



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Die Kirschhoff'sche Spannungswaage

In der Abbildung ist eine so genannte Kirchhoff'sche Spannungswaage zu sehen.

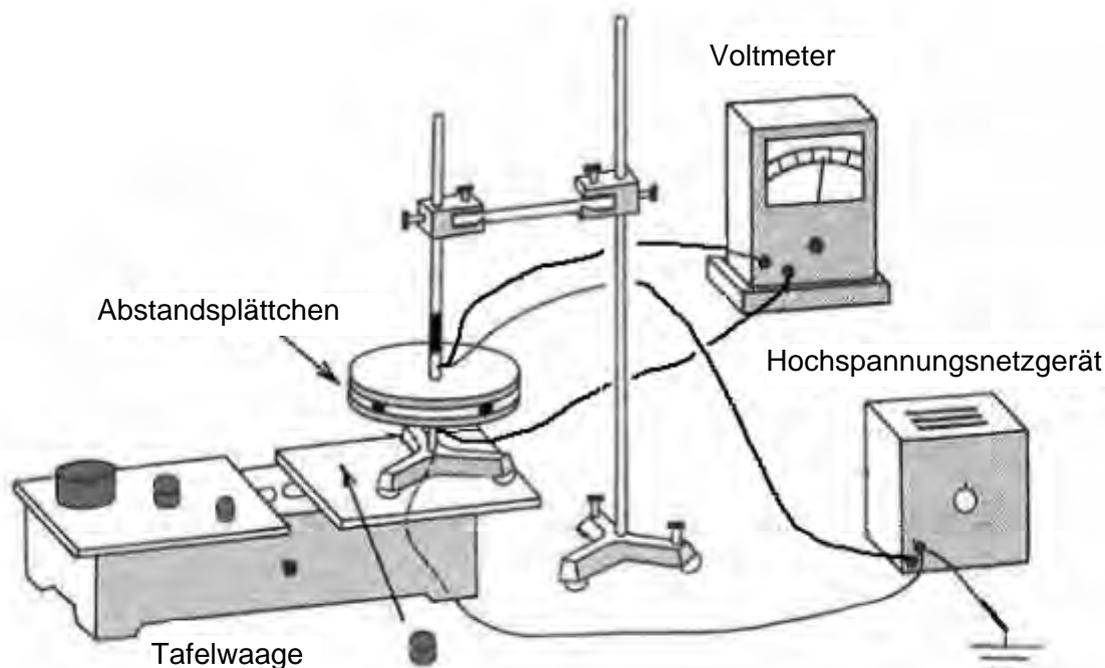


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kirchhoff'schen Spannungswaage

Die untere Seite eines Plattenkondensators wird auf die rechte Seite einer Tafelwaage gestellt. Auf die linke Seite der Tafelwaage werden so viel Massestücke aufgelegt, dass die Waage ausbalanciert ist. Die obere Kondensatorplatte, an der einige Abstandsplättchen befestigt sind, wird durch die Stativhalterung getragen und so eingestellt, dass die Abstandsplättchen die untere Platte gerade berühren (siehe Abbildung 1).



Name: _____

Mit diesem Aufbau kann man die Kraft F messen, mit der sich die beiden Platten des geladenen Plattenkondensators elektrisch anziehen. Dazu wird eine elektrische Spannung U an die Kondensatorplatten angelegt, dass selbst bei Auflegen eines kleinen Massestücks auf die rechte Seite der Tafelwaage sich diese Seite nicht absenkt. Die angelegte Spannung wird anschließend langsam so lange verkleinert, bis die untere Kondensatorplatte sich gerade abzusenken beginnt. Die minimale Spannung, bei der die untere Platte **noch soeben nicht** absinkt, werde mit U_{\min} bezeichnet.

Die Messung dieser Spannung U_{\min} wird anschließend mit verschiedenen Massestücken bei zwei verschiedenen Plattenabständen von $d_1 = 2 \text{ mm}$ und $d_2 = 4 \text{ mm}$ durchgeführt. Die Plattenfläche des Plattenkondensators beträgt $A = 500 \text{ cm}^2$. Man erhält folgende Messwerte:

Tabelle 1: Messwerte für die Spannungen bei zwei verschiedenen Plattenabständen und mit verschiedenen Massestücken

m in g	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
U_{\min} in V (bei d_1)	950	1350	1700	1900	2100
U_{\min} in V (bei d_2)	1900	2700	3400	3800	4200
E in V/m (bei d_1)					
E in V/m (bei d_2)					

Teilaufgabe 1

- Erklären Sie qualitativ die während des Experiments herrschenden Kräfteverhältnisse.
- Ermitteln Sie anhand aller gegebenen Messwerte den Zusammenhang zwischen der Gewichtskraft F_G der Massestücke und der elektrischen Spannung U_{\min} .
- Berechnen Sie in der Tabelle 1 für jedes Massestück die elektrischen Feldstärken E zwischen den Kondensatorplatten für beide Plattenabstände d_1 und d_2 und tragen Sie sie in die Tabelle 1 ein.

(20 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2

Für den Zusammenhang zwischen F_G und E ergibt sich die Formel:

$$F_G = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \cdot A \cdot E^2$$

Dieser Zusammenhang soll im Folgenden schrittweise hergeleitet werden.

- a) Zur Herleitung wird zunächst die elektrische Energie W_{el} betrachtet, die in einem auf die Spannung U_{min} aufgeladenen Kondensator der Kapazität C gespeichert ist. Hierfür gilt:

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{\text{min}}^2$$

Leiten Sie die Gleichung für W_{el} aus der Formel

$$W_{\text{el}} = \int_0^{U_{\text{min}}} Q(U) dU \text{ her.}$$

Hierbei ist $Q(U)$ die jeweils bei der Spannung U auf dem Kondensator befindliche Ladungsmenge.

Skizzieren Sie für den gesamten Aufladungsprozess den Funktionsgraphen für den Zusammenhang zwischen der jeweils angelegten Spannung U am Kondensator und der dabei aufgenommenen Ladungsmenge $Q(U)$.

Leiten Sie anhand der Gleichung $W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{\text{min}}^2$ die Gleichung $W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U_{\text{min}}$ her und geben Sie den Zusammenhang zwischen dieser Gleichung und dem $Q(U)$ - U -Graphen an.

- b) Zeigen Sie, dass sich mit Hilfe einer in a) genannten Gleichung W_{el} berechnen lässt zu:

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot A \cdot d \cdot E^2.$$

- c) Der Quotient aus der elektrischen Energie W_{el} und dem Plattenabstand d ist gleich der Kraft, mit der sich die Platten anziehen.

Begründen Sie dies.

Leiten Sie die Gleichung $F_G = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot A \cdot E^2$ her.

- d) Zeigen Sie anhand eines von Ihnen gewählten Beispiels, dass diese Gleichung durch die Messwerte aus Tabelle 1 bestätigt werden kann.

(30 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

In der folgenden Tabelle sind mit Hilfe der Messwerte einige Werte für die elektrische Feldkonstante ϵ_0 berechnet worden.

m in g	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
U_{\min} in V	950	1350	1700	1900	2100
ϵ_0 in As/Vm	$8,70 \cdot 10^{-12}$	$8,61 \cdot 10^{-12}$	$8,15 \cdot 10^{-12}$	$8,70 \cdot 10^{-12}$	

Berechnen Sie den in der Tabelle fehlenden letzten Wert für die elektrische Feldkonstante ϵ_0 aus den Messwerten für m und U_{\min} bei dem Plattenabstand $d_1 = 2 \text{ mm}$ und der gegebenen Plattenfläche $A = 500 \text{ cm}^2$.

Vergleichen Sie diesen Wert mit dem Literaturwert und geben Sie Gründe für die mögliche Abweichung an.

(8 Punkte)

Teilaufgabe 4

Im Experiment nach Abbildung 1 wird der geladene Kondensator von der Quelle getrennt. Anschließend wird die Masse auf der rechten Seite der Tafelwaage langsam erhöht, bis die untere Kondensatorplatte von der oberen abzureißen beginnt. Im Moment des Abreißens beobachtet man am Messgerät, dass die Spannung zwischen den Platten ansteigt.

Begründen Sie das Ansteigen der Spannung.

(7 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Die Kirschoff'sche Spannungswaage

(65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit 1NT 2, 1NT 3 oder 1NT 4

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2013

1. *Inhaltliche Schwerpunkte*

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld, radialsymmetrisches Feld)

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 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: Die Kirschoff'sche Spannungswaage

Teilaufgabe 1

a) Zwischen den Kondensatorplatten herrscht ein elektrisches Feld, welches auf die Ladungen auf den Platten anziehende Kräfte ausübt. Durch Erhöhung der Spannung wird die elektrische Feldstärke vergrößert und damit die Anziehungskraft auf die untere Platte. Diese Kraft kompensiert die durch das Auflegen des Massestücks erhöhte Gewichtskraft der unteren Platte. Verkleinert man die Spannung, wird die Anziehungskraft verkleinert und die untere Platte droht abzusinken.

Ebenfalls als richtig zu werten ist eine Argumentation über die Anziehungswirkung der ungleichnamigen Ladungen auf den Platten. Durch Erhöhung der Spannung werden mehr Ladungen aufgenommen und die Anziehungskraft zwischen den Ladungen vergrößert, wodurch die untere Platte stärker angezogen wird und die Waage wieder ins Gleichgewicht kommt.

b) Zunächst sind die Gewichtskräfte der einzelnen Massestücke zu berechnen:

m in g	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
F_G in N	0,049	0,098	0,147	0,196	0,245

Damit ist dann der Zusammenhang zu suchen. Durch Vergleich der Werte wird nahegelegt, dass ein quadratischer Zusammenhang bestehen könnte.

Die Berechnung der Quotienten F_G/U_{\min}^2 zeigt, dass diese für denselben Plattenabstand jeweils (etwa) konstant sind:

F_G/U_{\min}^2 in N/V^2 für $d_1 = 2 \text{ mm}$	$5,43 \cdot 10^{-8}$	$5,38 \cdot 10^{-8}$	$5,09 \cdot 10^{-8}$	$5,43 \cdot 10^{-8}$	$5,56 \cdot 10^{-8}$
F_G/U_{\min}^2 in N/V^2 für $d_2 = 4 \text{ mm}$	$1,36 \cdot 10^{-8}$	$1,35 \cdot 10^{-8}$	$1,27 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-8}$	$1,39 \cdot 10^{-8}$

Alternativ können die Messwerte auch grafisch über eine linearisierte Darstellung mit einer Ursprungsgerade ausgewertet werden. Bei richtiger Lösung wird auch dafür die volle Punktzahl erteilt.

c) Die Berechnung der Feldstärkewerte liefert folgende Ergebnisse:

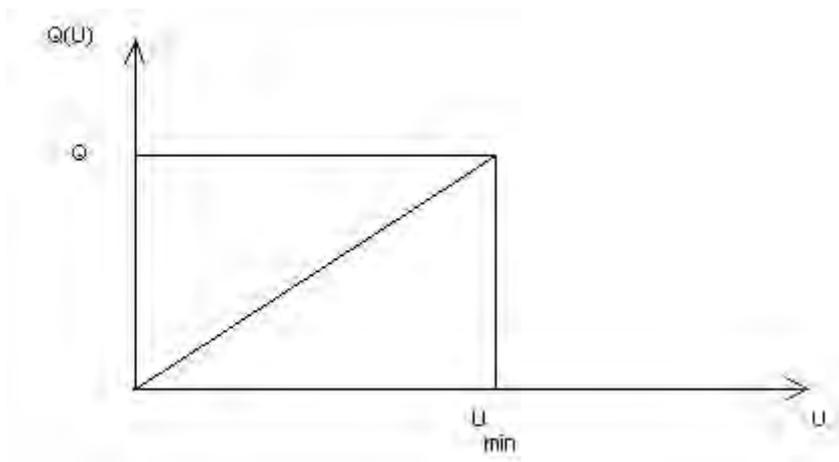
$E(d_1)$ in V/m	475000	675000	850000	950000	1050000
$E(d_2)$ in V/m	475000	675000	850000	950000	1050000

Teilaufgabe 2

a) In das Integral ist zunächst $Q(U) = C \cdot U$ einzusetzen. Damit wird das Integral gelöst:

$$W_{\text{el}} = \int_0^{U_{\min}} C \cdot U dU = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \Big|_0^{U_{\min}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{\min}^2$$

Graph $Q(U)$ über U :



Die Umrechnung der Gleichung liefert mit $C = \frac{Q}{U_{\min}}$ die gesuchte Gleichung.

Die im Kondensator gespeicherte elektrische Energie ist gleich der Fläche unter dem $Q(U)$ - U -Graphen.

b) Mit Hilfe der aus der Formelsammlung zu entnehmenden Formel für die Kapazität eines

Plattenkondensators $C = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$ erhält man durch Einsetzen in $W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_{\text{min}}^2$ die

Gleichung $W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \cdot U_{\text{min}}^2$. Hierin wird nun der Zusammenhang $E = \frac{U_{\text{min}}}{d}$ eingesetzt.

Dies liefert das gesuchte Ergebnis: $W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot A \cdot d \cdot E^2$.

c) Die Energie eines physikalischen Systems kann sich nur dadurch ändern, dass das System Arbeit verrichtet oder an ihm Arbeit verrichtet wird.

Wendet man die Definition $W = F \cdot s$ auf den Plattenkondensator an, so ergibt sich damit:

$W_{\text{el}} = F \cdot d$ und damit die Gleichung $\frac{W_{\text{el}}}{d} = F$.

Umformen der Gleichung aus Aufgabenteil 2b) liefert:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot A \cdot E^2.$$

Die Kraft F , mit der sich die Platten anziehen, wird im Experiment kompensiert mit der Gewichtskraft F_G des aufgelegten Massestücks. Daher können diese beiden Kräfte gleich-

gesetzt werden, wodurch sich die Gleichung $F_G = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot A \cdot E^2$ ergibt.

d) Man wählt ein Messwertepaar aus der Masse m und der elektrischen Feldstärke E aus und setzt die zugehörigen Werte für den Plattenabstand d , für die Plattenfläche A und ε_0 ein, z. B.:

$m = 20,0 \text{ g}$; $d_2 = 4 \text{ mm}$; $A = 500 \text{ cm}^2$; $E = U_{\text{min}}/d_2$:

$$F_G = m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot A \cdot \frac{U_{\text{min}}^2}{d_2^2}$$

Mit eingesetzten Werten:

$$20,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,20 \text{ N} = \frac{1}{2} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 500 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \frac{3800^2 \text{ V}^2}{(4 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$\Rightarrow 0,20 \text{ N} = 0,20 \text{ N}.$$

Hiermit ist die Gleichung erfüllt.

Teilaufgabe 3

Zur Berechnung aus den Messwerten stellt man die Formel aus Teilaufgabe 2d) nach ε_0 um.

$$\varepsilon_0 = \frac{F_G}{U^2} \cdot \frac{2d^2}{A}.$$

Damit ergibt sich für den fehlenden Wert bei einer Masse von 25,0 g und einer Spannung

von 2100 V: $\varepsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$.

Der Literaturwert lautet: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$.

Die Abweichung ist auf Messungenauigkeiten zurückzuführen. Diese können im Spannungswert U und in den Werten für die Masse m , den Plattenabstand d und die Plattenfläche A liegen.

Teilaufgabe 4

Die Platten des geladenen Kondensators werden auseinandergezogen. Da der Kondensator von der Quelle getrennt ist, bleibt die Ladung auf ihm erhalten (konstant). Da die Ladungsmenge auf ihm konstant bleibt, muss dabei Arbeit gegen die elektrische Anziehungskraft verrichtet werden. Diese Arbeit berechnet sich zu $W = Q \cdot U$. Damit muss U beim Auseinanderziehen größer werden.

Eine Argumentation über die elektrische Feldstärke $E = \frac{U}{d}$ ist ebenfalls als richtig zu werten.

Da bei gleich bleibender Ladungsmenge auch die Feldstärke konstant bleibt, muss mit größer werdendem Abstand auch die Spannung zunehmen.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Die Kirschhoff'sche Spannungswaage****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erklärt die Kräfteverhältnisse.	5
b)	ermittelt den Zusammenhang.	10
c)	berechnet die elektrischen Feldstärken.	5

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	leitet die Gleichung her.	4
a2)	skizziert den Graphen.	4
a3)	leitet die Gleichung her.	3
a4)	gibt den Zusammenhang an.	2
b)	zeigt, wie sich die Gleichung berechnen lässt.	4
c1)	begründet die Aussage.	4
c2)	leitet die Gleichung her.	4
d)	zeigt, dass die Gleichung bestätigt wird.	5

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	berechnet den fehlenden Wert für die Feldkonstante.	5
2	vergleicht den Wert und gibt Gründe an.	3

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	begründet das Ansteigen der Spannung.	7

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Die Kirschhoff'sche Spannungswaage

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	erklärt die Kräfteverhältnisse.	5			
b)	ermittelt den Zusammenhang.	10			
c)	berechnet die elektrischen ...	5			
	Summe Teilaufgabe 1	20			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	leitet die Gleichung ...	4			
a2)	skizziert den Graphen.	4			
a3)	leitet die Gleichung ...	3			
a4)	gibt den Zusammenhang ...	2			
b)	zeigt, wie sich ...	4			
c1)	begründet die Aussage.	4			
c2)	leitet die Gleichung ...	4			
d)	zeigt, dass die ...	5			
	Summe Teilaufgabe 2	30			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	berechnet den fehlenden ...	5			
2	vergleicht den Wert ...	3			
	Summe Teilaufgabe 3	8			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
	begründet das Ansteigen ...	7			
	Summe Teilaufgabe 4	7			
	Summe insgesamt	65			

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

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktsumme aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	65			
Übertrag der Punktsumme aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	65			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	130			
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	130 – 124
sehr gut	14	123 – 117
sehr gut minus	13	116 – 111
gut plus	12	110 – 104
gut	11	103 – 98
gut minus	10	97 – 91
befriedigend plus	9	90 – 85
befriedigend	8	84 – 78
befriedigend minus	7	77 – 72
ausreichend plus	6	71 – 65
ausreichend	5	64 – 59
ausreichend minus	4	58 – 51
mangelhaft plus	3	50 – 43
mangelhaft	2	42 – 34
mangelhaft minus	1	33 – 26
ungenügend	0	25 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Beugung und Interferenz mit Licht und Elektronen

Teilaufgabe 1: Beugung von Licht am Einzelspalt

Im Folgenden soll die Beugung von Licht am Einzelspalt untersucht werden.

a) Abbildung 1 zeigt den Winkel α , unter dem das **Minimum** 1. Ordnung des Einzelspalts erscheint.

Begründen Sie ausführlich, dass die Konstruktion in Abbildung 1 zu einer vollständigen Auslöschung führt.

Abbildung 2 zeigt den Winkel β , unter dem das **Maximum** 1. Ordnung des Einzelspalts erscheint.

Begründen Sie ausführlich, dass die Konstruktion in Abbildung 2 nicht zu einer vollständigen Auslöschung führt.

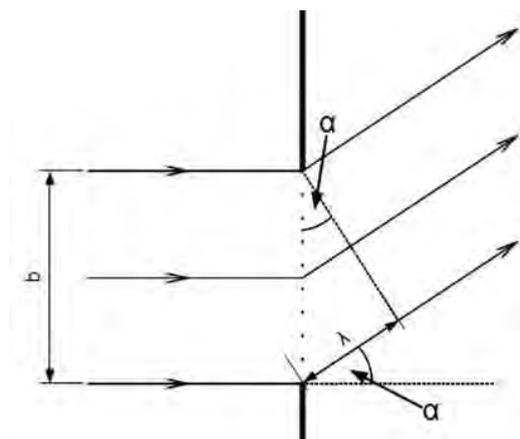


Abbildung 1: Winkel α zum Minimum 1. Ordnung



Name: _____

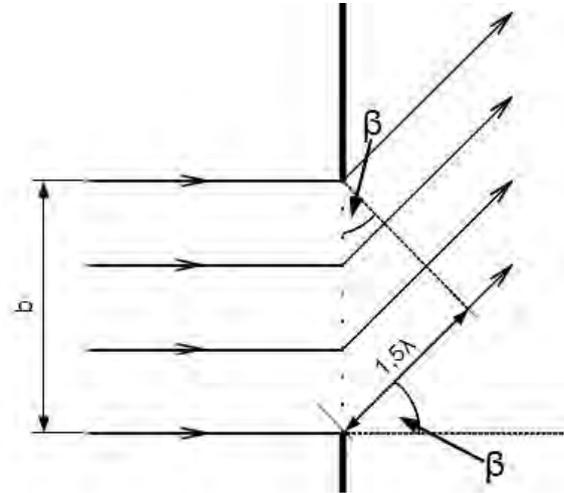


Abbildung 2: Winkel β zum Maximum 1. Ordnung

- b) Wie in den Abbildungen 1 und 2 sei b die Breite des Einzelspalts. Außerdem sei L der Abstand des Einzelspalts vom Beobachtungsschirm, λ die Wellenlänge des verwendeten Laserlichts und a_1 der Abstand des Minimums erster Ordnung von der optischen Achse.

Zeigen Sie, dass unter der Bedingung $a_1 \ll L$ gilt: $a_1 = \frac{\lambda \cdot L}{b}$.

Das Licht eines Lasers wird an einem Einzelspalt der Breite $b = 0,2 \text{ mm}$ gebeugt.

Abbildung 3 zeigt das im Abstand von $L = 6,00 \text{ m}$ auf einem Maßstab (mit Angaben in Millimetern) entstandene Beugungsbild.

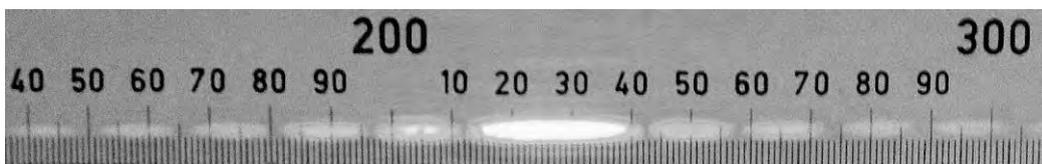


Abbildung 3: Beugung am Einzelspalt (Maßstab in mm)

- c) Bestimmen Sie die Wellenlänge λ des verwendeten Laserlichts.

[Angabe auf dem verwendeten Laser: $\lambda = 532 \text{ nm}$]

(18 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2: Beugung von Licht an einem Draht und einem Haar

Im Versuchsaufbau aus Teilaufgabe 1 wird nun der Einzelspalt durch einen Draht mit dem Durchmesser $b = 0,2 \text{ mm}$ ersetzt, ansonsten bleibt der Versuchsaufbau unverändert. Abbildung 4 zeigt das zu beobachtende Beugungsbild.



Abbildung 4: Beugung am Draht (Maßstab in mm)

- a) Begründen Sie anhand der Abbildungen 3 und 4, dass für die Beugung am Draht dieselben quantitativen Beziehungen gelten wie für die Beugung am Einzelspalt, wenn die Spaltbreite durch den Durchmesser des Drahtes ersetzt wird.

Das Licht desselben Lasers wird nun an einem menschlichen Haar gebeugt. Abbildung 5 zeigt das entstandene Beugungsbild. Der Abstand zwischen dem Haar und dem Maßstab mit Angaben in Millimetern beträgt wiederum $L = 6,00 \text{ m}$.

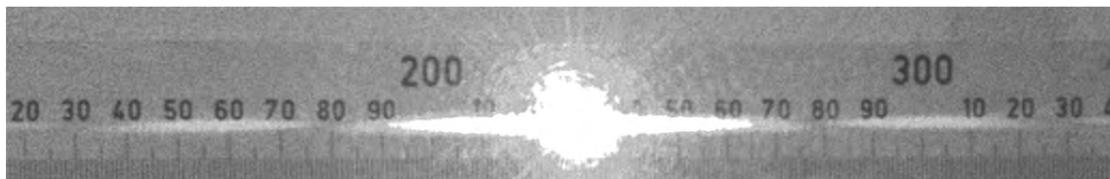


Abbildung 5: Beugung an einem menschlichen Haar (Maßstab in mm)

- b) Bestimmen Sie den Durchmesser des Haares.

(12 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3: Beugung und Interferenz von Elektronen am Draht und Doppelspalt

In einem weiteren Experiment fallen Elektronen mit einer Energie von 19,4 keV auf einen 2 μm dicken Draht. Abbildung 6 zeigt die dahinter von einem Detektor aufgenommene Elektronenverteilung. Dunkle Stellen zeigen hohe Intensitäten.

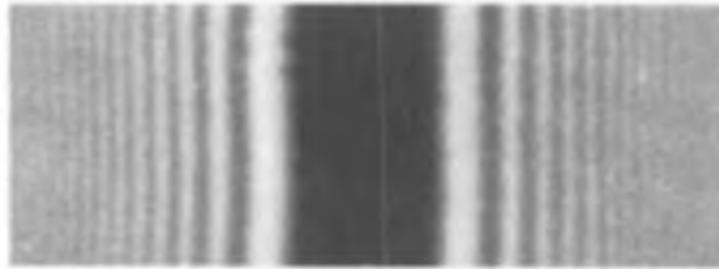


Abbildung 6 (Quelle: Pohl, Optik und Atomphysik)

a) Erläutern Sie die Entstehung der Elektronenverteilung in Abbildung 6.

Erläutern Sie die Folgen für die klassische Unterscheidung von Teilchen und Wellen.

Im Folgenden soll das Verhalten von Elektronen am Doppelspalt untersucht werden. Dabei sei d der Abstand der beiden Spaltmitten, L der Abstand des Doppelspalts vom Beobachtungsschirm und v die Geschwindigkeit der Elektronen.

b) Zeigen Sie, dass für den Abstand a_n des Maximums n -ter Ordnung von der optischen

Achse unter der Bedingung $a_n \ll L$ folgende Bedingung gilt:

$$a_n = \frac{n \cdot h \cdot L}{m_e \cdot v \cdot d} \text{ mit } n = 0, 1, 2, \dots$$

Dabei ist h das Planck'sche Wirkungsquantum und m_e die Elektronenmasse.

Der Physiker Claus Jönsson hat im Jahr 1961 an der Universität in Tübingen ein Doppelspaltexperiment mit Elektronenstrahlen durchgeführt. Er konstruierte hierfür einen speziellen Doppelspalt, bei dem der Abstand zwischen den Spaltmitten nur $d = 2 \mu\text{m}$ betrug und sich der Schirm im Abstand $L = 0,50 \text{ m}$ vom Doppelspalt befand. Die Elektronen wurden mit Hilfe einer Hochspannungsquelle beschleunigt. Abbildung 7 zeigt das von Jönsson be-



Name: _____

obachtete Interferenzmuster auf einem Leuchtschirm in 2000-facher Vergrößerung. Helle Stellen zeigen hohe Intensitäten.

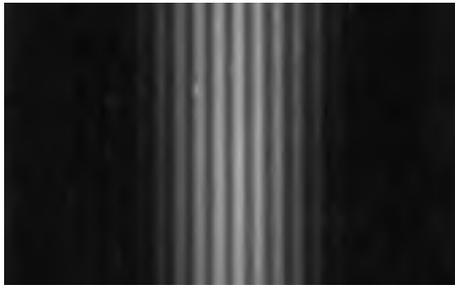


Abbildung 7: Originalfoto zum Doppelspaltversuch von Jönsson (2000-fache Vergrößerung)
(Quelle: <http://info.physik.uni-tuebingen.de>)

- c) Misst man am Interferenzmuster in Abbildung 7 den Abstand zwischen den Mitten der beiden vierten Nebenmaxima, so ergibt sich hierfür (bei 2000-facher Vergrößerung) eine Strecke von 2,05 cm.

Bestimmen Sie den Impuls der verwendeten Elektronen.

[Kontrollergebnis: $p = 1,3 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Bestimmen Sie die De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen.

Berechnen Sie klassisch die Geschwindigkeit der Elektronen und kommentieren Sie Ihr Ergebnis.

- d) Die im Versuch verwendete Beschleunigungsspannung für die Elektronen beträgt

$$U_B = 55 \text{ kV.}$$

Berechnen Sie relativistisch die Geschwindigkeit der Elektronen.

Ein Interferenzmuster ergibt sich auch dann, wenn der Versuch so modifiziert wird, dass jeweils nur einzelne Elektronen den Versuchsaufbau durchlaufen. Abbildung 8 zeigt die Entstehung eines solchen Interferenzmusters.



Name: _____

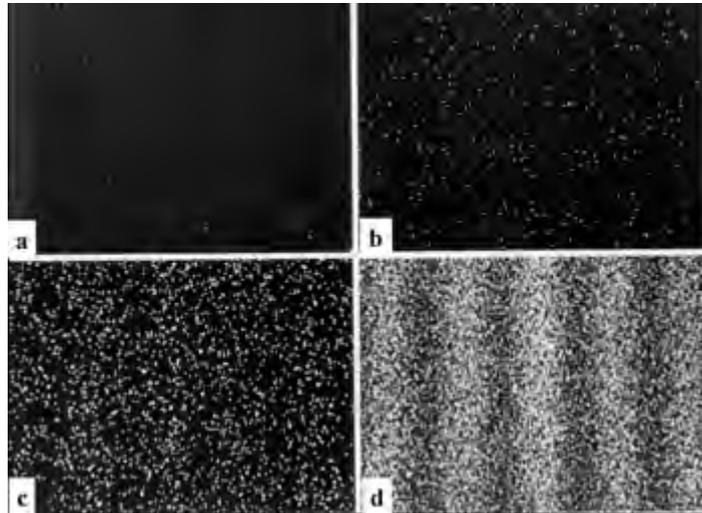


Abbildung 8 (provided with kind permission of Dr. Tonomura):
Interferenzmuster einzelner Elektronen mit (a) 8, (b) 270, (c) 2000, (d) 60000 Elektronen

e) *Erläutern Sie im Hinblick auf Abbildung 8 die Eigenschaften von Elektronen als Quantenobjekte.*

(35 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

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

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Beugung und Interferenz mit Licht und Elektronen (65 Punkte)

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

3. Materialgrundlage

Versuchsmaterial und -aufbau

Die Experimente aus den Teilaufgaben 1 und 2 sind mit den üblichen Sammlungsmaterialien leicht durchzuführen, ggf. auch qualitativ, falls kein Laser gleicher Wellenlänge zur Verfügung steht.

Die Bestimmungen RISU sind einzuhalten.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2012

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen einschließlich Resonanz
 - Interferenz (Mikrowelleninterferenz, Wellenwanne, Lichtbeugung am Spalt, Doppelspalt und Gitter, Wellenlängenmessung)
- Relativitätstheorie
 - Relativistischer Impuls, Äquivalenz von Masse und Energie
- Quanteneffekte
 - De-Broglie-Theorie des Elektrons, Welleneigenschaften von Teilchen (Elektronenbeugung an polykristalliner Materie)
 - Grenzen der Anwendbarkeit klassischer Begriffe in der Quantenphysik (Doppelspaltversuch mit Elektronen und Licht reduzierter Intensität)

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:

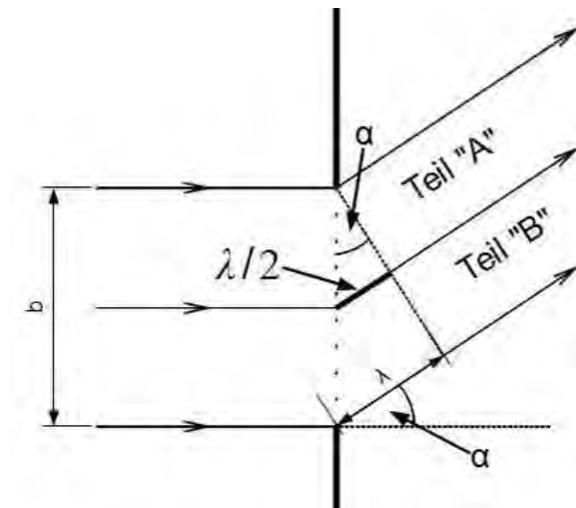
Die nachfolgenden Modelllösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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.

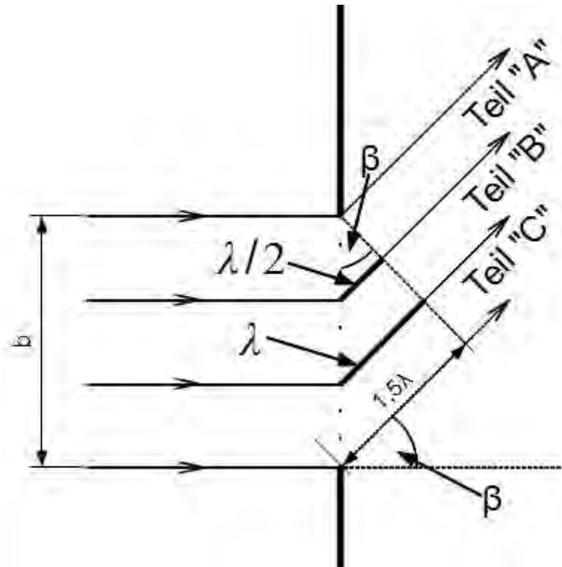
Modelllösungen Aufgabe: Beugung und Interferenz mit Licht und Elektronen

Teilaufgabe 1: Beugung von Licht am Einzelspalt

- a) Da in Abbildung 1 der Gangunterschied zwischen dem „obersten“ und dem „untersten“ Wellenzug im Doppelspalt eine Wellenlänge λ beträgt, ist der Gangunterschied zwischen dem „obersten“ und dem „mittleren“ Wellenzug im Doppelspalt ein halbe Wellenlänge $\lambda/2$. Damit interferieren der „oberste“ und der „mittlere“ Wellenzug im Doppelspalt destruktiv miteinander und löschen sich aus. Ebenso löscht sich jeder Wellenzug aus Teil „A“ des Lichtbündels mit einem Wellenzug aus Teil „B“ des Lichtbündels aus. Es kommt zu einer vollständigen Auslöschung:



Nach demselben Prinzip löscht sich in Abbildung 2 je ein Wellenzug aus Teil „A“ des Lichtbündels mit einem Wellenzug aus Teil „B“ des Lichtbündels aus. Der verbleibende Teil „C“ des Lichtbündels führt zu einem (Neben-)Maximum, es kommt nicht zu einer vollständigen Auslöschung:



b) Aus Abbildung 1 lässt sich folgende Beziehung entnehmen: $\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{b}$.

Außerdem gilt aufgrund des Versuchsaufbaus: $\tan(\alpha) = \frac{a_1}{L}$.

Wegen $a_1 \ll L$ lassen sich $\sin(\alpha)$ und $\tan(\alpha)$ näherungsweise gleichsetzen:

$$\frac{\lambda}{b} = \frac{a_1}{L} \Rightarrow a_1 = \frac{\lambda \cdot L}{b}.$$

c) Umformen der Beziehung aus Teilaufgabe b): $a_1 = \frac{\lambda \cdot L}{b} \Rightarrow \lambda = \frac{a_1 \cdot b}{L}$

Aus Abbildung 3 lässt sich für das erste Minimum entnehmen:

$$a_1 \approx \frac{0,243 \text{ m} - 0,212 \text{ m}}{2} = 0,0155 \text{ m}.$$

$$\text{Einsetzen liefert: } \lambda = \frac{0,0155 \text{ m} \cdot 0,0002 \text{ m}}{6 \text{ m}} = 517 \text{ nm}.$$

Teilaufgabe 2: Beugung von Licht an einem Draht und einem Haar

a) Die wesentlichen Merkmale des Beugungsbildes des Drahtes, nämlich die relativen Lagen der Intensitätsminima, sind identisch mit denen beim Beugungsbild des Spaltes. Weil außerdem der Durchmesser des Drahtes der Breite des zuvor verwendeten Spaltes entspricht, gelten dieselben quantitativen Beziehungen.

b) Umformen der Beziehung aus Teilaufgabe 1b): $a_1 = \frac{\lambda \cdot L}{b} \Rightarrow b = \frac{\lambda \cdot L}{a_1}$.

Aus Abbildung 5 lässt sich für das erste Minimum entnehmen:

$$a_1 \approx \frac{0,278 \text{ m} - 0,180 \text{ m}}{2} = 0,049 \text{ m} . \text{ Einsetzen liefert:}$$

$$b = \frac{532 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 6 \text{ m}}{0,049 \text{ m}} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,065 \text{ mm} .$$

Alternativ lässt sich aus Abbildung 5 für das zweite Minimum entnehmen:

$$a_2 \approx \frac{0,325 \text{ m} - 0,130 \text{ m}}{2} = 0,0975 \text{ m} . \text{ Einsetzen liefert:}$$

$$b = \frac{2 \cdot 532 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 6 \text{ m}}{0,0975 \text{ m}} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,065 \text{ mm} .$$

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Alternativ können die Schülerinnen und Schüler für die Wellenlänge λ auch die eigenen Ergebnisse aus den Aufgaben 1c oder 2b benutzen.

Teilaufgabe 3: Beugung und Interferenz von Elektronen

a) Die Elektronenverteilung in Abbildung 6 entsteht durch Beugung der Elektronen am Draht. Das Experiment zeigt, dass die klassisch als Teilchen betrachteten Elektronen auch Welleneigenschaften besitzen, die klassische Unterscheidung zwischen Teilchen und Wellen also nicht der physikalischen Realität entspricht.

b) Für die Interferenz am Doppelspalt gilt allgemein: $\sin(\alpha_n) = \frac{n \cdot \lambda}{d}$ und $\tan(\alpha_n) = \frac{a_n}{L}$,

wobei α_n der Winkel zum Maximum n -ter Ordnung ist. Wegen $a_n \ll L$ gilt näherungs-

weise: $\sin(\alpha_n) = \tan(\alpha_n) \Rightarrow \frac{n \cdot \lambda}{d} = \frac{a_n}{L} \Rightarrow a_n = \frac{n \cdot \lambda \cdot L}{d}$. Außerdem gilt die De-Broglie-

Beziehung: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e \cdot v}$. Einsetzen der Gleichung für λ in die Gleichung von a_n liefert

$$\text{die geforderte Gleichung: } a_n = \frac{n \cdot \frac{h}{m_e \cdot v} \cdot L}{d} \Rightarrow a_n = \frac{n \cdot h \cdot L}{m_e \cdot v \cdot d} .$$

c) Unter Berücksichtigung der 2000-fachen Vergrößerung gilt:

$$a_4 = \frac{1}{2000} \cdot \frac{0,0205 \text{ m}}{2} = 5,125 \cdot 10^{-6} \text{ m. Umformen der Gleichung aus Teilaufgabe b) und}$$

Einsetzen von a_4 liefert den Impuls p :

$$a_4 = \frac{4 \cdot h \cdot L}{m_e \cdot v \cdot d} \Rightarrow p = m_e \cdot v = \frac{4 \cdot h \cdot L}{a_4 \cdot d} = \frac{4 \cdot h \cdot 0,50 \text{ m}}{5,125 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 1,3 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Berechnung der De-Broglie-Wellenlänge: } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{1,3 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}} = 5,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Klassische Berechnung der Geschwindigkeit:

$$p = m_e \cdot v \Rightarrow v = \frac{p}{m_e} = \frac{1,3 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{m_e} = 1,4 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0,48 c$$

Da sich für die Geschwindigkeit der Elektronen fast die halbe Lichtgeschwindigkeit ergibt, ist eine klassische Rechnung nicht zulässig.

$$\text{d) } E_{\text{ges}} = E_0 + E_{\text{kin}} \Rightarrow m_{\text{e,rel}} \cdot c^2 = m_{\text{e},0} \cdot c^2 + U_{\text{B}} \cdot e \Rightarrow m_{\text{e,rel}} = m_{\text{e},0} + \frac{U_{\text{B}} \cdot e}{c^2}$$

$$\Rightarrow m_{\text{e,rel}} = m_{\text{e},0} + \frac{55 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot e}{c^2} = 1,01 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

$$m_{\text{e,rel}} = \frac{m_{\text{e},0}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{m_{\text{e},0}^2}{m_{\text{e,rel}}^2} \Rightarrow v = \sqrt{1 - \frac{m_{\text{e},0}^2}{m_{\text{e,rel}}^2}} \cdot c$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{1 - \frac{m_{\text{e},0}^2}{(1,01 \cdot 10^{-30} \text{ kg})^2}} \cdot c = 1,3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0,43 c$$

e) Elektronen haben sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften. Die Teilcheneigenschaften zeigen sich besonders in den Abbildungen 8a und 8b: Die Elektronen treffen scheinbar zufällig auf einzelne Stellen des Schirms. Die Welleneigenschaften zeigen sich in den Abbildungen 8c und 8d: In großer Zahl bilden Elektronen das von Wellen bekannte Interferenzmuster. Da jeweils nur einzelne Elektronen den Versuchsaufbau durchlaufen, bedeutet dies auch, dass jedes einzelne Elektron beide Spalte des Doppelspalts gleichzeitig durchquert und mit sich selbst interferiert.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Beugung und Interferenz mit Licht und Elektronen****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	begründet ausführlich, dass die Konstruktion in Abbildung 1 zu einer vollständigen Auslöschung führt.	5
a2)	begründet ausführlich, dass die Konstruktion in Abbildung 2 nicht zu einer vollständigen Auslöschung führt.	4
b)	zeigt die angegebene Beziehung.	4
c)	bestimmt die Wellenlänge des verwendeten Laserlichts.	5

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	begründet anhand der Abbildungen, dass für die Beugung am Draht dieselben quantitativen Beziehungen gelten wie für die Beugung am Einzelspalt.	7
a2)	bestimmt den Durchmesser des Haares.	5

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	erläutert die Entstehung der Elektronenverteilung.	4
a2)	erläutert die Folgen für die klassische Unterscheidung von Teilchen und Wellen.	4
b)	zeigt die angegebene Beziehung.	6
c1)	bestimmt den Impuls der verwendeten Elektronen.	4
c2)	bestimmt die De-Broglie-Wellenlänge der Elektronen.	4
c4)	berechnet klassisch die Geschwindigkeit der Elektronen und kommentiert das Ergebnis.	3
d)	berechnet relativistisch die Geschwindigkeit der Elektronen.	6
e)	erläutert die Eigenschaften von Elektronen als Quantenobjekte.	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Beugung und Interferenz mit Licht und Elektronen**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	begründet ausführlich, dass ...	5			
a2)	begründet ausführlich, dass ...	4			
b)	zeigt die angegebene ...	4			
c)	bestimmt die Wellenlänge ...	5			
	Summe Teilaufgabe 1	18			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet anhand der ...	7			
b)	bestimmt den Durchmesser ...	5			
	Summe Teilaufgabe 2	12			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	erläutert die Entstehung ...	4			
a2)	erläutert die Folgen ...	4			
b)	zeigt die angegebene ...	6			
c1)	bestimmt den Impuls ...	4			
c2)	bestimmt die De-Broglie-Wellenlänge ...	4			
c4)	berechnet klassisch die ...	3			
d)	berechnet relativistisch die ...	6			
e)	erläutert die Eigenschaften ...	4			
	Summe Teilaufgabe 3	35			

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

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

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

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

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



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Franck-Hertz-Versuch mit Helium

Die in Abbildung 1 dargestellte Gastriode ist mit Helium unter vermindertem Druck gefüllt.

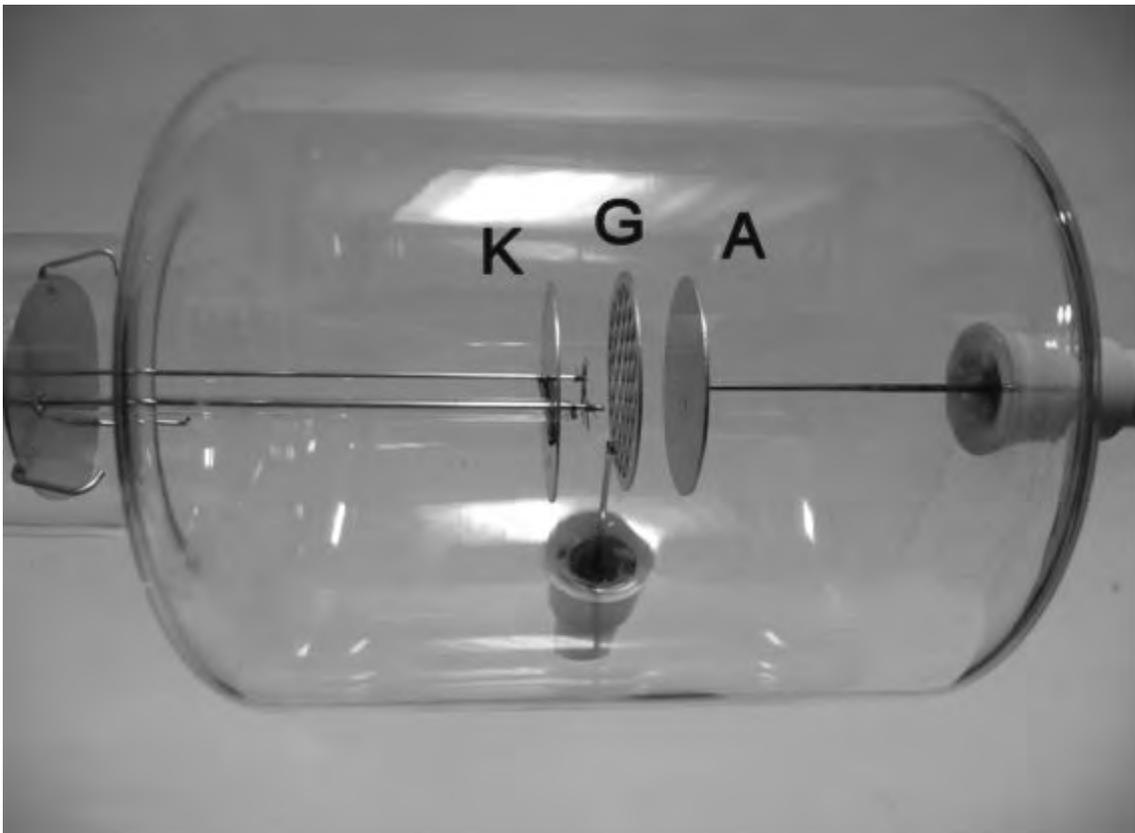


Abbildung 1: Gastriode, bestehend aus einem Glaskolben, in den drei Elektroden – Glühkathode (K), Gitter (G) und Anode (A) – eingelassen sind

Mit ihr wird der Franck-Hertz-Versuch durchgeführt. Zwischen Kathode und Gitter wird eine variable Gleichspannung U_B von 0 bis 90 V angelegt, zwischen Gitter und Anode eine Gegenspannung $U_g = 5 \text{ V}$. Dabei ergibt sich das in Abbildung 2 dargestellte Diagramm.



Name: _____

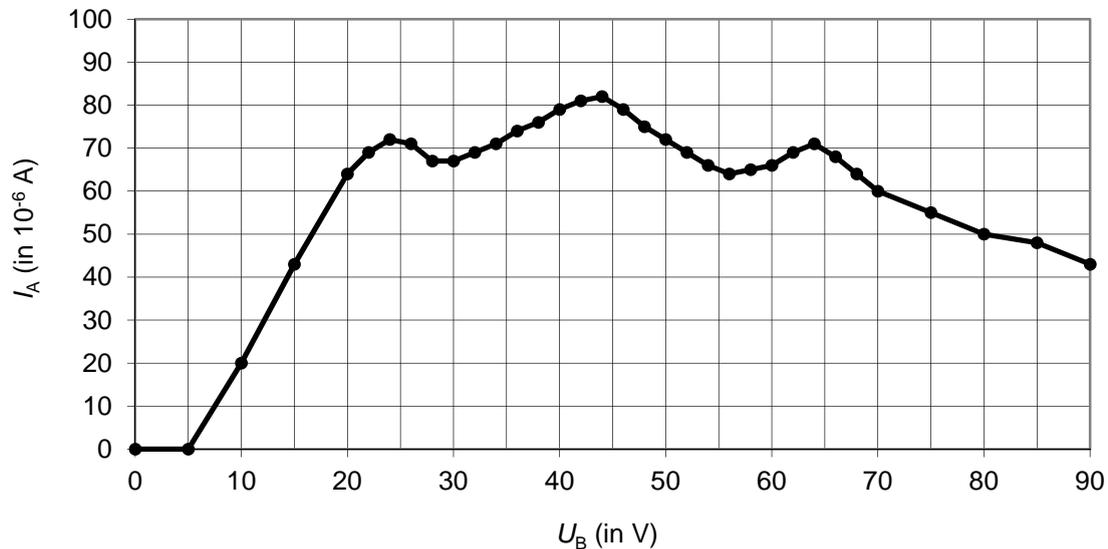


Abbildung 2: Stromstärke I_A – zwischen Gitter und Anode gemessen – in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B

Teilaufgabe 1

- a) Zeichnen Sie die Schaltskizze für die Gastriode zum Franck-Hertz-Versuch mit den erforderlichen Spannungsquellen (Polung beachten) und Messgeräten.
- b) Die Kurve weist – von links nach rechts – ein erstes, zweites und drittes Stromstärke-maximum auf. Betrachten Sie den Verlauf der Kurve in den folgenden Spannungsbereichen:
- unterhalb desjenigen Spannungswertes von U_B , an dem das erste Maximum von I_A erreicht wird, von Null an;
 - zwischen den beiden Spannungswerten von U_B , an denen das erste bzw. zweite Maximum erreicht wird;
 - zwischen den beiden Spannungswerten von U_B , an denen das zweite bzw. dritte Maximum erreicht wird.

Erläutern Sie jeweils das Ansteigen bzw. Absinken der Stromstärke unter Berücksichtigung der elastischen und inelastischen Stöße der Elektronen mit den Heliumatomen in der Gastriode.



Name: _____

- c) Anhand der Abbildung 2 lässt sich erkennen, dass ein Elektron bis zu drei Heliumatome jeweils mit einer Energie von etwa 20 eV anregen kann.
Erläutern Sie dies.
- d) *Erklären Sie, warum die Stromstärke unmittelbar rechts der Maxima jeweils nicht auf Null absinkt.*
- e) Wenn die Beschleunigungsspannung U_B größer als ungefähr 50 V wird, tritt die Ionisierung der Heliumatome – vor allem im Bereich zwischen Gitter und Anode – auf.
Begründen Sie damit qualitativ, dass das dritte Maximum kleiner als das vorhergehende ist.

(23 Punkte)

Teilaufgabe 2

Als Anregungszone wird ein räumlicher Bereich in der Gastriode bezeichnet, in dem ein inelastischer Stoß zwischen Elektron und Heliumatom stattfindet. In Abbildung 3 sind die Anregungszonen für die Beschleunigungsspannung $U_B = 45$ V beispielhaft dargestellt.

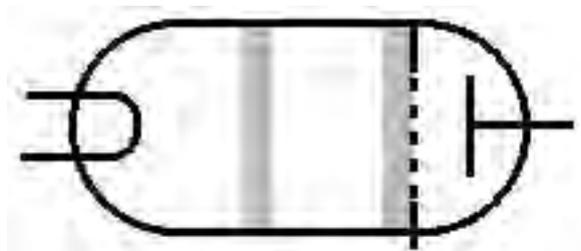


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Anregungszonen (grau)

Beschreiben Sie die Anzahl und die Position der Anregungszonen bei der mit Helium gefüllten Triode in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B .

(4 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Durch den Franck-Hertz-Versuch lässt sich ein Anregungsniveau der Heliumatome ermitteln. Eine Methode zur Bestimmung weiterer Anregungsniveaus von Helium bietet der in Abbildung 4 schematisch dargestellte Versuch.

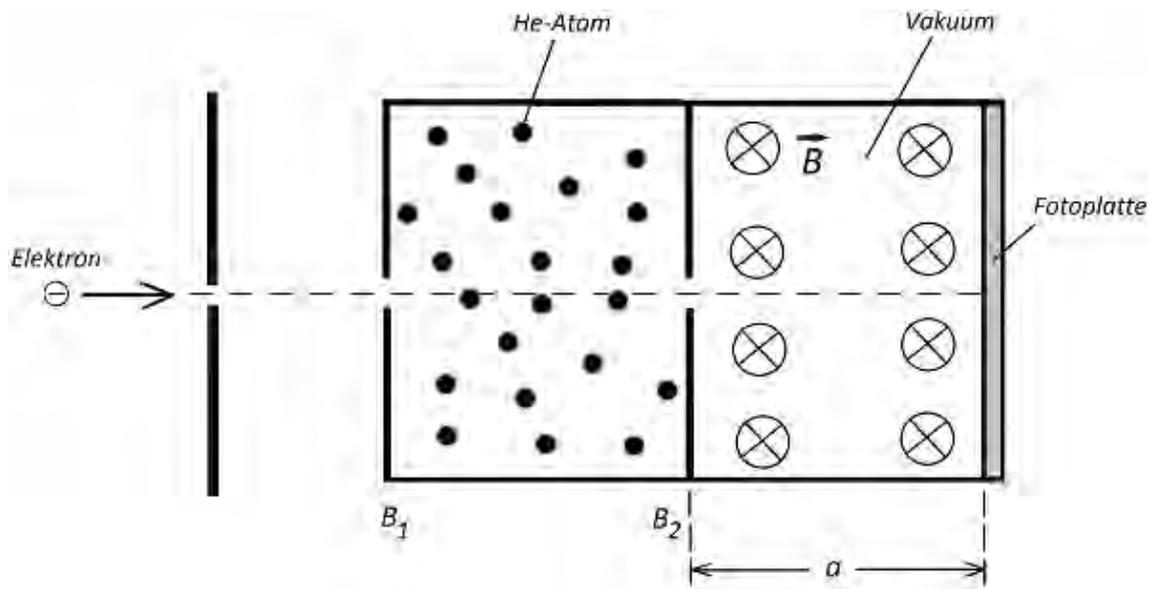


Abbildung 4: Versuchsanordnung zur Bestimmung von Anregungsniveaus der Heliumatome (vereinfachte Darstellung)

Ein Elektronenstrahl tritt durch eine Blende B_1 in einen mit Heliumgas unter niedrigem Druck gefüllten Raum. Die Elektronen stoßen dort maximal einmal mit einem Heliumatom zusammen. Einige der Elektronen, die gestoßen haben, verlassen anschließend diesen Raum durch eine Blende B_2 und treten in ein **homogenes** Magnetfeld ein, das senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen verläuft. Am rechten Ende treffen die Elektronen auf eine Fotoplatte.



Name: _____

Ein Elektron trete bei B_2 mit der Geschwindigkeit v in das Magnetfeld ein.

a) Begründen Sie, dass sich das Elektron im Magnetfeld auf einer Kreisbahn bewegt.

Leiten Sie mit Hilfe eines Kraftansatzes eine Gleichung für den Bahnradius r her.

Untersuchen Sie mit Hilfe dieser Gleichung und einer geeigneten Skizze, wie sich die Bahn und damit die Ablenkung von der Nulllinie (gestrichelte Linie in Abbildung 4) ändern, wenn v größer wird.

b) Setzen Sie anhand von Abbildung 5 für den Zusammenhang zwischen dem Radius r und der Ablenkung d von der Nulllinie die Gleichung $a^2 + (r - d)^2 = r^2$ voraus.

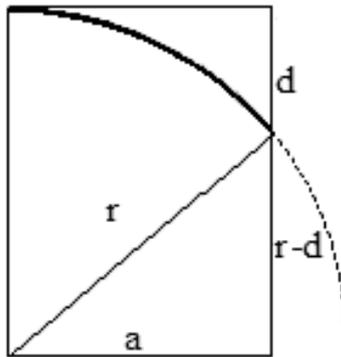


Abbildung 5: Skizze der Elektronenbahn hinter der Blende B_2

Zeigen Sie, dass ein Elektron, das im Abstand d von der Nulllinie auf die Fotoplatte trifft, beim Durchgang durch die Blende B_2 die folgende Geschwindigkeit hatte:

$$v = \frac{e \cdot B}{2m} \cdot \frac{a^2 + d^2}{d}.$$

(13 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Man erhält diskrete und kontinuierliche Schwärzungen auf der Fotoplatte. In der Tabelle sind die gemessenen Abstände d von der Nulllinie aufgeführt.

Tabelle

d (in m)	v (in 10^6 m/s)	E_{kin} (in 10^{-18} J)	E_{kin} (in eV)
0,0663			
0,107			
0,115	3,09	4,36	27,2
0,120	3,05	4,23	26,4
$\geq 0,129$	$\leq 2,99$	$\leq 4,07$	$\leq 25,4$

a) Der Abstand zwischen der Blende B_2 und der Fotoplatte beträgt $a = 16,5$ cm, die Stärke des Magnetfeldes hat den Wert $B = 0,1$ mT .

Berechnen Sie mit Hilfe der Gleichung aus Teilaufgabe 3b) die fehlenden Angaben zu den Geschwindigkeiten v sowie den kinetischen Energien E_{kin} der Elektronen bei Eintritt in das Magnetfeld, d. h. bei B_2 , und tragen Sie diese in die Tabelle ein.

Runden Sie die Ergebnisse auf drei führende Ziffern.

b) Bei B_1 haben alle Elektronen die kinetische Energie $E_{\text{kin},0} = 50,0$ eV .

Erklären Sie die Vorgänge im Heliumgas, die zu den in a) gemessenen Energien der Elektronen führen.

Bestätigen Sie damit die in Abbildung 6 dargestellten Energieniveaus.

Erklären Sie die kontinuierliche Schwärzung der Fotoplatte für $d \geq 12,9$ cm .



Name: _____

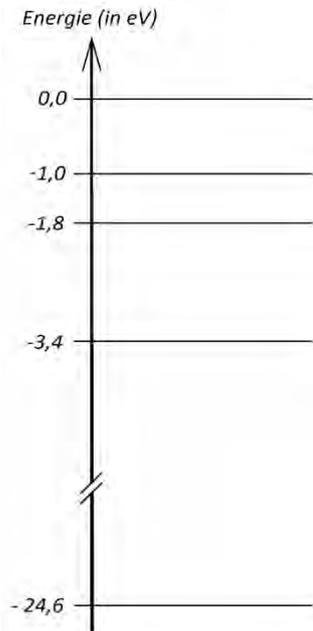


Abbildung 6: Energieniveauschema für Helium: $E = -24,6 \text{ eV}$ ist die Grundzustandsenergie.

c) Bei den beschriebenen Vorgängen beobachtet man auch ein schwaches Leuchten des Heliumgases.

Deuten Sie dies.

d) Das Spektrum des sichtbaren Lichts befindet sich in etwa im Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm.

*Zeigen Sie, dass das tiefste Energieniveau von Helium, in das Übergänge im **sichtbaren** Spektralbereich erfolgen können, nicht zum Grundzustand gehört.*

*Zeigen Sie an **einem** Beispiel im Energieniveauschema in Abbildung 6, dass es bei Helium Übergänge im sichtbaren Spektralbereich gibt.*

(25 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Franck-Hertz-Versuch mit Helium

(65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit 1NT 1, 1NT 2 oder 1NT 4

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2013

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Braun'sche Röhre, Fadenstrahlrohr)
- Atom- und Kernphysik
 - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (Franck-Hertz-Versuch)

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:

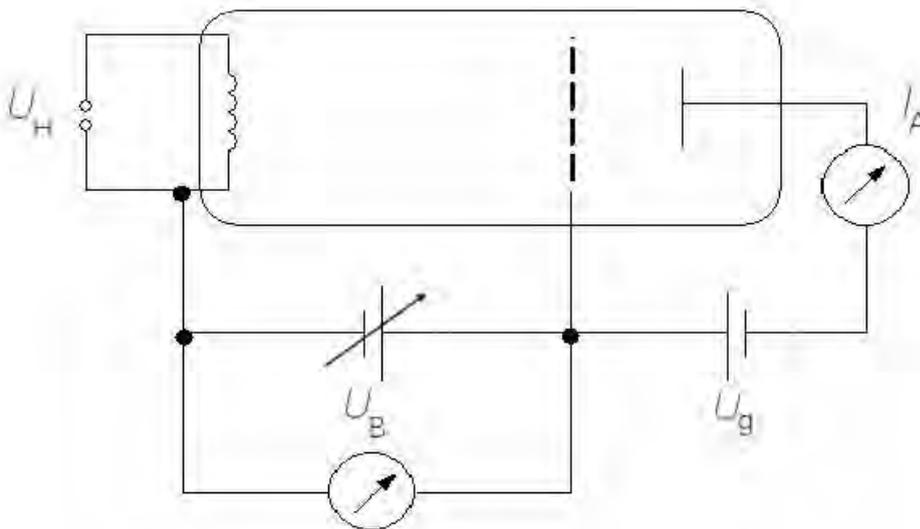
Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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: Franck-Hertz-Versuch mit Helium

Teilaufgabe 1

a) Schaltskizze:



- b) i. Die aus der Glühkathode austretenden Elektronen werden im elektrischen Feld zwischen Kathode und Gitter beschleunigt. Möglich sind nur elastische Stöße mit den Heliumatomen, bei denen die Elektronen (fast) keine kinetische Energie abgeben. Sie fliegen anschließend in das zwischen Gitter und Anode liegende Gegenfeld. Nur bei einer kinetischen Energie von mehr als 5 eV können sie die Anode erreichen und zur Stromstärke I_A beitragen. Je größer die kinetische Energie ist, desto mehr Elektronen erreichen die Anode in der gleichen Zeit, so dass I_A bei steigender Beschleunigungsspannung ab einem Wert von $U_B = 5\text{ V}$ von Null an wächst.

- ii. Die Elektronen vor dem Gitter haben eine Mindestenergie erreicht, mit der sie die Heliumatome durch inelastische Stöße anregen können. Nach dem Stoß reicht die restliche kinetische Energie nicht mehr aus, um das Gegenfeld zu überwinden und die Anode zu erreichen. Die Anodenstromstärke I_A nimmt daher ab. Bei weiterer Erhöhung der Beschleunigungsspannung U_B können die Elektronen auf ihrem Weg zum Gitter wieder kinetische Energie aufnehmen und ab einer bestimmten Spannung die Anode erreichen, so dass die Stromstärke I_A wieder ansteigt.
- iii. Schließlich können die Elektronen nach ihrem ersten inelastischen Stoß so viel kinetische Energie gewinnen, dass sie zum zweiten Mal Gasatome anregen können, wodurch der Anodenstrom wie oben zunächst wieder abnimmt, um dann mit steigender Beschleunigungsspannung wieder anzuwachsen, so dass eine dritte Anregung möglich wird.
- c) Durch Ablesen erkennt man, dass die Stromstärke Maxima für $U_B = 24 \text{ V}$, $U_B = 44 \text{ V}$ und $U_B = 64 \text{ V}$ annimmt. Die Beschleunigungsspannungen für das erste und zweite bzw. zweite und dritte Maximum weisen jeweils eine Differenz von $\Delta U_B = 20 \text{ V}$ auf. Bei einer Beschleunigungsspannung $U_B < 44 \text{ V}$ kann ein Elektron maximal ein Heliumatom anregen. Bei einer Beschleunigungsspannung $U_B \geq 44 \text{ V}$ kann ein Elektron nach dem ersten inelastischen Stoß die kinetische Energie $\Delta E = 20 \text{ eV}$ aufnehmen und diese beim zweiten inelastischen Stoß an ein weiteres Heliumatom abgeben. Bei einer Beschleunigungsspannung $U_B \geq 64 \text{ V}$ kann ein Elektron nach der zweiten Anregung nochmals wieder $\Delta E = 20 \text{ eV}$ aufnehmen und ein drittes Heliumatom anregen.
- Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**
Die hier dargestellte Franck-Hertz-Kurve orientiert sich an einem Messbeispiel mit der Gastriode von LEYBOLD (555 614), dokumentiert in LD Handblätter Physik, P6.2.3.1.
- d) Nicht alle Elektronen führen einen inelastischen Stoß durch. Ein Teil von ihnen erreicht die Anode (fast) ohne Energieverlust. Die Stromstärke geht nicht auf Null zurück.
- e) Durch die Ionisierung der Heliumatome im Bereich zwischen Gitter und Anode wandern positiv geladene Heliumionen zur Anode und können dort Elektronen einfangen. Zudem gelangen die bei der Ionisierung freigesetzten Elektronen in die Nähe des Gitters und verzögern die Elektronen aus der Kathode zusätzlich zum Gegenfeld. Beide Effekte hemmen den Elektronenfluss zur Anode.

Teilaufgabe 2

Die erste Anregungszone bildet sich zunächst bei $U_B = 24 \text{ V}$ direkt am Gitter und wandert anschließend mit steigender Beschleunigungsspannung in Richtung der Kathode. Bei $U_B = 44 \text{ V}$ und $U_B = 64 \text{ V}$ bilden sich am Gitter die zweite Anregungszone für den zweiten bzw. die dritte Anregungszone für den dritten Stoß aus. Diese Zonen wandern ebenfalls jeweils in Richtung der Kathode, wenn U_B weiter erhöht wird.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Es wird nicht erwartet, dass die äquidistanten Abstände der Anregungszone beschrieben werden.

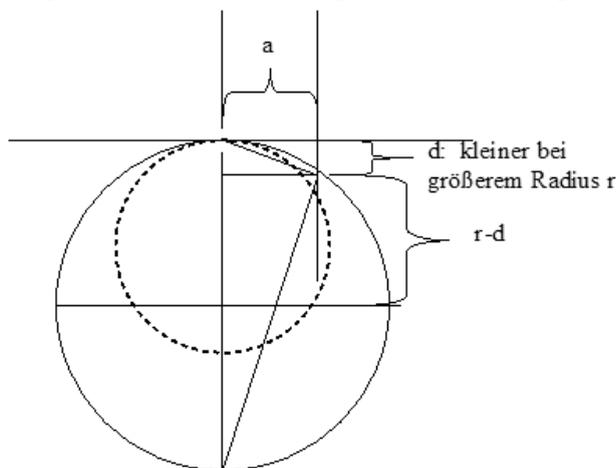
Teilaufgabe 3

- a) Durch das senkrecht zur Geschwindigkeit der Elektronen gerichtete, homogene Magnetfeld der Stärke \vec{B} erfahren die Elektronen eine Lorentzkraft \vec{F}_L . Sie bewirkt eine Ablenkung des Strahls auf eine Kreisbahn, da \vec{F}_L stets mit konstantem Betrag senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkt.

Der Kraftansatz liefert eine Gleichung für den Bahnradius:

$$F_L = F_z \Leftrightarrow e \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r} \Leftrightarrow r = \frac{m}{e \cdot B} \cdot v.$$

Je größer die Geschwindigkeit v ist, umso größer ist der Radius r der Kreisbahn.



Mit Hilfe der Skizze wird deutlich, dass bei größerem Radius r die Ablenkung d von der Nulllinie kleiner wird.

- b) Umformen der Gleichung für den Bahnradius in a) zu $v = \frac{e \cdot B}{m} \cdot r$ und der gegebenen

Gleichung zu $r = \frac{a^2 + d^2}{2d}$ liefert die angegebene Gleichung.

Teilaufgabe 4

a) Einsetzen der Zahlenwerte in die Gleichung aus Teilaufgabe 3b) liefert die Werte für v .

Daraus folgen mit $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ die Werte für die kinetische Energie in J und in eV.

d (in m)	v (in 10^6 m/s)	E_{kin} (in 10^{-18} J)	E_{kin} (in eV)
0,0663	4,19	8,01	50,0
0,107	3,18	4,61	28,8
0,115	3,09	4,36	27,2
0,120	3,05	4,23	26,4
$\geq 0,129$	$\leq 2,99$	$\leq 4,07$	$\leq 25,4$

b) Elektronen, die bei $d = 6,63$ cm die Fotoplatte schwärzen, haben den mit Heliumgas gefüllten Raum durchlaufen und sind entweder elastisch oder gar nicht auf Heliumatome gestoßen. (Bei elastischen Stößen mit den viel schwereren He-Atomen verlieren die Elektronen kaum Energie.) Sie behalten also noch die ursprüngliche Energie

$$E_{\text{kin},0} = 50,0 \text{ eV} .$$

Bei inelastischen Stößen mit den He-Atomen verlieren die Elektronen Energie. Für die auf die Heliumatome übertragene Energie $\Delta E = E_{\text{kin},0} - E_{\text{kin}}$ berechnet man folgende

Werte:

d (in m)	ΔE (in eV)
0,107	21,2
0,115	22,8
0,120	23,6
$\geq 0,129$	$\geq 24,6$

Da die verbleibende Restenergie in den ersten drei Fällen diskret ist, kann auf diskrete Energieniveaus im Heliumatom geschlossen werden. Gemäß Abbildung 6 wird der erste angeregte Zustand mit der Energie $\Delta E = -3,4 \text{ eV} - (-24,6 \text{ eV}) = 21,2 \text{ eV}$ vom Grundzustand aus angeregt, der zweite entsprechend mit der Energie $\Delta E = 22,8 \text{ eV}$ und der dritte mit der Energie $\Delta E = 23,6 \text{ eV}$.

Die Schwärzung der Fotoplatte ist für $d \geq 12,9 \text{ cm}$ kontinuierlich, d. h., ab $24,6 \text{ eV}$ können die Elektronen beliebig hohe Energien an die Heliumatome abgeben. Sie lösen ein Elektron ab, das dann die überschüssige Energie als kinetische Energie aufnimmt.

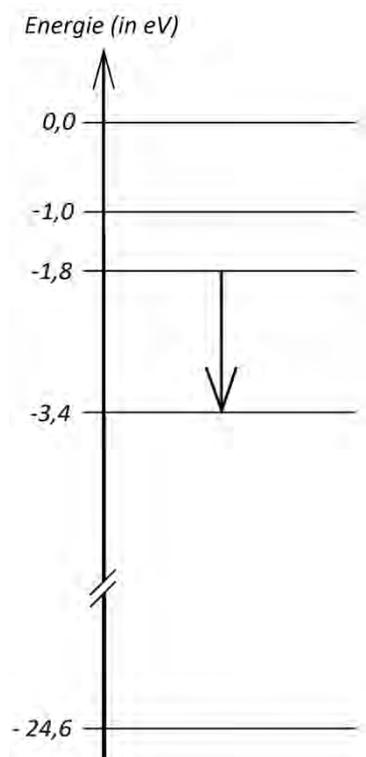
Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die hier dargestellten Messergebnisse für die Energieniveaus unterhalb der Ionisierungsgrenze orientieren sich an Schpolksi, Atomphysik I, VEB Berlin 1974, S. 289.

c) Das Leuchten des Heliumgases ist Folge der Emission von Lichtquanten. Ein Elektron geht von einem energiereichen höheren Energieniveau in ein niedrigeres Energieniveau über, die überschüssige Energie wird dabei als Lichtquant emittiert.

d) Gemäß dem zweiten Bohr'schen Postulat ist $\Delta E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ bzw. umgeformt $\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$.

Den energieärmsten Übergang in den Grundzustand erhält man für $\Delta E = 21,2 \text{ eV}$. Die zugehörige Wellenlänge ist $\lambda = 58,5 \text{ nm}$, d. h., diese Strahlung liegt schon im UV-Bereich.



Bei dem dargestellten, energieärmsten Übergang in den ersten angeregten Zustand ist $\Delta E = 1,6 \text{ eV}$ und man erhält die Wellenlänge $\lambda \approx 775 \text{ nm}$. Diese Strahlung liegt z. B. im angegebenen, sichtbaren Bereich.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Franck-Hertz-Versuch mit Helium****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	zeichnet die Schaltskizze für die Gastriode zum Franck-Hertz-Versuch mit den erforderlichen Spannungsquellen und Messgeräten.	4
b1)	erläutert das Ansteigen der Stromstärke unter Berücksichtigung der elastischen Stöße der Elektronen mit den Heliumatomen in der Gastriode im Spannungsbereich von 0 bis 24 V.	4
b2)	erläutert das Absinken bzw. Ansteigen der Stromstärke unter Berücksichtigung der inelastischen Stöße der Elektronen mit den Heliumatomen im Spannungsbereich von 24 bis 44 V.	3
b3)	erläutert das Absinken bzw. Ansteigen der Stromstärke unter Berücksichtigung der inelastischen Stöße der Elektronen mit den Heliumatomen im Spannungsbereich von 44 bis 64 V.	2
c)	erläutert den angegebenen Zusammenhang.	4
d)	erklärt, warum die Stromstärke unmittelbar rechts der Maxima jeweils nicht auf Null absinkt.	2
e)	begründet mit dem beschriebenen Effekt qualitativ, dass das dritte Maximum kleiner als das vorhergehende ist.	4

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	beschreibt die Anzahl und die Position der Anregungszonen bei der mit Helium gefüllten Triode in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B .	4

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	begründet, dass sich das Elektron im Magnetfeld auf einer Kreisbahn bewegt.	3
a2)	leitet mit Hilfe eines Kraftansatzes eine Gleichung für den Bahnradius r her.	4
a3)	untersucht mit Hilfe der Gleichung und einer geeigneten Skizze, wie sich die Bahn und damit die Ablenkung von der Nulllinie ändern, wenn v größer wird.	4
b)	zeigt, dass ein Elektron, das im Abstand d von der Nulllinie auf die Fotoplatte trifft, beim Durchgang durch die Blende B_2 die durch die Gleichung angegebene Geschwindigkeit hatte.	2

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	berechnet mit Hilfe der Gleichung aus Teilaufgabe 3b) die fehlenden Angaben zu den Geschwindigkeiten v sowie den kinetischen Energien E_{kin} der Elektronen bei Eintritt in das Magnetfeld, d. h. bei B_2 , und trägt diese in die Tabelle ein.	6
b1)	erklärt die Vorgänge im Heliumgas, die zu den in a) gemessenen Energien der Elektronen führen.	4
b2)	bestätigt damit die in Abbildung 6 dargestellten Energieniveaus.	4
b3)	erklärt die kontinuierliche Schwärzung der Fotoplatte für $d \geq 12,9 \text{ cm}$.	2
c)	deutet den beschriebenen Effekt.	3
d1)	zeigt, dass das tiefste Energieniveau von Helium, in das Übergänge im sichtbaren Spektralbereich erfolgen können, nicht zum Grundzustand gehört.	4
d2)	zeigt an einem Beispiel im Energieniveauschema in Abbildung 6, dass es bei Helium Übergänge im sichtbaren Spektralbereich gibt.	2

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Franck-Hertz-Versuch mit Helium

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	zeichnet die Schaltskizze ...	4			
b1)	erläutert das Ansteigen ...	4			
b2)	erläutert das Absinken ...	3			
b3)	erläutert das Absinken ...	2			
c)	erläutert den angegebenen ...	4			
d)	erklärt, warum die ...	2			
e)	begründet mit dem ...	4			
	Summe Teilaufgabe 1	23			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
	beschreibt die Anzahl ...	4			
	Summe Teilaufgabe 2	4			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	begründet, dass sich ...	3			
a2)	leitet mit Hilfe ...	4			
a3)	untersucht mit Hilfe ...	4			
b)	zeigt, dass ein ...	2			
	Summe Teilaufgabe 3	13			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	berechnet mit Hilfe ...	6			
b1)	erklärt die Vorgänge ...	4			
b2)	bestätigt damit die ...	4			
b3)	erklärt die kontinuierliche ...	2			
c)	deutet den beschriebenen ...	3			
d1)	zeigt, dass das ...	4			
d2)	zeigt an einem ...	2			
	Summe Teilaufgabe 4	25			

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

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

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

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

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



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Die natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen – Messung sehr langer Halbwertszeiten

Eine schwache überall nachweisbare radioaktive Hintergrundstrahlung deutet darauf hin, dass nicht alle natürlich vorkommenden Elemente und ihre Isotope stabil sind. Für die terrestrische Hintergrundstrahlung sind vor allem die sehr langlebigen radioaktiven Uran- und Thoriumisotope ^{238}U , ^{235}U und ^{232}Th sowie deren radioaktive Tochternuklide verantwortlich.

Teilaufgabe 1

- a) Geben Sie die ersten fünf Zerfallsschritte sowie das stabile Endnuklid der Zerfallsreihe des ^{238}U an.
- b) Eine zum Zeitpunkt $t = 0$ vorhandene Anzahl $N(0)$ von Atomkernen eines radioaktiven Nuklids (z. B. ^{238}U) nimmt als Funktion der Zeit exponentiell ab. Der zeitliche Verlauf dieses Zerfallsprozesses wird durch den Zusammenhang

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

beschrieben. Dabei ist die Zerfallskonstante λ ebenso wie die Halbwertszeit $T_{1/2}$ eine charakteristische Kenngröße für das entsprechende radioaktive Nuklid.

Leiten Sie den folgenden Zusammenhang zwischen Halbwertszeit $T_{1/2}$ und der Zerfalls-

konstanten λ her: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.



Name: _____

- c) Begründen Sie, dass beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids in einer isotonen Probe auch die Aktivität $A(t) = |\dot{N}(t)|$ dieser Probe exponentiell und mit der gleichen Halbwertszeit abnimmt.

(18 Punkte)

Teilaufgabe 2

Die direkte Messung des radioaktiven Zerfalls eines Nuklids kann durch die abnehmende Aktivität einer Probe erfolgen. Es gibt aber auch Nuklide, deren Aktivität in für Menschen messbaren Zeiträumen praktisch nicht abnimmt. Ein Beispiel dafür ist der in der Natur vorkommende α -Strahler ^{238}U . Im Weiteren soll seine Halbwertszeit bestimmt werden.

Das in Abbildung 1 dargestellte Massenspektrometer trennt die Ionen eines Elements nach Isotopenmassen. Es wird im Weiteren als Isotopenseparator für Uranatome verwendet und ist in der Lage, eine Probe reines ^{238}U in definierter Menge herzustellen.

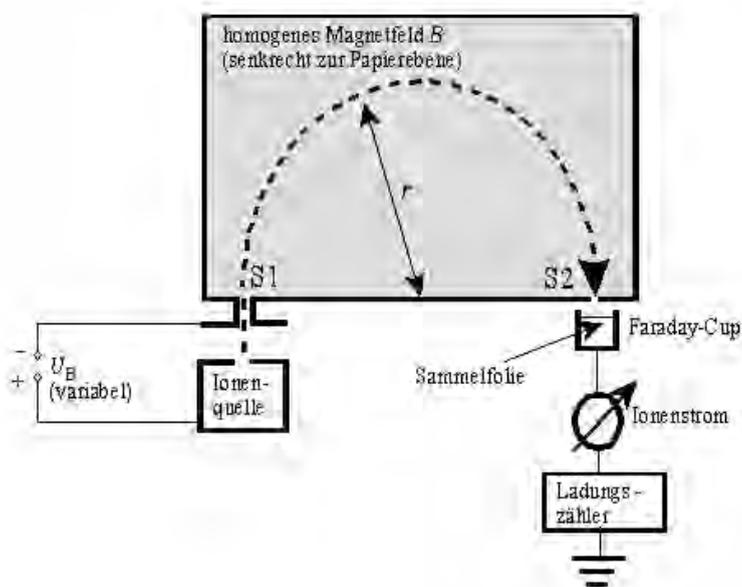


Abbildung 1: Massenspektrometer als Isotopenseparator

Die Anfangsenergie der aus der Ionenquelle austretenden einfach positiv geladenen Uranionen kann vernachlässigt werden. Die aus dem Magnetfeld durch S2 austretenden Ionen treffen auf eine dünne Sammelfolie, die leitend mit dem Faraday-Cup verbunden ist, und sammeln sich dort an.



Name: _____

- a) Leiten Sie den folgenden Zusammenhang zwischen der Eintrittsgeschwindigkeit v der einfach positiv geladenen Uranionen in das Magnetfeld und der Beschleunigungsspannung U_B her:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m}}.$$

- b) Beschreiben Sie die Form der Ionen-Bahnkurve im Bereich des Magnetfeldes und begründen Sie diese durch die Wirkung der Lorentzkraft.
- c) Bestimmen Sie, wo der Nordpol des Feldmagneten dieses Isotopenseparators (in Bezug auf die eingezeichnete Bahnebene) liegt.
- d) Leiten Sie den folgenden Zusammenhang für die Masse der Teilchen her:

$$m = \frac{e \cdot B^2 \cdot r^2}{2 \cdot U_B},$$

die bei diesem Isotopenseparator in den Faraday-Cup gelangen.

(19 Punkte)

Teilaufgabe 3

Ein konkreter Isotopenseparator obigen Typs besitzt die Abmessung $r = 0,500 \text{ m}$ und wird mit einem homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 0,218 \text{ T}$ betrieben.

- a) Leiten Sie für diesen Isotopenseparator den folgenden Zusammenhang zwischen Massenzahl A der registrierten Ionen und der Beschleunigungsspannung U_B her:

$$A = \frac{5,726 \cdot 10^5 \text{ V}}{U_B}.$$

Sie können dabei annehmen, dass die Atommasse: $m = A \cdot 1u$ beträgt.



Name: _____

- b) Bei der Untersuchung von Natururan in diesem Gerät ergibt sich für den Strom am Faraday-Cup als Funktion von U_B folgendes Messdiagramm:

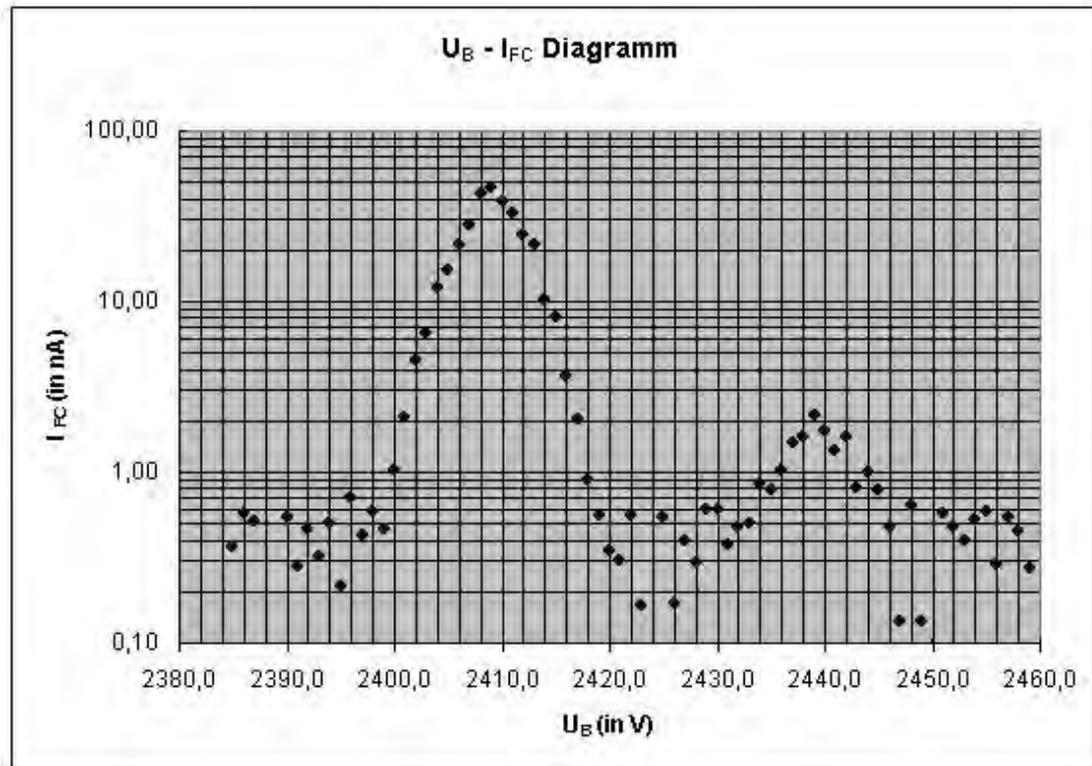


Abbildung 2: Messdiagramm des Isotopenseparators

Interpretieren Sie das Messdiagramm und zeigen Sie, dass bei dieser Messung die Isotope ^{235}U und ^{238}U nachgewiesen wurden.

- c) Für den weiteren Verlauf der Messung wurde die Beschleunigungsspannung U_B so eingestellt, dass ausschließlich die ^{238}U -Ionen auf die Sammelfolie im Faraday-Cup treffen. Nach einer hinreichend langen Betriebszeit wird vom Ladungszähler am Faraday-Cup eine aufsummierte Gesamtladung von $Q_{\text{ges.}} = 9,4 \cdot 10^{-4} \text{ As}$ gemessen.

Bestimmen Sie die Anzahl der ^{238}U -Ionen, die sich während der Betriebszeit des Isotopenseparators auf der Folie angesammelt haben.

[Kontrollergebnis : $N_{^{238}\text{U}} = 5,88 \cdot 10^{15}$ Teilchen]

(18 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Nach der Herstellung der ^{238}U -Probe auf der Sammelfolie wird diese dem Isotopenseparator entnommen und vor einen großflächigen Halbleiterzähler gebracht (vgl. Abbildung 3). Das Messgerät deckt insgesamt 45 % des Raumwinkels um die Sammelfolie ab und hat für ein-tretende α -Strahlung eine Nachweiswahrscheinlichkeit von praktisch 100 %. Andere Strahlungsarten werden hingegen nicht nachgewiesen. Nach einer Messzeit von $\Delta t = 12\text{ h}$ hat der Halbleiterdetektor insgesamt 570 α -Teilchen aus der Sammelfolie gezählt.

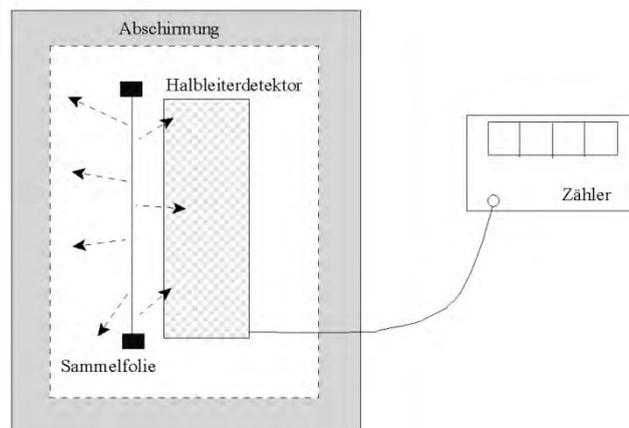


Abbildung 3: Messung der Sammelfolie

a) Bestimmen Sie die Anzahl ΔN der ^{238}U -Atomkerne, die während der Messzeit Δt auf der Folie zerfallen sind.

[Kontrollergebnis: $\Delta N = 1267$]

b) Ermitteln Sie aus den Ergebnissen der Teilaufgaben 3c) sowie 4a) die Zerfallskonstante λ des ^{238}U und bestimmen Sie daraus die Halbwertszeit $T_{1/2}$ dieses Nuklids in Jahren.

[Hinweis: Es gilt der Zusammenhang $\Delta N \approx \lambda \cdot N \cdot \Delta t$.]

(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 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Die natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen –
Messung sehr langer Halbwertszeiten

(65 Punkte)

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

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2013

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern
- Atom- und Kernphysik
 - Radioaktiver Zerfall

2. Medien/Materialien

- Nuklidtafel

5. Zugelassene Hilfsmittel

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

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modellösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

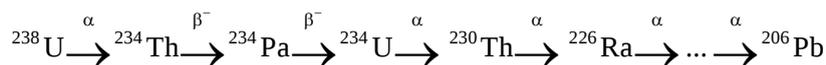
Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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

Modellösungen Aufgabe: Die natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen – Messung sehr langer Halbwertszeiten

Teilaufgabe 1

a) Die ersten fünf Zerfallsschritte der Zerfallsreihe des ^{238}U lauten:



Die Zerfallsreihe endet beim stabilen Nuklid ^{206}Pb .

b) Nach einer Halbwertszeit hat sich die Teilchenzahl halbiert:

$$\frac{N(T_{1/2})}{N(0)} = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T_{1/2}} \rightarrow \ln(2) = \lambda \cdot T_{1/2} \rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

c) Für die Aktivität einer isotonenreinen Probe gilt: $A(t) = |\dot{N}(t)|$.

Mit dem Zerfallsgesetz ergibt sich: $A(t) = |-\lambda \cdot N(0) \cdot e^{-\lambda t}| = \lambda \cdot N(t)$. Die zeitliche Abnahme der Aktivität der Probe verläuft demnach bis auf einen Faktor wie die zeitliche Abnahme der Teilchenzahl.

Teilaufgabe 2

- a) Da die Anfangsenergie der Ionen nach Austritt aus der Ionenquelle vernachlässigbar ist, ergibt sich ihre Eintrittsgeschwindigkeit allein aus der Energieerhaltung nach Durchlaufen der Beschleunigungsspannung U_B :

$$E_{\text{kin}} = e \cdot U_B \rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = e \cdot U_B \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m}}$$

- b) Die Lorentzkraft wirkt zu jedem Zeitpunkt senkrecht zur momentanen Bewegungsrichtung der Ionen. Da es sich um ein homogenes Magnetfeld handelt und die Ionen während des Durchlaufs ihre kinetische Energie nicht ändern, ist die Lorentzkraft betragsmäßig konstant und wirkt als Zentripetalkraft auf die Ionen. Die Ionen bewegen sich im homogenen Magnetfeld also auf einer Kreisbahn.

- c) Die einfach positiv geladenen Uranteilchen werden in Bewegungsrichtung nach rechts abgelenkt. Nach der RHR muss demnach das Magnetfeld von unten nach oben verlaufen. Der Nordpol des Magneten liegt damit unterhalb der Bahnebene.

- d) Im homogenen Magnetfeld wirkt die Lorentzkraft als Zentripetalkraft: $F_L = F_Z$.

$$\text{Damit ergibt sich: } e \cdot B \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow e \cdot B \cdot r = m \cdot v \text{ und mit } v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m}}$$

$$e \cdot B \cdot r = \sqrt{2 \cdot e \cdot m \cdot U_B} \rightarrow m = \frac{e \cdot B^2 \cdot r^2}{2 \cdot U_B}$$

Teilaufgabe 3

- a) Gegeben: $r = 0,500 \text{ m}$, $B = 0,218 \text{ T}$ und mit $m = A \cdot 1u = A \cdot 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ergibt sich:

$$m = \frac{e \cdot B^2 \cdot r^2}{2 \cdot U_B} \rightarrow A \cdot (1u) = \frac{\left(\frac{e \cdot B^2 \cdot r^2}{2} \right)}{U_B}$$

$$\text{Rechnung: } A = \frac{\left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot (0,218 \text{ T})^2 \cdot (0,500 \text{ m})^2}{2 \cdot (1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg})} \right)}{U_B} = \frac{5,726 \cdot 10^5 \text{ V}}{U_B}$$

- b) Interpretation des Messdiagramms: Es sind zwei Maxima des Stroms am Faraday-Cup als Funktion der Beschleunigungsspannung beobachtbar. Die beiden Maxima entsprechen offenbar zwei unterschiedlichen Massen, die aus der Ionenquelle emittiert werden. Aus dem Diagramm können die Beschleunigungsspannungen der beiden Maxima abgelesen werden:

$$U_{B1} = 2409 \text{ V und } U_{B2} = 2438 \text{ V .}$$

Daraus ergibt sich:

$$A_{B1} = \frac{5,726 \cdot 10^5 \text{ V}}{2409 \text{ V}} = 237,7 \approx 238 \quad \text{und} \quad A_{B2} = \frac{5,726 \cdot 10^5 \text{ V}}{2438 \text{ V}} = 234,9 \approx 235 .$$

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die Ablesung der Positionen beider Maxima im Massenspektrum ist nur mit begrenzter Genauigkeit möglich. Abweichungen von bis zu $\pm 2 \text{ V}$ sind noch als korrekt zu werten.

- c) Gesamtladung im Faraday-Cup $Q_{\text{ges.}} = 9,40 \cdot 10^{-4} \text{ As}$ während der Betriebszeit. Da es sich um einfach geladene Ionen handelt, entspricht dies insgesamt:

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{9,40 \cdot 10^{-4} \text{ As}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}} = 5,88 \cdot 10^{15} \quad {}^{238}\text{U-Ionen.}$$

Teilaufgabe 4

- a) Gegeben: registrierte Zahl der Zerfälle: $\Delta N = 570$

während der Messzeit $\Delta t = 12 \text{ h} = 43200 \text{ s}$

bei einem abgedeckten Raumwinkel von: 45 % von 4π

Demnach wurden ca. 45 % aller tatsächlich stattgefundenen Zerfälle registriert und die

Gesamtzahl der α -Zerfälle in der Probe beträgt: $\Delta N_{\text{ges.}} = \frac{\Delta N_{\text{gem.}}}{0,45} = 1267 .$

- b) Aus $|\Delta N_{\text{ges.}}| = \lambda \cdot N_{\text{ges.}} \cdot \Delta t \rightarrow \lambda = \frac{|\Delta N_{\text{ges.}}|}{N_{\text{ges.}} \cdot \Delta t}$ ergibt sich die Zerfallskonstante λ :

$$\lambda = \frac{1267}{5,88 \cdot 10^{15} \cdot 43200 \text{ s}} = 4,99 \cdot 10^{-18} \frac{1}{\text{s}} \quad \text{sowie die Halbwertszeit:}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{4,99 \cdot 10^{-18} \frac{1}{\text{s}}} = 1,39 \cdot 10^{17} \text{ s} \approx 4,40 \cdot 10^9 \text{ a} .$$

6.2 Teilleistungen – Kriterien

Aufgabe: Die natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen – Messung sehr langer Halbwertszeiten

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	gibt die ersten fünf Zerfallsschritte des Nuklids ^{238}U an.	4
a2)	gibt ^{206}Pb als das stabile Endnuklid der Zerfallsreihe an.	2
b)	leitet den Zusammenhang zwischen $T_{1/2}$ und λ aus dem Zerfallsgesetz her.	6
c)	begründet die exponentielle Abnahme der Aktivität einer Probe mit dem Zerfallsgesetz des radioaktiven Zerfalls.	6

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	leitet den gegebenen Zusammenhang zwischen v und U_B her.	5
b1)	beschreibt die Form der Bahnkurve im Magnetfeld als einen Halbkreis.	2
b2)	begründet die Kreisbahn durch die Wirkung der Lorentzkraft.	2
c)	bestimmt die Lage des magnetischen Nordpols unterhalb der Papierebene.	2
d)	leitet den Zusammenhang für die Masse der registrierten Ionen über den Kraftansatz her.	8

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	leitet den Zusammenhang zwischen Massenzahl und Beschleunigungsspannung für den konkreten Isotopenseparator her.	6
b1)	interpretiert das Messdiagramm.	4
b2)	zeigt durch eine Rechnung mit den im Diagramm abgelesenen Werten der Spannung, dass es sich um die Uranisotope 235 und 238 handelt.	4
c)	bestimmt die Anzahl der angesammelten Teilchen auf der Folie aus der Gesamtladung.	4

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	bestimmt die Gesamtzahl der Zerfälle von ^{238}U -Ionen auf der Folie während der Messzeit.	4
b1)	bestimmt aus den Messwerten die Zerfallskonstante λ des ^{238}U .	3
b2)	ermittelt die Halbwertszeit $T_{1/2}$ von ^{238}U in Jahren.	3

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Die natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen – Messung sehr langer Halbwertszeiten

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	gibt die ersten ...	4			
a2)	gibt ²⁰⁶ Pb als ...	2			
b)	leitet den Zusammenhang ...	6			
c)	begründet die exponentielle ...	6			
	Summe Teilaufgabe 1	18			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	leitet den gegebenen ...	5			
b1)	beschreibt die Form ...	2			
b2)	begründet die Kreisbahn ...	2			
c)	bestimmt die Lage ...	2			
d)	leitet den Zusammenhang ...	8			
	Summe Teilaufgabe 2	19			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	leitet den Zusammenhang ...	6			
b1)	interpretiert das Messdiagramm.	4			
b2)	zeigt durch eine ...	4			
c)	bestimmt die Anzahl ...	4			
	Summe Teilaufgabe 3	18			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	bestimmt die Gesamtzahl ...	4			
b1)	bestimmt aus den ...	3			
b2)	ermittelt die Halbwertszeit ...	3			
	Summe Teilaufgabe 4	10			

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

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

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

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

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