



Physik

Grundkurs

Aufgabenset 1

Auswahlverfahren: Es gibt drei Aufgabengruppen A, B und C. In jeder Gruppe stehen zwei Aufgaben zur Auswahl, von denen jeweils eine zu bearbeiten ist.

Einlese- und Auswahlzeit: 30 Minuten

Bearbeitungszeit: 180 Minuten

Erlaubte Hilfsmittel:	eingeführter Taschenrechner (bei graphikfähigen Rechnern und Computeralgebrasystemen ist ein Reset durchzuführen) Formelsammlungen, die alle üblichen Formeln aber keine Herleitungen oder weitergehende physikalische Erklärungen enthalten Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung
Sonstige Hinweise:	siehe Seite 2

I. Thema und Aufgabenstellung

A Elektrische und magnetische Felder

B Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

C Quanten- und Atomphysik

BESONDERE BEMERKUNGEN:

Es gibt drei Aufgabengruppen A, B und C. In jeder Gruppe stehen zwei Aufgaben zur Auswahl, von denen jeweils eine zu bearbeiten ist. Alle Aufgaben erbringen die gleiche Anzahl an Bewertungseinheiten

Markieren Sie die von Ihnen gewählten Aufgaben durch Ankreuzen der dafür vorgesehenen Felder in der angefügten Tabelle.

Verwenden Sie für jede Aufgabe ein gesondertes Blatt.

Kombinierte Formelsammlungen für Mathematik und Naturwissenschaften sind erlaubt.

Folgende Aufgaben sollen gewertet werden: (nur ein Kreuz pro Zeile)

A1		A2	
B1		B2	
C1		C2	

A 1: Elektrische und magnetische Felder

Mit dem folgenden Aufbau sollen Induktionsspannungen in einer Induktionsspule untersucht werden.

Hierzu befindet sich im Innern einer langen stromdurchflossenen Zylinderspule Z (1000 Windungen, Länge 55 cm) eine Induktionsspule S (Querschnittsfläche $A = 25,0 \text{ cm}^2$, 10 Windungen) (siehe Skizze).

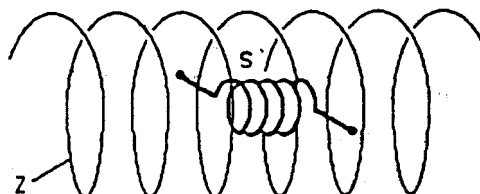


Abb. A1.1

- Berechnen Sie die Stärke des B -Feldes im Inneren der Zylinderspule, wenn diese von einem Strom der Stärke 1,00 A durchflossen wird. **(6 BE)**
- Beschreiben Sie zwei Möglichkeiten, wie sich mit dem Aufbau in der Spule S eine Induktionsspannung erzeugen lässt, und begründen Sie deren Entstehung. **(5 BE)**

- Nun sollen die beiden Spulenachsen zusammenfallen und fixiert sein. Der Verlauf des Stroms durch die Spule Z ist in der Abbildung dargestellt. Stellen Sie die an den Spulendenen von S induzierte Spannung in einem Diagramm quantitativ in Abhängigkeit von der Zeit dar. **(11 BE)**

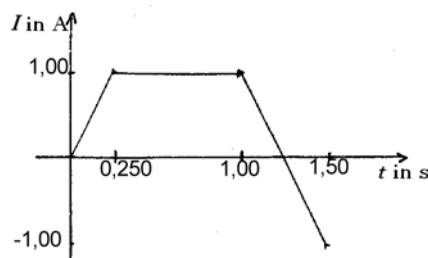


Abb. A1.2.

- Nun wird der ganze Aufbau um 90° in die Vertikale gedreht. Die Spule S wird losgelassen, so dass sie entlang der gemeinsamen Mittelachse beider Spulen aus der Spule Z herausfällt. Skizzieren und begründen Sie den Verlauf der dabei an den Enden der Spule S induzierten Spannung qualitativ. **(8 BE)**

A 2: Elektrisches und magnetisches Feld

Die Braun'sche Röhre (Kathodenstrahlröhre) ist das Kernstück eines Oszillographen.

- a. Ergänzen Sie die in der Abb. 1 dargestellte einfache Skizze einer Braun'schen Röhre mit vertikaler Ablenkeinheit mit der noch fehlenden notwendigen elektrischen Beschaltung. Erläutern Sie die Funktionsweise der Braun'schen Röhre. **(6 BE)**

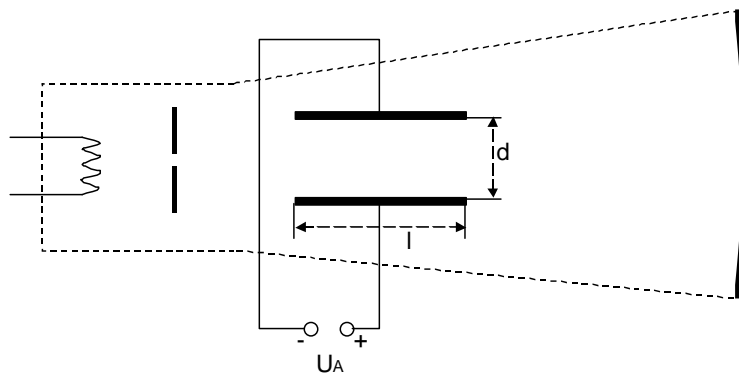


Abb. A2.1 Braun'sche Röhre

- b. Leiten Sie eine Gleichung zur Berechnung der Geschwindigkeit v_0 her, mit der die Elektronen die Beschleunigungseinheit verlassen. Gehen Sie dabei von der Annahme aus, dass die Elektronen die Anfangsgeschwindigkeit null haben und die Beschleunigungsspannung U_B nicht zu groß ist. Geben Sie an, warum die letzte Voraussetzung notwendig ist. Welche Geschwindigkeit v_0 ergibt sich für $U_B = 2 \text{ kV}$? **(6 BE)**
- c. Nach der Beschleunigung treten die Elektronen in das homogene elektrische Feld eines Plattenkondensators (Plattenabstand $d = 4 \text{ cm}$, Plattenlänge $l = 6 \text{ cm}$) ein. Die Elektronen treten mit der Geschwindigkeit $v_0 = 3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ in die Ablenkeinheit ein, an der die Spannung $U_A = 1,5 \text{ kV}$ anliegt. Begründen Sie, welche Flugbahn die Elektronen in diesem Plattenkondensator durchlaufen. Wie lang ist die Zeit, die die Elektronen zum Durchfliegen des Plattenkondensators benötigen? In welchem Punkt verlassen die Elektronen den Plattenkondensator, wenn sie mittig zwischen den beiden Platten in das Feld eintreten? **(9 BE)**
- d. Durch ein geeignetes zusätzliches Magnetfeld im Raum zwischen den Platten des Ablenkcondensators soll erreicht werden, dass die Elektronen den Kondensator unabgelenkt passieren. Geben Sie die Richtung dieses Magnetfeldes an und berechnen Sie allgemein den Betrag der magnetischen Flussdichte B in Abhängigkeit von U_A und v_0 . **(4 BE)**
- e. Die in Aufgabenteil d) geschilderte Situation liegt vor. Jetzt wird die Beschleunigungsspannung U_B bei konstanter Ablenkspannung U_A und konstantem Magnetfeld B variiert. Erläutern und begründen Sie, welchen Einfluss dies auf die Bahnkurve hat? **(5 BE)**

B 1: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Licht liefert uns Informationen über die Materie, die dieses Licht emittiert.

Gegeben sind eine starke Glühlampe, eine Sammellinse, ein Schirm, ein Spalt, ein monochromatischer Filter, ein optisches Strichgitter mit 400 Spalten pro cm.

- a. Skizzieren Sie den Aufbau samt Beschriftung, mit dem die Wellenlänge des durch den Filter fallenden Lichts bestimmt werden kann.
Erläutern Sie die Funktion von Spalt und Sammellinse.
Was beobachten Sie auf dem Schirm? **(5 BE)**
- b. Erläutern Sie, wie (z. B. nach Huygens) das Bild auf dem Schirm zustande kommt!
(9 BE)

Nun ersetzt man den Filter durch einen anderen und beobachtet auf dem Schirm, der 3m vom optischen Gitter entfernt ist, einen Ausschnitt aus dem kontinuierlichen farbigen Spektrum 1. Ordnung der Breite 17mm. Es beginnt 5,25cm vom Maximum 0. Ordnung entfernt.

- c. Berechnen Sie die Wellenlänge des Lichts, mit dem das Spektrum 1. Ordnung beginnt und endet.
Welche Farbe hat der kurzwellige Rand dieses Spektralbereichs?
[Zwischenergebnis: 437nm; 579nm] **(8 BE)**

Bei der Beugung kann es vorkommen, dass sich Teile der Spektren verschiedener Ordnungen überlappen.

- d. Bestätigen Sie durch Rechnung, dass in diesem Experiment die Spektren 2. und 3. Ordnung getrennt sind. **(4 BE)**
- e. Erläutern Sie den Einfluss der Gitterkonstanten auf das abgebildete Spektrum. **(4 BE)**

B 2: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Ein Kondensator mit der Kapazität C und eine Spule mit der Induktivität L bilden einen elektromagnetischen Schwingkreis, der ungedämpft mit der Eigenfrequenz f_0 schwingen soll. Die Kapazität des Kondensators beträgt $C = 22 \text{ nF}$. Bei der Spule handelt es sich um eine langgestreckte Spule mit der Querschnittsfläche $A = 31 \text{ cm}^2$, der Länge $l = 30 \text{ cm}$ und der Windungszahl $N = 20000$.

- a. Vernachlässigen Sie zunächst den ohmschen Widerstand des Schwingkreises. Die Spannung am Kondensator und die Stromstärke im Schwingkreis werden gemessen. Zeichnen Sie das Schaltbild eines solchen Schwingkreises mit den Messgeräten und erläutern Sie das Zustandekommen der Schwingung. Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Stromstärke und der Spannung am Kondensator. Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei die Spannung am Kondensator maximal. **(7 BE)**
- b. Welchen Einfluss hat ein nicht vernachlässigbarer ohmscher Widerstand? **(3 BE)**
- c. Bestimmen Sie die Induktivität der Spule. [Ergebnis: $L = 5,2 \text{ H}$] und überprüfen Sie, ob sich mit den gegebenen Bauteilen ein Schwingkreis aufbauen lässt, dessen Eigenfrequenz höchstens 10% von 500 Hz abweichen soll. **(7 BE)**
- d. Ermitteln Sie den Maximalwert der Stromstärke I_{max} in diesem Schwingkreis, wenn der Maximalwert der Spannung $U_{\text{max}} = 3,8 \text{ V}$ beträgt. **(7 BE)**
- e. Die Spule wird nun auseinander gezogen. Beschreiben und begründen Sie, welchen Einfluss dies auf die Eigenfrequenz und die maximale Stromstärke hat. **(6 BE)**

C 1: Quanten- und Atomphysik

Bohr'sches Atommodell: In den physikalischen Formelsammlungen wird für die Serienformel angegeben: Entweder $R_y = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ oder $R_H = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$. Die Konstanten sind über die Lichtgeschwindigkeit verknüpft: $R_H = c \cdot R_y$.

- Erklären Sie mit der Bohrschen Theorie die übereinstimmende Wellenlänge der Absorptions- und Emissionslinien von Gasen. **(4BE)**
- Berechnen Sie die Mindestgeschwindigkeit, welche ein Elektron haben muss, um bei einer Kollision ein Wasserstoffatom ionisieren zu können. **(7BE)**
- Berechnen Sie die Spektrallinie mit der größten Wellenlänge im sichtbaren Spektralbereich des Wasserstoffatoms. **(6BE)**
- Ein angeregtes Wasserstoffatom kann unter anderem Lichtquanten der Wellenlänge 484nm abgeben. Welchem Übergang zwischen erlaubten Bohrschen Bahnen entspricht das? **(8BE)**

Mehrelektronenatome bei denen das äußerste Elektron in ein sehr hohes Energieniveau angeregt ist, werden Rydbergatome genannt. Ihr Radius ist riesig, es gibt sie im Weltraum mit Quantenzahlen bis $n_a=350$ oder im Labor mit Quantenzahlen bis $n_a=100$.

- Begründen Sie, warum Rydbergatome mit den Termschemata des Wasserstoffatoms berechnet werden können. **(2BE)**
- Bohr selbst war sich angesichts der Quantenphysik der Unzulänglichkeit seiner Theorie bewusst. Näherungsweise kann behauptet werden, dass die Energieniveaus bei hohen Quantenzahlen im Einklang mit der klassischen Physik erklärt werden können. Erläutern Sie, warum das so ist. **(3BE)**

C 2: Quanten- und Atomphysik

Elektronen als Quantenobjekte

Abb. 1 zeigt das Ergebnis eines Versuchs mit einem Elektronenstrahl geringer Intensität, bei dem Elektronen einzeln durch einen Doppelspalt fliegen und beim Auftreffen auf einem Schirm nachgewiesen werden. Von oben nach unten nimmt die Zahl der registrierten Elektronen zu.

- Erklären Sie das Versuchsergebnis und begründen Sie, warum man Elektronen nicht im klassischen Sinn als Teilchen ansehen kann, sondern als Quantenobjekte betrachten muss. Verwenden Sie dabei den Begriff der Wahrscheinlichkeitswelle, die auch als de-Broglie-Welle, Materiewelle oder nach Schrödinger als Ψ -Funktion bezeichnet wird. **(BE 6)**
- Berechnen Sie die Wellenlänge λ der Wahrscheinlichkeitswelle in Teilaufgabe a, wenn die Elektronen mit einer Spannung von $U = 150 \text{ V}$ beschleunigt werden. Berechnen Sie zunächst den Impuls p der Elektronen. Von welcher Größenordnung muss der Spaltabstand d der beiden Spalte sein? **(BE 6)**
- Es ist naheliegend, dass man sowohl das Muster auf dem Schirm sehen möchte, als auch nachweisen will, durch welchen der beiden Spalte das Elektron fliegt. Warum misslingen solche Versuche? Ein Versuch könnte z.B. so angelegt sein, dass der Doppelspalt seitlich beleuchtet wird und man das von dem hindurchfliegenden Elektron gestreute Licht nachweist. **(BE 6)**
- Die möglichen Energiewerte E_n eines Teilchens der Masse m , das in einem linearen Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden der Länge a eingeschlossen ist,

berechnen sich nach der Formel $E_n = \frac{h^2}{8ma} n^2$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$

Betrachten Sie das Wasserstoffatom in erster Näherung als linearen Potentialtopf der Länge $a = 10^{-10} \text{ m}$. Wie groß ist die Energie des Elektrons im Grundzustand in Elektronvolt? Zeigen Sie, dass diese Energie von gleicher Größenordnung ist, wie die Energie, die nach der Balmer-Formel benötigt wird, um das Wasserstoffatom aus dem Grundzustand heraus zu ionisieren. **(BE 5)**

- Angenommen, Elektronen befänden sich in einem Atomkern, der einen typischen Durchmesser von $d = 1,5 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ haben soll. Betrachten Sie den Atomkern als linearen Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden der Breite d und berechnen Sie die Energie eines Elektrons im Grundzustand dieses Potentialtopfs. Welche Masse m hätte das Elektron aufgrund dieser Energie? Wieso zeigt diese Rechnung, dass sich Elektronen nicht im Kern aufhalten können? **(BE 7)**

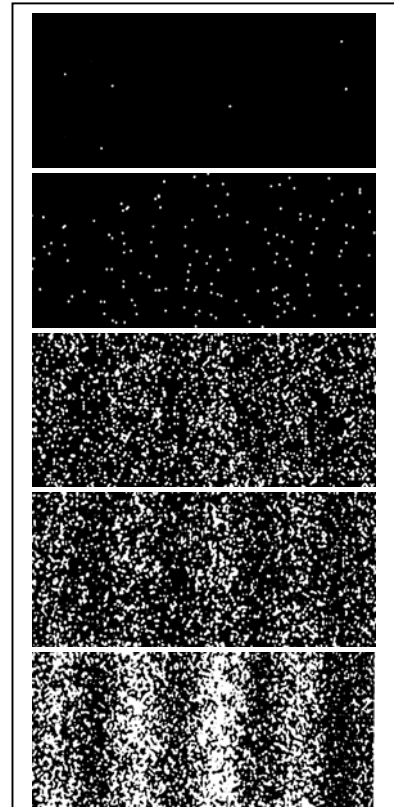


Abb. C2.1 Doppelspaltversuch mit Elektronen bei geringer Intensität des Elektronenstrahls: Elektronen treten *einzeln* durch einen Doppelspalt und lösen beim Auftreffen auf einen Schirm einen Lichtblitz aus, der registriert wird. Die Anzahl der Elektronen, die in den Bildern von oben nach unten nachgewiesen wurde, ist etwa 6, 100, 3000, 20 000 und 70 000 (nach Halliday et. al., Physik)

**Korrektur- und Bewertungshinweise
- nicht für den Prüfungsteilnehmer bestimmt -**

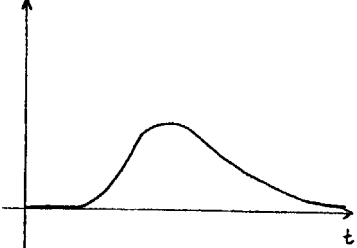
II. Erläuterungen

Voraussetzungen gemäß Lehrplan:

III. Lösungshinweise

A1: Elektrische und magnetische Felder

Nr.	Lösung	BE		
		Anf.bereich		
		I	II	III
1a	<p>Für das B-Feld in einer langen zylinderförmigen Luftspule gilt der folgende Zusammenhang $B = \mu_0 \frac{I \cdot n}{l}$</p> <p>Setzt man die gegebenen Werte ein, ergibt sich: $B \approx 2,28 \cdot 10^{-3} \text{T}$</p>	4	2	
1b	<p>In der inneren Spule S wird eine Spannung induziert, wenn sich der magnetische Fluss durch diese Spule ändert. Dies lässt sich durch eine Änderung der vom Feld durchsetzten Fläche oder durch eine Änderung des B-Feldes erreichen.</p> <p>Man kann die Spule z.B. um ihre Querachse drehen oder die Stromstärke in der äußeren Spule verändern.</p>	5		
1c	<p>Spannungen werden nur in den Zeitintervallen induziert, in denen sich die Stromstärke und damit auch die magnetische Feldstärke im Innern der Spule verändern. Wichtig ist dabei, dass die Polung beim Ansteigen und beim Abfallen des Stroms umgekehrt sind.</p> <p>Nach dem Induktionsgesetz gilt: $U = n \frac{A \cdot \Delta B}{\Delta t}$</p> <p>Für die Änderung des B-Feldes gilt: $\Delta B \approx 2,28 \cdot 10^{-3} \text{T}$ $\Delta t = 0,25 \text{s}$</p> <p>Damit ergibt sich für den Betrag der induzierten Spannung jeweils: $U \approx 2,28 \cdot 10^{-4} \text{V}$</p> <p>Damit ergibt sich das folgende Diagramm:</p>		11	

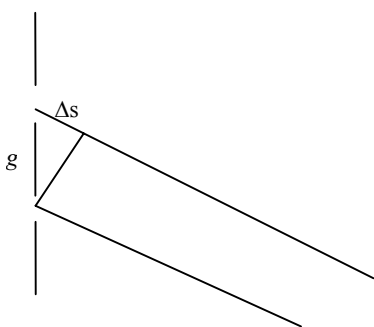
1d	<p>Zunächst fällt die Spule S durch einen Raum, der von einem homogenen Magnetfeld erfüllt ist. Es wird keine Spannung induziert. Beim Verlassen der Spule Z wird die magnetische Feldstärke und damit der Fluss durch die Induktionsspule immer geringer, es wird eine Spannung induziert. Wenn sich die Spule S weiter von der Spule Z entfernt, geht die Stärke des Magnetfeldes gegen Null. Auch die zeitliche Änderung wird sehr klein und demnach wird auch die induzierte Spannung nahezu null.</p> 			
	Summe	9	17	4

A2: Elektrisches und magnetisches Feld

Nr.	Lösung	Anforderungsbereiche		
		I	II	III
A2-1. a.	<p>Einzeichnen der an der Glühwendel anliegende Heizspannung U_H und der Beschleunigungsspannung U_B zwischen Glühwendel und Lochanode. (Der Wehnelt-Zylinder wird nicht verlangt)</p> <p>Durch den glühelektrischen Effekt werden Elektronen aus der Glühwendel emittiert, die dann als freie Elektronen im elektrischen Feld des Beschleunigungskondensators abgesaugt und zur Anode beschleunigt werden. Durch ihre Trägheit fliegen die Elektronen durch das Loch in der Anode und können in dem nachfolgenden elektrischen Feld des Ablenkkondensators gezielt abgelenkt werden. Beim Auftreffen der Elektronen auf der Leuchtschicht des Schirms entsteht ein Lichtpunkt.</p>	6		
b.	<p>An den geladene Teilchen wird die Beschleunigungsarbeit $W_E = Q \cdot U$ verrichtet. Bei kleinen Beschleunigungsspannungen kann man nichtrelativistisch rechnen, so dass die kinetische Energie durch den Term $E_{kin} = 1/2 \cdot m \cdot v^2$ gegeben ist. Für die kinetische Energie der Elektronen gilt nach dem Durchlaufen des Beschleunigungskondensators $E_{kin} = W_E$ und es folgt:</p> $\frac{1}{2} m_e v_0^2 = e \cdot U_B \Leftrightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2e \cdot U_B}{m_e}}$ <p>Für $U_B = 2 \text{ kV}$ ergibt sich: $v_0 \approx \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ V}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} \approx 2,65 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$</p>	2	4	

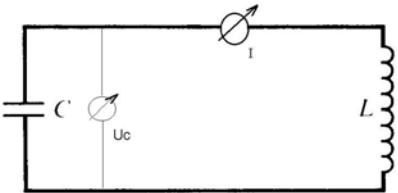
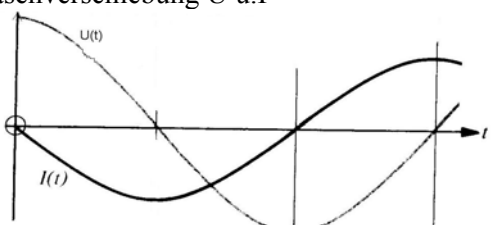
c.	<p>Im Ablenkkondensator wirkt auf die Elektronen nur die elektrische Kraft F_{el} nach unten, die in dieser Richtung eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung hervorruft. Da die Elektronen mit der konstanten horizontalen Geschwindigkeit v_0 eintreten und diese Geschwindigkeitskomponente erhalten bleibt, hat die Bahnkurve die Form einer Parabel. Für die Zeit zum Durchfliegen des Ablenkkondensators folgt:</p> $t = \frac{l}{v_0} = \frac{0,06m}{3 \cdot 10^7 \frac{m}{s}} = 2 \cdot 10^{-9} s = 2ns .$ <p>In dieser Zeit t wird das Elektron die Strecke $s = \frac{1}{2} at^2$ nach unten beschleunigt. Die Beschleunigung ergibt sich aus $a = \frac{F_{el}}{m_e} = \frac{E \cdot e}{m_e} = \frac{U_A \cdot e}{d \cdot m_e}$.</p> <p>Also ergibt sich insgesamt $s = \frac{1}{2} \frac{U_A \cdot e}{d \cdot m_e} \cdot t^2$.</p> <p>Einsetzen der Werte liefert</p> $s \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{1,5 \cdot 10^3 \frac{J}{C} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} C}{0,04m \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} kg} \cdot (2 \cdot 10^{-9} s)^2 \approx 0,0132m .$ <p>Die Elektronen verlassen den Ablenkkondensator ca. 1,3 cm unterhalb ihrer horizontalen Einschussrichtung.</p>	2	7	
d.	<p>Damit die Elektronen das homogene elektrische Feld des Ablenkkondensators unabgelenkt durchfliegen, muss die Lorentzkraft der elektrischen Kraft entgegenwirken, d.h. die Lorentzkraft muss in Richtung der negativen Platte wirken. Das Magnetfeld muss also senkrecht aus der Zeichenebene heraus gerichtet sein. Für die Beträge der Kräfte muss gelten:</p> $F_L = F_{el} \Leftrightarrow q \cdot v_0 \cdot B = q \cdot E \Leftrightarrow B = \frac{E}{v_0} = \frac{U_A}{v_0 \cdot d}$		4	1
e.	<p>Wird U_B größer, so treten die Elektronen mit größerer Geschwindigkeit in die gekreuzten Felder im Plattenkondensator ein. Die Lorentzkraft wird größer und die elektrische Kraft bleibt konstant. Diese Elektronen werden also nach oben abgelenkt. Wird U_B kleiner, so wird die Lorentzkraft kleiner und die Elektronen werden nach unten abgelenkt.</p>			4
Summe		10	15	5

B1: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Aufgabe	Lösung	Anforderungsbereiche		
		I	II	III
B1a	<p>Aufbauskitze mit Lampe, Filter, Spalt, Abbildungslinse, Gitter, Schirm</p> <p>Der Spalt begrenzt die ausgedehnte Lichtquelle und die Sammellinse bildet den Spalt (Lichtquelle) scharf auf dem Schirm ab.</p> <p>Beobachtung: Einfarbige Linien auf dem Schirm, die symmetrisch zur hellsten Linie liegen und lichtschwächer werden, je weiter sie von der Mitte entfernt sind.</p>	3	2	
B1b	<p>Jede Spaltöffnung des Gitters ist Ausgang einer Elementarwelle. Entlang der optischen Achse ist es hell (Maximum 0. Ordnung). Es gibt ausgezeichnete Ausbreitungsrichtungen der Elementarwellen, auf denen benachbarte Wellenzüge so interferieren, dass sie sich verstärken.</p>  <p>Dies ist der Fall, wenn der Gangunterschied Δs genau 1λ oder ein ganzzahliges Vielfaches von λ beträgt. Auslöschung gibt es bei den Wellenzügen, deren Gangunterschied $\frac{1}{2}\lambda$ oder ein ungerades Vielfaches davon ist.</p> <p>Wegen der kugelförmigen Form der Elementarwellen ist das Interferenzmuster achsensymmetrisch zum Maximum 0. Ordnung. Je nach verwendeter Farbe des Filters ist die Beugung nach der Formel $n\lambda = g \cdot \sin\alpha_n$ bei größerer Wellenlänge größer als bei kürzerer bei fester Ordnung n.</p> <p>Die Intensität nimmt mit höherer Ordnung ab, weil immer weniger Wellenzüge die jeweilige Interferenzbedingung erfüllen.</p>	5	4	
B1c	<p>Planskizze, Formeln: $n\lambda_i = g \cdot \sin\alpha_{ni}$; $\tan\alpha_{ni} = x_{ni} : a$; $a = 3\text{m}$, $n = 1$; $g = 2,5 \cdot 10^{-5}\text{m}$ berechnen;</p> <p>Abstand der Ränder des Spektrums vom Maximum 0. Ordnung: $x_{11} = 5,25\text{cm}$, $x_{12} = 6,95\text{cm}$</p> <p>Berechnung der Wellenlängen: $\lambda_1 \approx 437\text{nm}$ (blau); $\lambda_2 \approx 579\text{nm}$</p>	2	4	2
B1d	<p>Berechnung der Beugungswinkel α_{ni} für $n = 2$ und $i = 2$ und für $n = 3$ und $i = 1$ mit $n\lambda_i = g \cdot \sin\alpha_{ni}$ ergibt $\alpha_{31} > \alpha_{22}$, wobei $\alpha_{31} \approx 2,99^\circ$ und $\alpha_{22} \approx 2,65^\circ$.</p>		4	

B1e	<p>Jede Gitterkonstante trennt die Spektren bis zur 3. und 4. Ordnung. Dies folgt aus $(n+1) \cdot 437 > n \cdot 579 \Rightarrow n \geq 3$.</p> <p>Die Anzahl der Ordnungen auf dem Schirm steigt mit größer werdender Gitterkonstante wegen $\sin \alpha_n = \frac{n\lambda}{g} < 1$.</p> <p>Die Abstände zwischen benachbarten Maxima werden geringer, wenn die Gitterkonstante g steigt, da für kleine Beugungswinkel gilt: $\alpha_{n+1} - \alpha_n \approx \frac{1}{g} ((n+1)\lambda_1 - n\lambda_2)$</p> <p>Wenn g geringer ist, dann nimmt wegen $\alpha_{n2} - \alpha_{n1} \approx \frac{1}{g} (n\lambda_2 - n\lambda_1)$ die Breite des Ausschnittes aus dem kontinuierlichen Spektrum zu. (Mindestens zwei zu nennen und zu begründen!)</p>			
Σ		10	16	4

B2: Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Teilaufgabe	Lösung	AE I	AE II	AE III
1 a	 <p>Schaltbild:</p> <p>Für $t=0$ sei U maximal; C entlädt sich über Spule L; durch den Spulenstrom wird eine Spannung induziert, die zu jedem Zeitpunkt wegen der Parallelschaltung gleich U_C der Spannung am Kondensator ist; ist der Spulenstrom maximal, dann ist U_C null. Beim Zusammenbruch des Magnetfeldes wird wieder eine Spannung induziert, die nun den Kondensator umgekehrt auflädt. Hinweis: Mit dem ausschließlichen Hinweis auf Austausch der in C und L gespeicherten Energie ist der Ablauf der Schwingung nicht erklärt Phasenverschiebung U u. I</p>  <p>Hinweis: Auch das Skizzieren des Betrages der Stromstärke ist mit Punktabzug möglich.</p>	2	5	
1 b	<p>Ein ohmscher Widerstand wirkt dämpfend, d.h. dem Schwingkreis wird kontinuierlich Energie entzogen, d.h. die Amplituden für U und I nehmen ab. Dieser Energieverlust entsteht durch Stromwärme in den Zuleitungen und in der Spule.</p>	2	1	

l c	Aus Formelsammlung $L = \mu_0 n^2 A / l$ und einsetzen. Thomson-Formel $T = 2\pi\sqrt{LC}$ bzw. $f = 1/T$ anwenden, ergibt $f = 470,55$ Hz Abweichung: 10% von 500 Hz liefert $450\text{Hz} \leq 470,55\text{Hz} \leq 550$ Hz; Daraus folgt, dass mit diesem Bauteil der gewünschte Schwingkreis aufgebaut werden kann.	3	4	
l d	Aus dem Erhaltungssatz für die Gesamtenergie während der Schwingung gilt: $0,5LI_{\max}^2 = 0,5CU_{\max}^2$. Daraus errechnet sich I_{\max} zu $I_{\max} = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot U_{\max} = 0,24 \text{ mA}$	1	4	2
l e	Wenn die Spule auseinander gezogen wird, nimmt L ab, da l größer wird und die anderen bestimmenden Größen gleich bleiben. Mit kleinerem L wird T kleiner bzw. f größer. Die Eigenfrequenz wird also größer. Da die anfängliche Energie durch U_{\max} und C bestimmt ist, wird bei Energieerhaltung bei kleinerem L der maximale Spulenstrom I größer.		3	3
Geamtpunktzahl $\Sigma = 30$ Punkte		8	17	5

C1: Atom- und Quantenphysik
Aufgabe Lösung

**Anforderungs-
bereiche**

		I	II	III
l a	Laut Bohr kann das Atom nur einer Reihe streng bestimmter Energiewerte annehmen, denen jeweils eine bestimmte Bahn entspricht. Absorbiert werden nur solche Quanten, welche einem Sprung von einer energieärmeren auf eine energiereichere Bahn entsprechen. Beim umgekehrten Übergang werden dieselben Quanten emittiert.	4		
l b	- Ionisierungsenergie $hf = 13,61\text{eV} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ - mit der kinetischen Energie erhält man $v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = 2,19 \cdot 10^6 \text{ m/s}$	3	4	
l c	- sichtbarer Spektralbereich: 800nm bis 400nm - sichtbare Linien des Wasserstoffatoms sind bekannt als Balmer-Linien mit $n_e=2$ - Berechnung der Wellenlänge durch Einsetzen der Quantenzahl $n_a=3$ in die Serienformel ergibt 656,3nm	4	2	
l d	- Es handelt sich um eine Balmer-Linie - Serienformel auflösen ergibt $\frac{1}{R_y \cdot \lambda} = \left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_a^2} \right) = 0,1883$ oder $\frac{f}{R_H} = \left(\frac{1}{n_e^2} - \frac{1}{n_a^2} \right) = 0,1883$, woraus $n_e=4$ folgt		8	

1 e	Weil Z-1 Elektronen die Kernladung abschirmen, wirkt nur die Ladung eines Protons auf das hochangeregte Elektron, das den Kern und die übrigen Elektronen in einem riesigen Abstand umkreist.		2	
	Da nach der Serienformel die Abstände zwischen benachbarten Energieniveaus immer geringer werden entsteht ein Kontinuum. Der exakte Bahnbegriff oder Bohrs Quantisierungsvorschriften verlieren damit ihren Sinn.			3
	Σ	11	16	3

C2: Atom- und Quantenphysik

Teil-aufgabe	Lösung	BE		
		I	II	III
a.	Die ersten Elektronen, die in den beiden oberen Bildern nachgewiesen werden, scheinen an zufälligen Stellen auf den Schirm zu treffen. Nachdem jedoch mehrere tausend Elektronen durch den Doppelspalt getreten sind, wird auf dem Schirm ein Muster erkennbar. Es werden Streifen sichtbar, wo viele Elektronen auf den Schirm getroffen sind und solche, wo nur wenige Elektronen auftrafen. Das Bild entspricht völlig dem, das von Doppelspalt-Versuchen mit Licht bekannt ist und mit der Welleneigenschaft des Lichts erklärt wurde. Elektronen sind demnach ebenso wie Photonen Quantenobjekte, die außer den Eigenschaften Energie E , Masse m und Impuls p auch eine Wahrscheinlichkeitswelle Ψ mit einer bestimmten Wellenlänge λ besitzen. Das Quadrat der Wahrscheinlichkeitswelle Ψ gibt die Wahrscheinlichkeit an, ein Elektron in einem bestimmten Volumenelement ΔV anzutreffen bzw. nachzuweisen.	6		
b.	Für den Impuls p folgt aus $E_{kin} = \frac{p^2}{2m} = eU$ die Gleichung $p = \sqrt{2meU} = \sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 150 \text{ V}} = 6,61 \cdot 10^{-24} \text{ kg m/s} .$ Mit der de-Broglie-Beziehung $\lambda = h/p$ folgt damit $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{6,61 \cdot 10^{-24} \text{ kg m/s}} = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ Der Spaltabstand muss von der Größenordnung der Wellenlänge, also 100 pm sein.		6	
c.	Solche Versuche sind grundsätzlich nicht möglich, weil Ort und Impuls eines Quantenobjekts nicht gleichzeitig bestimmt werden können. Würde man in dem genannten Beispiel den Impuls p der Photonen genügend groß und damit nach $\lambda = h/p$ die Wellenlänge λ genügend klein machen (vergleichbar mit dem Spaltabstand), könnte zwar festgestellt werden, dass ein Elektron durch einen bestimmten Spalt fliegt, der Impuls des Elektrons und damit auch seine Wellenlänge würde aber durch den Stoß mit dem Photon in unkontrollierter Weise verändert: Dadurch würde die Interferenzfigur verschwinden. Es könnte damit aus der Interferenzfigur keine Wellenlänge und damit auch nicht der Impuls des Elektrons ermittelt werden.	2	4	

d.	<p>Mit der Formel für die Energie im linearen Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden $E_n = \frac{h^2}{8ma^2}n^2$ folgt mit $n = 1$ die Energie $E_1 = 37,6\text{eV}$.</p> <p>Aus der Balmer-Formel $f = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$ folgt mit $E = hf$ für $n = 1$ und m gegen Unendlich die Energie $E = 13,6 \text{ eV}$</p>	3	2	
e.	<p>Im Atomkern hätte das Elektron die Energie $E_n = \frac{h^2}{8ma^2}n^2 = 1,67 \text{ GeV}$.</p> <p>Mit dieser Energie hätte das Elektron die Masse $m = \frac{E}{c^2} = 2,98 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; das ist das 3266-fache der Ruhemasse des Elektrons. Das Elektron im Kern wäre damit fast doppelt so schwer wie ein Proton. Bestünde ein Heliumkern aus vier Protonen und zwei Elektronen (wie man zunächst angenommen hatte), würde seine Masse nicht – wie gemessen wird – rund 4 atomare Masseneinheiten betragen sondern nahezu 8 Masseneinheiten.</p>		2	5
	Summe: 30	11	14	5