ein. Dabei durchlaufen sie zunächst eine Bahn in Form eines Halbkreises. Wäre das Magnetfeld auf einen Halbkreis begrenzt, würden die Protonen das Feld parallel zu ihrer ursprünglichen Bahn verlassen. Durch das um zusätzliche 45° ausgedehnte Feld werden die Protonen allerdings weiter abgelenkt und verlassen genau in Höhe des Mittelpunkts ihrer Kreisbahn das Magnetfeld. (Der Mittelpunkt der Kreisbahn der Protonen sowie der Eintritts- und der Austrittspunkt der Protonen aus dem Magnetfeld bilden immer ein gleichschenkliges Dreieck mit Basiswinkeln von 45° und einem rechten Winkel im jeweiligen Bahnmittelpunkt.) An dieser Stelle haben die Protonen daher genau einen Dreiviertelkreis durchlaufen und verlassen das Magnetfeld immer senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn.

[**Hinweis:** Von den Schülerinnen und Schülern wird keine derart ausführliche Erläuterung erwartet.]

Teilaufgabe 3

- a) **Hinweis:** Aus der Skizze sollte deutlich werden, dass die Protonen im Feld einen Dreiviertelkreis durchlaufen.



- b) Die Protonen verlassen das Magnetfeld genau dann senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn, wenn sie im Feld einen Dreiviertelkreis durchlaufen. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn der Mittelpunkt der Protonenbahn mit dem Scheitelpunkt des Kreissektors zusammenfällt, wenn also der Radius der Protonenbahn gleich dem Abstand zwischen dem Eintrittspunkt der Protonen in das Magnetfeld und dem Scheitelpunkt des Kreissektors ist. Dies ist jedoch nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit der Fall. Der Radius ergibt sich aus der Identität von Lorentzkraft und Zentripetalkraft. Dieser Ansatz liefert eine Formel für die Geschwindigkeit v , wobei außer Naturkonstanten (Elementarladung und Protonenmasse) noch die Stärke B des Magnetfelds und der Abstand zwischen dem Eintrittspunkt der Protonen in das Magnetfeld um dem Scheitelpunkt des Kreissektors als Radius bekannt sein müssen.

6.2 Teilleistungen – Kriterien

Aufgabe: Linearbeschleuniger für Protonen

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	begründet, dass die anliegende Wechselspannung ihre Polarität bis zum Eintritt der Protonen in den Spalt zwischen der ersten und zweiten Driftröhre geändert haben muss.	3
a2)	erläutert, dass weitere Protonen erst dann wieder von der Quelle Q zur ersten Driftröhre beschleunigt werden können, wenn sich die zuvor beschleunigten Protonen im Spalt zwischen der zweiten und dritten Driftröhre befinden.	2
b1)	berechnet die Geschwindigkeit v_1 der Protonen nach dem Beschleunigungsvorgang.	3
b2)	erläutert, dass sich die Geschwindigkeit der Protonen nach drei weiteren Beschleunigungsvorgängen verdoppelt hat.	2
b3)	berechnet die Länge L_1 der ersten Driftröhre.	4

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	begründet den Bahnverlauf im Magnetfeld B mit Hilfe der als Zentripetalkraft wirkenden Lorentzkraft.	3
a2)	gibt die Richtung des Magnetfelds B an.	2
a3)	begründet, dass sich die kinetische Energie der Elektronen im Magnetfeld nicht ändert.	3
b1)	erkennt, dass sich die Bahn aus einem Dreiviertelkreis mit Radius r und zwei geraden Abschnitten der Länge r zusammensetzt.	2
b2)	berechnet den Radius r aus der Identität von Lorentzkraft und Zentripetalkraft.	3
b3)	berechnet die Strecke d , die die Protonen zwischen den beiden Durchläufen durch den Punkt S zurücklegen.	2
c1)	berechnet die Zeit t_d , die die Protonen zum Durchlaufen der Strecke d benötigen.	2
c2)	bestimmt die Periodendauer T der verwendeten Wechselspannung als Zeitabstand zwischen zwei Protonen-Paketen.	2
c3)	erkennt durch den Vergleich der Zeiten t_d und T , dass die Gefahr der Kollision von Protonen im Punkt S besteht.	2
d1)	skizziert in Abbildung 1 die neue Bahn der Protonen nach dem Eintritt in das Magnetfeld.	2
d2)	begründet unter Bezugnahme auf die besondere Geometrie des Aufbaus, dass die Protonen unabhängig von ihrer Geschwindigkeit v das Magnetfeld immer senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn verlassen.	3

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	skizziert in Abbildung 2 die Bahn von Protonen, die das Magnetfeld senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn verlassen.	2
b1)	begründet unter Bezugnahme auf die Geometrie des Aufbaus, dass die Protonen nur bei genau einer bestimmten Geschwindigkeit das Magnetfeld senkrecht zu ihrer ursprünglichen Bahn verlassen.	4
b2)	beschreibt, wie vorgehen wäre, um diese Geschwindigkeit zu berechnen, und nennt die physikalischen und geometrischen Größen, die zur Berechnung bekannt sein müssten.	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Linearbeschleuniger für Protonen

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	begründet, dass die ...	3			
a2)	erläutert, dass weitere ...	2			
b1)	berechnet die Geschwindigkeit ...	3			
b2)	erläutert, dass sich ...	2			
b3)	berechnet die Länge ...	4			
	Summe Teilaufgabe 1	14			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	begründet den Bahnverlauf ...	3			
a2)	gibt die Richtung ...	2			
a3)	begründet, dass sich ...	3			
b1)	erkennt, dass sich ...	2			
b2)	berechnet den Radius ...	3			
b3)	berechnet die Strecke ...	2			
c1)	berechnet die Zeit ...	2			
c2)	bestimmt die Periodendauer ...	2			
c3)	erkennt durch den ...	2			
d1)	skizziert in Abbildung ...	2			
d2)	begründet unter Bezugnahme ...	3			
	Summe Teilaufgabe 2	26			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	skizziert in Abbildung ...	2			
b1)	begründet unter Bezugnahme ...	4			
b2)	beschreibt, wie vorzugehen ...	4			
	Summe Teilaufgabe 3	10			

	Summe insgesamt	50			
--	------------------------	-----------	--	--	--

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

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	50			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	50			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	100			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 39
mangelhaft plus	3	38 – 33
mangelhaft	2	32 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Aspekte der Bohr'schen Theorie zur Erklärung der Emission und Absorption von Licht bei Wasserstoff – Fraunhofer-Spektrum

Das Licht der Sonne besitzt in dem für das menschliche Auge sichtbaren Wellenlängenbereich ein kontinuierliches Spektrum. Unabhängig voneinander entdeckten Wollaston und Fraunhofer 1802 bzw. 1814 jedoch einige dunkle Linien im sichtbaren Teil des (ansonsten) kontinuierlichen Sonnenspektrums. Diese Linien sind unter dem Namen Fraunhofer-Linien bekannt.

Die Fraunhofer-Linien entstehen im Wesentlichen als Folge der Absorption von Licht durch bestimmte chemische Elemente in den oberen Schichten der Sonnenatmosphäre. Die Abbildung 1 zeigt das sichtbare Spektrum der Sonne mit einer kleinen Auswahl dieser Fraunhofer-Linien.

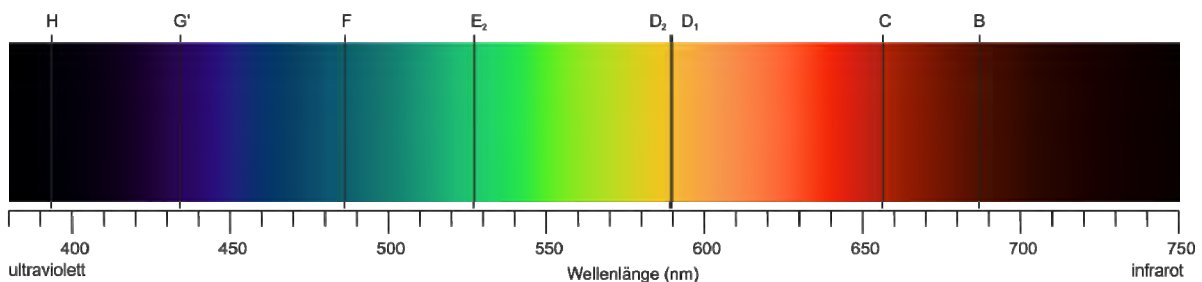


Abbildung 1: Kontinuierliches Sonnenspektrum mit einigen Fraunhofer-Linien



Name: _____

Teilaufgabe 1

An dem Spektrum in Abbildung 1 ist auffällig, dass einige der dunklen Linien zum sichtbaren Spektrum korrespondieren, welches atomarer Wasserstoff abstrahlen kann.

Balmer entdeckte 1884 auf rein empirischem Wege, dass die Frequenzen f des vom Wasser-

stoff emittierten **sichtbaren** Lichtes gemäß der Beziehung $f = R_H \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ berechnet

werden können.

Dabei ist $R_H = 3,29 \cdot 10^{15}$ Hz die sogenannte Rydberg-Frequenz.

Für m sind die Werte 3, 4, 5, . . . einzusetzen.

*Berechnen Sie die ersten drei Wellenlängen des **sichtbaren** Spektrums des Wasserstoffs und geben Sie an, welchen Fraunhofer-Linien diese Wellenlängen entsprechen (siehe Abbildung 1).*

(8 Punkte)

Teilaufgabe 2

Für die Energiestufen im Wasserstoffatom gilt sowohl nach der Bohr'schen Theorie als

auch nach dem quantenphysikalischen Atommodell: $E_n = - \frac{m_e \cdot e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$.

- Berechnen Sie die Energien für den Grundzustand sowie für die ersten vier Anregungszustände in eV.*
- Zeichnen Sie ein Energieniveauschema (in eV) für das Wasserstoffatom und zeichnen Sie die Energieübergänge ein, die den ersten drei Linien des sichtbaren Teils des Wasserstoffspektrums entsprechen.*
- Erklären Sie die Entstehung der in Teilaufgabe 1 betrachteten Fraunhofer-Linien des sichtbaren Teils des Sonnenspektrums (Abbildung 1) anhand des Energieniveauschemas.*

(16 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Emission und Absorption von Licht durch das Wasserstoffatom lassen sich gut mit dem Atommodell beschreiben, welches Nils Bohr zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt hat. Dabei ging er (unter anderem) von der Annahme aus, dass die negativen Elektronen um den positiven Atomkern kreisen.

- a) *Erläutern Sie, wieso nach der klassischen Elektrodynamik ein Elektron eigentlich gar nicht um einen Atomkern kreisen kann und welches Postulat Bohr deshalb aufgestellt hat.*
- b) *Erläutern Sie, wie von Bohr die Emission und die Absorption von Licht durch das Wasserstoffatom erklärt wurden; gehen Sie dabei auch auf die Beziehung*
- $$\Delta E = E_n - E_m = h \cdot f \text{ ein.}$$

(12 Punkte)

Teilaufgabe 4

- a) Das Licht einer Glühlampe besitzt (ähnlich wie das Sonnenlicht) ein kontinuierliches Spektrum im sichtbaren Bereich. Wird mit diesem Licht eine Glasröhre durchleuchtet, in der sich Wasserstoffgas bei Zimmertemperatur befindet, zeigen sich bei einer Spektralanalyse des wieder aus dem Wasserstoff austretenden Lichtes **keine** Absorptionslinien. *Begründen Sie diesen Befund auf der Grundlage des Bohr'schen Atommodells unter der vereinfachenden Annahme, dass der Wasserstoff in dem Behälter in atomarer Form vorliegt.*

[**Hinweis:** Im Licht der Glühbirne gibt es nahezu keine Anteile im UV-Bereich.]

- b) Wird das Wasserstoffgas in der Röhre mit Elektronen beschossen, die zunächst eine Beschleunigungsspannung U_B durchlaufen haben, so lassen sich ab einer bestimmten Spannung U_B wieder Absorptionsvorgänge (also dunkle Linien) im sichtbaren Spektrum beobachten. *Erläutern Sie den Vorgang, der dazu führt, dass der Wasserstoff bei Elektronenbeschuss wieder sichtbares Licht absorbiert, und bestimmen Sie die minimale dazu nötige Beschleunigungsspannung U_B .*

(8 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 5

Das Spektrum der Sonne ermöglicht es, auf das Vorkommen bestimmter chemischer Elemente in der Sonnenatmosphäre zu schließen, da jedes Atom ein charakteristisches Absorptionsspektrum besitzt. Mit Hilfe von lichtempfindlichen Sensoren lässt sich das Licht von Sternen analysieren. Dabei wird die Lichtintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge gemessen. Die Abbildung 2 zeigt ein solches Wellenlängen-Intensitäts-Diagramm eines Teils des kontinuierlichen Spektrums des Sterns Sirius.

In diesem Diagramm sind drei Auffälligkeiten markiert.

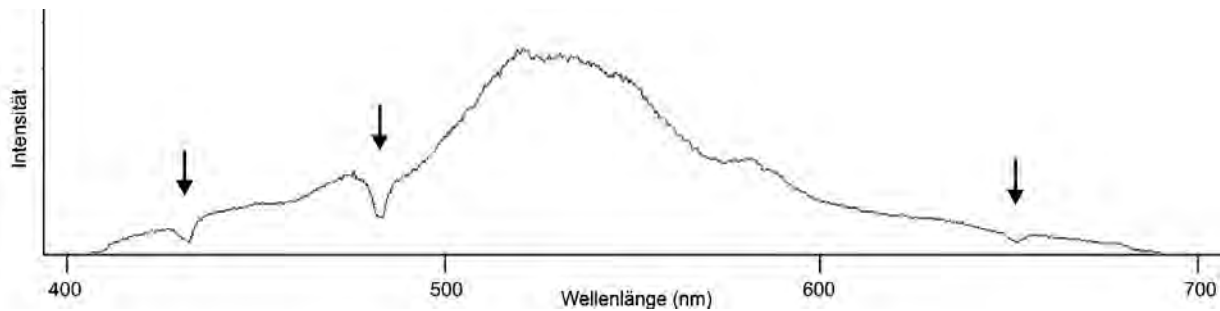


Abbildung 2

Interpretieren Sie die markierten Auffälligkeiten des Diagramms und begründen Sie, dass der Befund die Existenz von Wasserstoff auf dem Sirius nahelegt.

(6 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2012

Physik, Grundkurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Aspekte der Bohr'schen Theorie zur Erklärung der Emission und Absorption von Licht bei Wasserstoff – Fraunhofer-Spektrum (50 Punkte)

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

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld, radial-symmetrisches Feld)
 - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen Feldern
- Atom- und Kernphysik
 - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (Beobachtung von Spektrallinien am Gitter, Franck-Hertz-Versuch)
- Quanteneffekte
 - Lichtquantenhypothese
 - Grenzen der Anwendbarkeit klassischer Begriffe in der Quantenphysik

2. Medien/Materialien

- entfällt

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

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: Aspekte der Bohr'schen Theorie zur Erklärung der Emission und Absorption von Licht bei Wasserstoff – Fraunhofer-Spektrum

Teilaufgabe 1

Aus $\lambda \cdot f = c$ folgt mit der angegebenen Beziehung $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{R_H \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)}$.

Die erste Wellenlänge des **sichtbaren** Spektrums des Wasserstoffs ergibt sich mit $m = 3$:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,29 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{s}} \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)} = 6,565 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 656,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

(analog für $m = 4$ und $m = 5$)

m	Übergang	Wellenlänge λ in nm	mögliche Fraunhofer-Linie
3	3 → 2	656,5	C
4	4 → 2	486,3	F
5	5 → 2	434,2	G'

Teilaufgabe 2

a) Gemäß der angegebenen Beziehung $E_n = -\frac{m_e \cdot e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$ folgt mit den aus der Formel-

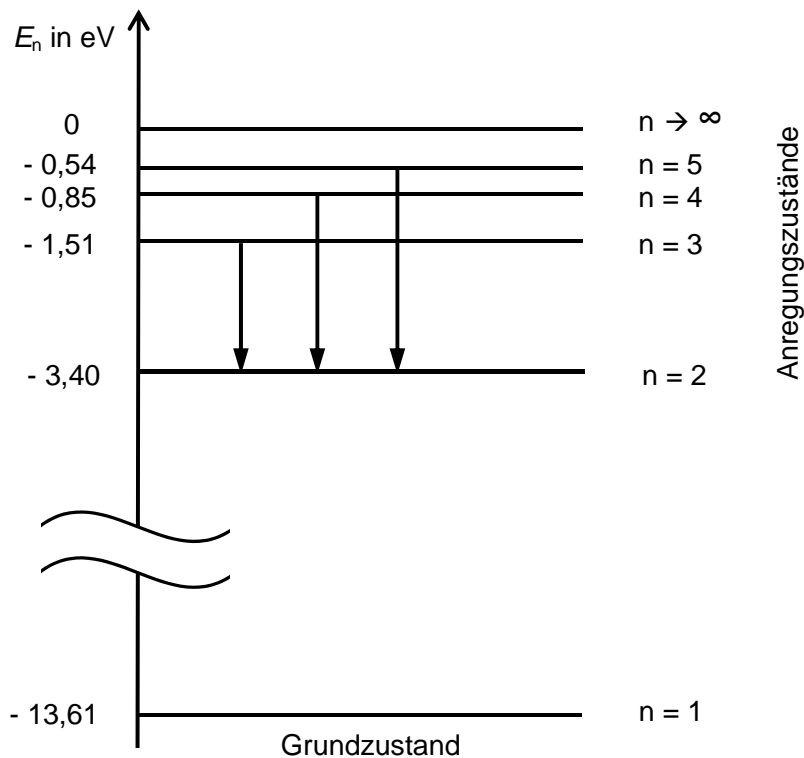
sammlung zu entnehmenden Werten für $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,

$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$ und $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$:

n	E_n in J	E_n in eV
1	$-2,179 \cdot 10^{-18}$	- 13,60
2	$-5,447 \cdot 10^{-19}$	- 3,40
3	$-2,421 \cdot 10^{-19}$	- 1,51
4	$-1,362 \cdot 10^{-19}$	- 0,85
5	$-8,716 \cdot 10^{-20}$	- 0,54

b) Das Energieniveau-Schema soll zeigen, dass die Emission eines Photons im sichtbaren Bereich durch den Übergang eines Elektrons von einem Anregungszustand mit $n \geq 3$ in den Anregungszustand mit $n = 2$ erfolgt.

Die Abstände müssen nicht maßstabsgetreu, aber qualitativ richtig sein.



- c) Der Wasserstoff in der Sonnenkorona liegt aufgrund der sehr hohen Temperatur in atomarer Form vor. Weiterhin befinden sich wegen der starken UV-Strahlung und aufgrund von Stößen zwischen den Atomen viele Wasserstoffatome im ersten Anregungszustand ($n = 2$). Damit liegen die Voraussetzungen vor, die erforderlich sind, damit Lichtquanten der Wellenlängen 656,5 nm, 486,3 nm und 434,2 nm die entsprechenden H-Atome weiter anregen. Gemäß Teilaufgabe 1 wird das Elektron bei Absorption eines Lichtquants der Wellenlänge 656,5 nm von $n = 2$ auf das Energieniveau $n = 3$ angehoben. Das entsprechende Lichtquant fehlt dann im Spektrum, was zu der Fraunhofer-Linie C führt. Analog wird das Elektron bei Absorption eines Lichtquants der Wellenlänge 486,3 nm (434,2 nm) von $n = 2$ auf das Energieniveau $n = 4$ (5) angehoben, was zu der Fraunhofer-Linie F (G') führt.

Teilaufgabe 3

- a) Gemäß Bohrs Annahme (bzw. nach Rutherford) kreisen die negativen Elektronen um den positiven Kern. Somit werden die negativen Elektronen ständig beschleunigt (Zentripetalbeschleunigung). Beschleunigte Ladungen strahlen nach der klassischen Elektrodynamik aber Energie ab (ähnlich zum Hertz'schen Dipol). Das Elektron müsste also laufend Energie verlieren (abstrahlen) und schon nach kurzer Zeit (ca. 10^{-8} s) in den Kern stürzen – die Atome wären also nicht „stabil“. Da die Atome aber offensichtlich „stabil“ sind, hat Bohr postuliert, dass sich die Elektronen im Atom nur auf ganz bestimmten Bahnen (den Bohr'schen Bahnen) um den Kern bewegen können. Auf diesen „erlaubten“ (Bohr'schen) Bahnen erfolgt die beschleunigte Bewegung der negativen Elektronen völlig strahlungsfrei.
- b) Die Gesamtenergie (also die Summe aus potenzieller und kinetischer Energie), die ein Elektron besitzt, wenn es um den Kern kreist, ist von Bahn zu Bahn unterschiedlich. Obwohl sich das Elektron auf den einzelnen Bahnen strahlungsfrei bewegt, kann es von einer erlaubten Bahn zu einer anderen Bahn „springen“. Die Differenz ΔE der Gesamtenergien E_n und E_m , die das Elektron auf den Bahnen hat, wird dann in Form eines Photons (Lichtquants) mit der Energie $h \cdot f$ abgestrahlt (Emission) bzw. aufgenommen (Absorption).

$$\Delta E = E_n - E_m = h \cdot f$$

Teilaufgabe 4

a) Zur Absorption von Photonen aus dem sichtbaren Spektrum müssen Wasserstoffatome im ersten angeregten Zustand ($n = 2$) vorhanden sein. Dies ist bei Zimmertemperatur sicherlich nicht der Fall, zudem haben die Photonen des sichtbaren Lichtes nicht genug Energie, um das Elektron im Wasserstoffatom vom Grundzustand ($n = 1$) in den ersten angeregten Zustand ($n = 2$) zu bringen (dies ist erst ab $\lambda = 121,5 \text{ nm}$ möglich).

b) Elektronen-Atom-Stöße können bei ausreichender Elektronenenergie zur Anregung in den ersten angeregten Zustand führen. Damit kann das Licht des sichtbaren Spektrums bereits im angeregten Zustand ($n = 2$) befindliche Wasserstoffatome weiter anregen.

Die nötige Energie lässt sich (z. B.) gemäß

$$E_2 - E_1 = -\frac{m_e \cdot e^4}{8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{2^2} - \left(-\frac{m_e \cdot e^4}{8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{1^2} \right) = \frac{m_e \cdot e^4}{8 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

berechnen.

Mit den aus der Formelsammlung zu entnehmenden Werten für $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$,

$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$ und $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ folgt:

$$E_2 - E_1 = 2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = 1,634 \cdot 10^{-18} \text{ J}.$$

Diese Energie muss von der kinetischen Energie des stoßenden Elektrons geliefert

werden. Damit muss gelten: $e \cdot U_B \geq 1,634 \cdot 10^{-18} \text{ J}$.

Somit ergibt sich für die mindestens benötigte Beschleunigungsspannung:

$$U_B \geq 1,634 \cdot 10^{-18} \text{ J} : e = 10,201 \text{ Volt}.$$

Anmerkungen für die korrigierende Lehrkraft:

1. Der Lösung von Teilaufgabe 2 a) kann unmittelbar entnommen werden:

$$E_2 - E_1 = -3,4 \text{ eV} - (-13,6 \text{ eV}) = 10,2 \text{ eV},$$

womit sich dann $U_B \geq 10,2 \text{ Volt}$ ergibt.

2. Aus Gründen der didaktischen Reduktion wird nicht thematisiert, dass die Wasserstoffmoleküle durch Elektronenbeschuss zunächst in einzelne Wasserstoffatome zerlegt werden müssen, was aber bei Elektronenenergien von ca. 10 eV durchaus möglich ist.

Teilaufgabe 5

Die Auffälligkeiten zeigen jeweils ein Intensitätsminimum bei den Wellenlängen von ca. 430 nm, 485 nm und bei ca. 655 nm. Diese Wellenlängen entsprechen ungefähr den sichtbaren Spektrallinien des Wasserstoffs. Es liegt daher nahe, dass beim Sirius Absorption durch atomaren Wasserstoff erfolgt.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Aspekte der Bohr'schen Theorie zur Erklärung der Emission und Absorption von Licht bei Wasserstoff – Fraunhofer-Spektrum****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	berechnet die ersten drei Wellenlängen des sichtbaren Spektrums des Wasserstoffs.	5
2	gibt an, welchen Fraunhofer-Linien diese Wellenlängen entsprechen.	3

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
a)	berechnet die Energien für den Grundzustand sowie für die ersten vier Anregungszustände in eV.	7
b1)	zeichnet ein Energieniveauschema (in eV) für das Wasserstoffatom.	4
b2)	zeichnet die Energieübergänge ein, die den ersten drei Linien des sichtbaren Teils des Wasserstoffspektrums entsprechen.	2
c)	erklärt die Entstehung der im sichtbaren Teil des Sonnenspektrums auftretenden Fraunhofer-Linien C, F und G'.	3

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	erläutert, wieso nach der klassischen Elektrodynamik ein Elektron eigentlich gar nicht um einen Atomkern kreisen kann.	3
a2)	erläutert, zu welchem Bohr'schen Postulat der Widerspruch geführt hat.	3
b1)	erläutert, wie von Bohr die Emission und die Absorption von Licht durch das Wasserstoffatom erklärt wurden.	3
b2)	erläutert in diesem Zusammenhang die Beziehung $\Delta E = E_n - E_m = h \cdot f$.	3

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	begründet den Befund mit dem Fehlen von Wasserstoffatomen im ersten angeregten Zustand.	2
b1)	erläutert den Vorgang durch Stoßanregung (Elektronen-Atom-Stöße) sowie durch die dadurch mögliche Absorption von Lichtquanten aus dem sichtbaren Spektrum.	2
b2)	bestimmt die minimale Beschleunigungsspannung, die zur Anregung auf das erste Anregungsniveau nötig ist.	4

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	interpretiert die Auffälligkeiten als Absorption von Photonen.	2
2	gibt die den Auffälligkeiten zugehörigen Wellenlängen mit angemessener Genauigkeit an.	2
3	begründet die Existenz von Wasserstoff mit der Ähnlichkeit der Wellenlängen zum Absorptionsspektrum des Wasserstoffs.	2

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Aspekte der Bohr'schen Theorie zur Erklärung der Emission und Absorption von Licht bei Wasserstoff – Fraunhofer-Spektrum

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	berechnet die ersten ...	5			
2	gibt an, welchen ...	3			
	Summe Teilaufgabe 1	8			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	berechnet die Energien ...	7			
b1)	zeichnet ein Energieniveauschema ...	4			
b2)	zeichnet die Energieübergänge ...	2			
c)	erklärt die Entstehung ...	3			
	Summe Teilaufgabe 2	16			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	erläutert, wieso nach ...	3			
a2)	erläutert, zu welchem ...	3			
b1)	erläutert, wie von ...	3			
b2)	erläutert in diesem ...	3			
	Summe Teilaufgabe 3	12			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet den Befund ...	2			
b1)	erläutert den Vorgang ...	2			
b2)	bestimmt die minimale ...	4			
	Summe Teilaufgabe 4	8			

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	interpretiert die Auffälligkeiten ...	2			
2	gibt die den ...	2			
3	begründet die Existenz ...	2			
	Summe Teilaufgabe 5	6			

	Summe insgesamt	50			
--	------------------------	-----------	--	--	--

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

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktsomme aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	50			
Übertrag der Punktsomme aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	50			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	100			
aus der Punktsomme 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 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	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 39
mangelhaft plus	3	38 – 33
mangelhaft	2	32 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0