

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2009

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

- Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments (Aufgabe 1)
- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält (Aufgabe 2)

2. Aufgabenstellung

Aufgabe 1: Untersuchung der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum	(66 Punkte)
Aufgabe 2: Hochenergetische Elektronen (β^- -Teilchen)	(60 Punkte)

3. Materialgrundlage

Versuchsmaterial und -aufbau zu Aufgabe 1

Es soll zunächst das obere Experiment aus Abbildung 1 der Aufgabenstellung a) (ggf. auch ohne Spektralzerlegung) gezeigt werden. Dazu wird Kochsalz (NaCl) auf z. B. einen kleinen Löffel gegeben und in die Gasbrennerflamme gehalten. Die dabei auftretende Gelbfärbung der Flamme soll beobachtet werden.

Anschließend soll nach Möglichkeit das mittlere Experiment aus Abbildung 1 vorgeführt werden. Dazu wird in den Weg des Lichts vor dem Gitter oder Prisma ein aufgeheizter Glaskolben mit Natriumgas („Natriumfluoreszenzröhre“) gebracht. Es soll auch nach Möglichkeit das untere Experiment der Abbildung 1 gezeigt werden.

Auf jeden Fall aber soll ein Spektrum weißen Lichts mit Hilfe eines optischen Gitters oder eines Prismas experimentell erzeugt und gezeigt werden.

Folgende Punkte müssen von der Lehrkraft mitgeteilt werden:

- Die Spektrallinie im oberen Experiment der Abbildung 1 liegt genau an der Stelle, an der im mittleren Experiment der Abbildung 1 die dunkle Linie („Absorptionslinie“, „Fraunhofer-Linie“) liegt.
- Das Natriumgas im mittleren Experiment der Abbildung 1 leuchtet gelb auf.
- In den Experimenten der Abbildung 1 ist jeweils ein Prisma dargestellt, das das Spektrum erzeugt. In den Aufgabenteilen h) und i) wird aber an Stelle des Prismas ein optisches Gitter betrachtet.

Die Bestimmungen RISU sind einzuhalten.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2009

1. Inhaltliche Schwerpunkte

Aufgabe 1:

- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
 - Interferenz (Lichtbeugung am Gitter)
- Atom- und Kernphysik
 - Linienspektren und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (Beobachtung von Spektrallinien am Gitter)

Aufgabe 2:

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld)
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft (Stromwaage)
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Wien-Filter)
- Relativitätstheorie
 - Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und deren Konsequenzen

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- 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.

Aufgabe 1: Untersuchung der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum

a) Im ersten Experiment sieht man eine Natriumlinie. Sie entsteht durch einen charakteristischen Elektronenübergang im Natriumatom, der durch die Wärmezufuhr in der Flamme angeregt wird. Weitere Linien im sichtbaren Spektralbereich sind nicht zu sehen. Daraus folgt, dass durch die Wärmezufuhr weitere Übergänge im Natriumatom nicht angeregt werden.

Im zweiten Experiment erkennt man das kontinuierliche Spektrum der Halogenlampe, das den Kolben mit dem Natriumgas durchsetzt. Durch die Photonen im Spektrum, die genau die Anregungsenergie für den betrachteten Natriumübergang besitzen, werden die Natriumatome zur Emission genau dieser Photonen angeregt und emittieren diese in alle Richtungen. Damit ist der Anteil dieser Photonen in Richtung des Beobachtungsschirms deutlich schwächer, weshalb diese Linie im Spektrum deutlich dunkler (oder für das Auge nicht mehr erkennbar) ist.

Im dritten Experiment erkennt man 6 Spektrallinien des Quecksilbers, deren Photonenenergien nicht mit der charakteristischen Energie für den Natriumatomübergang übereinstimmen. Deshalb werden diese nicht von den Natriumatomen absorbiert und können keinen Quantensprung bewirken.

Das Natrium leuchtet nicht, die Quecksilberlinien werden nicht beeinflusst.

b) Mit dem angegebenen Wellenlängenmaßstab lassen sich die Wellenlängen der Linien ermitteln. Sie sind in der Tabelle angegeben, wobei eine Ableseungenauigkeit wegen der Nichtlinearität der Skala tolerierbar ist.

Linie	A	B	C	D	F	G	a	h
λ in nm	761	687	656	589	486	431	720	410

c) Das Licht, das in der Photosphäre entsteht, durchläuft die Sonnenatmosphäre. Dort werden von den darin enthaltenen Molekülen und Atomen Photonenenergien absorbiert, die zu den möglichen Übergängen in diesen Atomen/Molekülen „passen“. Dadurch, dass diese Photonenenergien und die ihnen zugeordneten Wellenlängen dem kontinuierlichen Gesamtspektrum der Sonne durch die Anregung von Atomen (oder Molekülen) entzogen werden und dann von diesen punktförmigen Quellen in alle Richtungen ausgesandt werden, sind sie weniger stark im Spektrum enthalten bzw. fehlen darin.

- d) Die Linien A, B und a werden von Atomen oder Molekülen in der Erdatmosphäre absorbiert, wohingegen die D-Linie belegt, dass Natrium in der Sonnenatmosphäre vorkommen muss, wo es das Licht der entsprechenden Wellenlänge absorbiert.
- e) Aus den jeweils im Sternenspektrum enthaltenen Absorptionslinien kann man rück-schließen, welche Atome in der Sternatmosphäre enthalten sind, da sie das Licht absorbieren. Dazu müssen auf der Erde im Labor die Emissionsspektren aller Elemente gemessen werden, um sie mit den schwarzen Linien zu vergleichen.
- f) Berechnung der Übergänge der Balmer-Serie mit der gegebenen Balmer-Formel und Zuordnung zu den Fraunhofer'schen Linien mit Hilfe der Wellenlängen aus Aufgabenteil b):

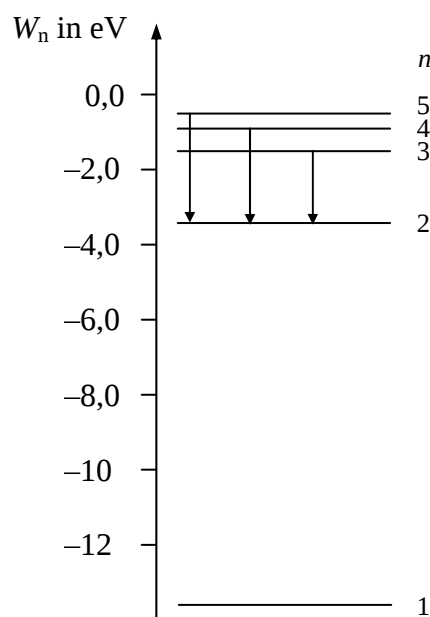
n	3	4	5	6	7
λ in nm	655	485	433	409	396
Linie	C	F	G	h	

Es sind also die Linien C, F, G und h, die dem Wasserstoff entstammen.

- g) Mit der gegebenen Gleichung für die Energien des gebundenen Elektrons im Wasserstoffatom werden die folgenden Werte erhalten:

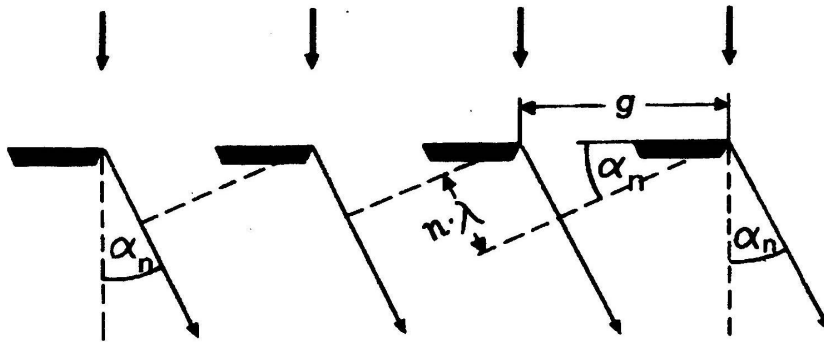
n	1	2	3	4	5
W in eV	-13,6	-3,4	-1,51	-0,85	-0,54

Das entsprechende Energieniveauschema des Wasserstoffatoms mit den Übergängen:



h) Ein Gitter kann man sich als Abfolge sehr vieler lichtdurchlässiger Spalte und lichtundurchlässiger Stege aufgebaut denken. Es interferieren die Elementarwellen, die von den Spalten ausgehen. Maximale Verstärkung liegt vor, wenn der Gangunterschied zwischen benachbarten Wellenstrahlen $n \cdot \lambda$ beträgt.

Die Skizze sollte einen vergrößerten Gitterausschnitt enthalten sowie die relevanten Größen: Gitterkonstante g , Gangunterschied $n \cdot \lambda$, Beugungswinkel α_n .



Aus der geometrischen Betrachtung zweier benachbarter Wellenstrahlen und dem Beugungswinkel α_n folgt der Zusammenhang:

$$\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{g}.$$

Wird das Gitter mit monochromatischem Licht beleuchtet, so ist das Interferenzbild aus einzelnen hellen Maxima aufgebaut, die durch breitere Dunkelbereiche getrennt sind.

Wird das Gitter mit weißem Licht beleuchtet, so besteht das Interferenzbild aus kontinuierlichen Spektren (Regenbogenfarben), die sich zum Teil überlagern können.

- i) Unter Verwendung der Gitterkonstanten g (570 Spalte pro Millimeter: $g = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) wird zunächst der Beugungswinkel für die erste Ordnung ($n = 1$) berechnet. Die Wellenlänge der D-Linie wird der Abbildung 2 entnommen zu $\lambda = 589 \text{ nm}$.

Der Beugungswinkel berechnet sich zu:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\lambda}{g} = \frac{589 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{1,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 0,337 \Rightarrow \alpha_1 = 19,67^\circ$$

Mit Hilfe der Gleichung $\tan \alpha_n = \frac{a_n}{d}$

(d : Entfernung Gitter – Beobachtungsschirm,

a_n : Abstand des Maximums n -ter Ordnung vom Hauptmaximum bzw. von der optischen Achse)

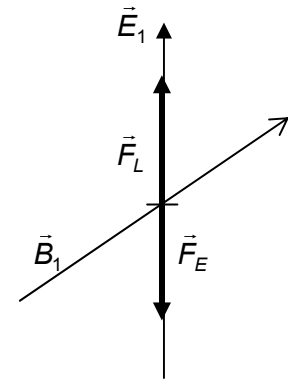
ergibt sich: $a_1 = d \cdot \tan \alpha_1 = 3 \text{ m} \cdot \tan 19,67^\circ = 1,07 \text{ m}$.

- j) Es muss erkannt werden, dass das rote Licht beim Prisma weniger abgelenkt wird als das blaue. Dann muss gesagt werden, dass beim optischen Gitter rotes Licht stärker abgelenkt wird als blaues. Als Begründung kann angegeben werden, dass aufgrund der Gleichung aus Aufgabenteil h) der Beugungswinkel für langwelligeres Licht (rot) größer ist als für kurzwelliges (blau).

Aufgabe 2: Hochenergetische Elektronen (β^- -Teilchen)

a)

- Die Skizze verdeutlicht, dass für den abgebildeten Fall ($\vec{E}_1 \perp \vec{B}_1$ bei entsprechender Orientierung der Feldvektoren) die Kraftvektoren der elektrischen Kraft \vec{F}_E und der Lorentzkraft \vec{F}_L entgegengesetzt gerichtet sind und damit sich aufheben können (Skizze für $q = e$).



- Gleichsetzen der Beträge von elektrischer Kraft $F_E = e \cdot E_1$ und

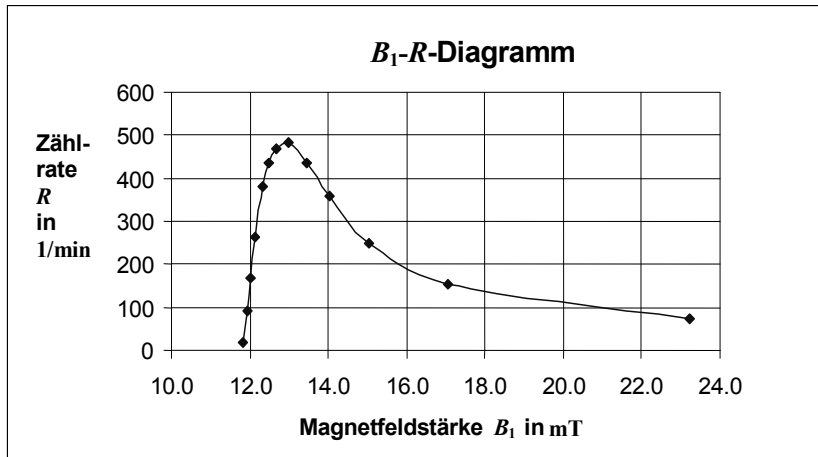
Lorentzkraft $F_L = e \cdot v \cdot B_1$ führt auf die gesuchte Beziehung $v = \frac{E_1}{B_1}$.

- Die gezeigte Beziehung ist unabhängig von der Ladung e .
- Skizze einer parabelförmigen Bahnkurve, die nach unten geöffnet ist, beginnend an der Pfeilspitze (siehe Abbildung 1). Die x -Achse des Koordinatensystems liegt parallel zu den Kondensatorplatten. Die y -Achse verläuft am rechten Rand des Kondensators.
- In x -Richtung bewegen sich die Teilchen gleichförmig, in y -Richtung gleichmäßig beschleunigt. Die Bahnkurve entsteht durch unabhängige Überlagerung beider

Bewegungen: $x = v \cdot t$ und $y = -\frac{1}{2} a_E t^2$ mit $a_E = \frac{F_E}{m}$.

Durch Elimination der Zeit ergibt sich $y = -\frac{1}{2} a_E \frac{x^2}{v^2}$, also die Gleichung einer nach unten geöffneten Parabel (mit Scheitelpunkt im Ursprung).

b)



- Die Zählrate nimmt ab einer Stärke des magnetischen Feldes von 11,8 mT stark zu bis zu einem (absoluten) Maximum bei ca. 13 mT. Ab diesem Wert nimmt sie weniger stark ab. Das Maximum der Kurve liegt bei $B_1 \approx 13$ mT.
- Die angegebenen Messdaten ($U_1 = 3150$ V, $d = 0,9$ mm) liefern eine elektrische Feldstärke $E_1 = U_1 / d = 3,5$ MV/m. Mit $v = E_1 / B_1$ erhält man für die markierten B_1 -Werte

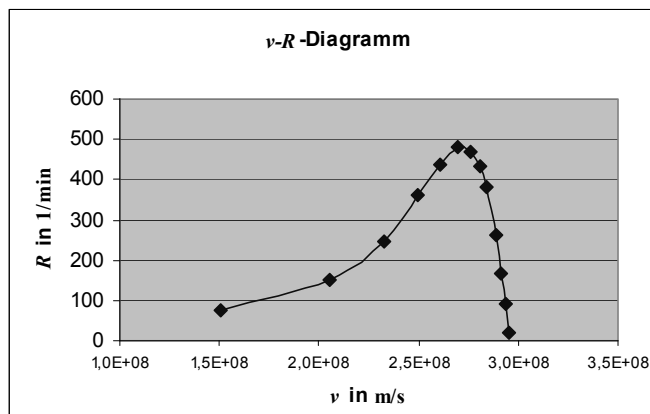
die Geschwindigkeiten

$$v_1 = 1,51 \cdot 10^8 \text{ m/s,}$$

$$v_2 = 2,33 \cdot 10^8 \text{ m/s,}$$

$$v_3 = 2,70 \cdot 10^8 \text{ m/s und}$$

$$v_4 = 2,96 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$



Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Das nebenstehende Diagramm berücksichtigt alle Messpunkte, ist also in dieser Ausführlichkeit nicht gewünscht.

- Die Zählraten zwischen den Randstellen steigen und fallen ähnlich wie im B_1 -R-Diagramm. Offenbar haben die β^- -Teilchen unterschiedliche Geschwindigkeiten und somit unterschiedliche kinetische Energien (Geschwindigkeits- und Energiespektrum). Es existiert ein Geschwindigkeitswert, der sehr häufig vorkommt (maximale Zählrate), und ein maximaler Geschwindigkeitswert, der selten vorkommt (minimale Zählrate). Dieser liegt nahe der Lichtgeschwindigkeit und entspricht der maximalen kinetischen Energie der Teilchen.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die Interpretation der Neutrino-Beteiligung wird nicht erwartet.

- c) • Es wirkt die Lorentz-Kraft $\vec{F}_L = e(\vec{v} \times \vec{B})$ auf diese Teilchen. Folglich gilt $\vec{v} \perp \vec{F}_L$, was zu einer Kreisbahn führt. Die Zentripetalkraft wird durch den Betrag der Lorentzkraft bewirkt.

- Gleichsetzen der Kraftterme $e \cdot v \cdot B_2$ und $\frac{m \cdot v^2}{r}$ sowie Umformen liefert $m = \frac{e \cdot B_2 \cdot r}{v}$.

Mit $v = E_1 / B_1$ ergibt sich die gewünschte Formel für die Masse.

- Einheitenbetrachtung:

$$\left[\frac{e \cdot r \cdot B_1 \cdot B_2}{E_1} \right] = 1 \frac{\text{As} \cdot \text{m} \cdot \text{T}^2}{\frac{\text{V}}{\text{m}}} = 1 \frac{\text{As} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{V}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{V} \cdot \text{m}^2} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^2 = 1 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2 = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \text{m} \cdot \text{s}^2 = 1 \text{ kg}$$

d)

- Mit den betreffenden Gleichungen erhält man $v = 2,77 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und

$$m = 2,29 \cdot 10^{-30} \text{ kg}.$$

- Diese Masse ist wesentlich größer als die Ruhemasse des Elektrons (Literaturwert $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$). Die Diskrepanz lässt sich als relativistische Massenzunahme deuten, die sich aus der hohen Geschwindigkeit der Teilchen ergibt. Bestimmt wurde die dynamische Masse m .
- Die Ruhemasse m_0 ergibt sich nach Umformung der Einstein'schen Massenformel zu

$$m_0 = m \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 8,88 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \text{ in sehr guter Übereinstimmung mit dem Literaturwert (ca. 3 \% Fehler).$$

- Die Gesamtenergie ergibt sich aus der Äquivalenz zur dynamischen Masse: $E = m \cdot c^2$, also in diesem Fall $E = 1,288 \text{ MeV}$. Die kinetische Energie erhält man aus

$$E_{\text{kin}} = E - E_0 \text{ mit der Ruheenergie } E_0 = m_0 \cdot c^2, \text{ also}$$

$$E_{\text{kin}} = 1,288 \text{ MeV} - 0,511 \text{ MeV} = 0,777 \text{ MeV}.$$

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Der Weg über $E^2 = E_0^2 + p^2 \cdot c^2$ mit $p = m \cdot v$ ist auch möglich.

6.2 Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

Aufgabe 1: Untersuchung der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum**Teilaufgabe a)**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB) ¹
	Der Prüfling	
1	beschreibt die Beobachtung im oberen Experiment.	2 (II)
2	beschreibt die Beobachtung im mittleren Experiment.	2 (II)
3	beschreibt die Beobachtung im unteren Experiment.	2 (II)
4	erklärt die Entstehung im ersten Experiment.	2 (I)
5	erklärt die Entstehung im zweiten Experiment und die dunkle Linie.	4 (II)
6	erklärt die Entstehung im dritten Experiment.	2 (II)
7	begründet das Nichtaufleuchten.	2 (II)

Teilaufgabe b)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	ermittelt die 8 Wellenlängen.	4 (II)

Teilaufgabe c)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	deutet die Linien im Sonnenspektrum.	3 (II)

Teilaufgabe d)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	interpretiert den ersten Befund.	3 (II)
2	interpretiert den zweiten Befund.	3 (II)

¹ AFB = Anforderungsbereich

Teilaufgabe e)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	deutet die Tatsache im Hinblick auf ihren Informationsgehalt.	3 (III)

Teilaufgabe f)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	berechnet die Balmerwellenlängen für die angegebenen Fraunhofer'schen Linien.	5 (I)
2	ordnet diese den Linien zu.	2 (I)

Teilaufgabe g)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	berechnet die 5 Energieniveaus.	3 (I)
2	zeichnet das Energieniveauschema.	3 (I)
3	zeichnet darin drei Balmerübergänge ein.	2 (I)

Teilaufgabe h)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	erläutert Beugung und Interferenz.	2 (I)
2	skizziert die Beugung.	3 (I)
3	leitet die Gleichung her.	2 (I)
4	beschreibt die zwei Beobachtungen.	4 (I)

Teilaufgabe i)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	berechnet den Abstand.	3 (II)

Teilaufgabe j)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	beschreibt die Beobachtung.	2 (II)
2	begründet die Beobachtung.	3 (III)

Aufgabe 2: Hochenergetische Elektronen (β^- -Teilchen)**Teilaufgabe a)**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	skizziert Richtung und Orientierung der Feldstärke- und Kraftvektoren unter den gegebenen Bedingungen.	4 (I)
2	zeigt aus der Kräftegleichung $F_E = F_L$ die gesuchte Gleichung.	4 (I)
3	begründet die Ladungsunabhängigkeit.	2 (II)
4	skizziert die Bahnkurve innerhalb des Kondensators.	2 (I)
5	ermittelt die Gleichung der Bahnkurve aus den entsprechenden Bewegungsgleichungen.	5 (II)

Teilaufgabe b)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	wertet die experimentellen Daten aus, indem er ein B_1 - R -Diagramm erstellt.	5 (I)
2	beschreibt den Kurvenverlauf in dem vorliegenden Diagramm.	2 (I)
3	berechnet die Geschwindigkeitswerte.	4 (II)
4	zeichnet die Kurve in ein v - R -Diagramm.	2 (II)
5	analysiert den Kurvenverlauf.	4 (II)

Teilaufgabe c)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	erläutert, warum eine Kreisbahn in B_2 entsteht.	3 (I)
2	leitet aus $F_Z = F_L$ die gewünschte Beziehung her.	4 (II)
3	prüft die Übereinstimmung der Einheiten.	3 (II)

Teilaufgabe d)

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	bestimmt aus den gegebenen Messdaten die Geschwindigkeit und die Masse der Teilchen.	4 (I)
2	deutet die Diskrepanz zur Ruhemasse.	3 (III)
3	berechnet die Ruhemasse des Elektrons (nach äquivalenter Umformung der Massenformel).	3 (II)
4	vergleicht mit dem Literaturwert.	2 (II)
5	ermittelt die Gesamtenergie und die kinetische Energie der Teilchen in MeV.	4 (III)

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe 1: Untersuchung der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum

Teilaufgabe a)

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK ²	ZK	DK
1	beschreibt die Beobachtung ...	2 (II)			
2	beschreibt die Beobachtung ...	2 (II)			
3	beschreibt die Beobachtung ...	2 (II)			
4	erklärt die Entstehung ...	2 (I)			
5	erklärt die Entstehung ...	4 (II)			
6	erklärt die Entstehung ...	2 (II)			
7	begründet das Nichtaufleuchten.	2 (II)			

Teilaufgabe b)

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	ermittelt die 8 ...	4 (II)			

Teilaufgabe c)

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	deutet die Linien ...	3 (II)			

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

Teilaufgabe d)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	interpretiert den ersten ...	3 (II)			
2	interpretiert den zweiten ...	3 (II)			

Teilaufgabe e)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	deutet die Tatsache ...	3 (III)			

Teilaufgabe f)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	berechnet die Balmerwellenlängen ...	5 (I)			
2	ordnet diese den ...	2 (I)			

Teilaufgabe g)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	berechnet die 5 ...	3 (I)			
2	zeichnet das Energieniveauschema.	3 (I)			
3	zeichnet darin drei ...	2 (I)			

Teilaufgabe h)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	erläutert Beugung und ...	2 (I)			
2	skizziert die Beugung.	3 (I)			
3	leitet die Gleichung ...	2 (I)			
4	beschreibt die zwei ...	4 (I)			

Teilaufgabe i)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	berechnet den Abstand.	3 (II)			

Teilaufgabe j)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	beschreibt die Beobachtung.	2 (II)			
2	begründet die Beobachtung.	3 (III)			
	Summe 1. Aufgabe	66			

Aufgabe 2: Hochenergetische Elektronen (β^- -Teilchen)**Teilaufgabe a)**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	skizziert Richtung und ...	4 (I)			
2	zeigt aus der ...	4 (I)			
3	begründet die Ladungsunabhängigkeit.	2 (II)			
4	skizziert die Bahnkurve ...	2 (I)			
5	ermittelt die Gleichung ...	5 (II)			

Teilaufgabe b)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	wertet die experimentellen ...	5 (I)			
2	beschreibt den Kurvenverlauf ...	2 (I)			
3	berechnet die Geschwindigkeitswerte.	4 (II)			
4	zeichnet die Kurve ...	2 (II)			
5	analysiert den Kurvenverlauf.	4 (II)			

Teilaufgabe c)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erläutert, warum eine ...	3 (I)			
2	leitet aus $F_Z = F_L$...	4 (II)			
3	prüft die Übereinstimmung ...	3 (II)			

Teilaufgabe d)

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	bestimmt aus den ...	4 (I)			
2	deutet die Diskrepanz ...	3 (III)			
3	berechnet die Ruhemasse ...	3 (II)			
4	vergleicht mit dem ...	2 (II)			
5	ermittelt die Gesamtenergie ...	4 (III)			
	Summe 2. Aufgabe	60			
	Summe der 1. und 2. Aufgabe	126			

	Summe insgesamt	126			
	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	126 – 120
sehr gut	14	119 – 114
sehr gut minus	13	113 – 107
gut plus	12	106 – 101
gut	11	100 – 95
gut minus	10	94 – 89
befriedigend plus	9	88 – 82
befriedigend	8	81 – 76
befriedigend minus	7	75 – 70
ausreichend plus	6	69 – 63
ausreichend	5	62 – 57
ausreichend minus	4	56 – 49
mangelhaft plus	3	48 – 41
mangelhaft	2	40 – 33
mangelhaft minus	1	32 – 26
ungenügend	0	25 – 0