



Name: \_\_\_\_\_

## Abiturprüfung 2015

### Physik, Grundkurs

---

#### Aufgabenstellung:

#### Aufgabe: Definition und Messung des B-Feldes und der Halleffekt

Das in Abbildung 1 dargestellte Messexperiment erlaubt es, die Kraftwirkung eines Magneten auf einen elektrischen Strom zu messen:

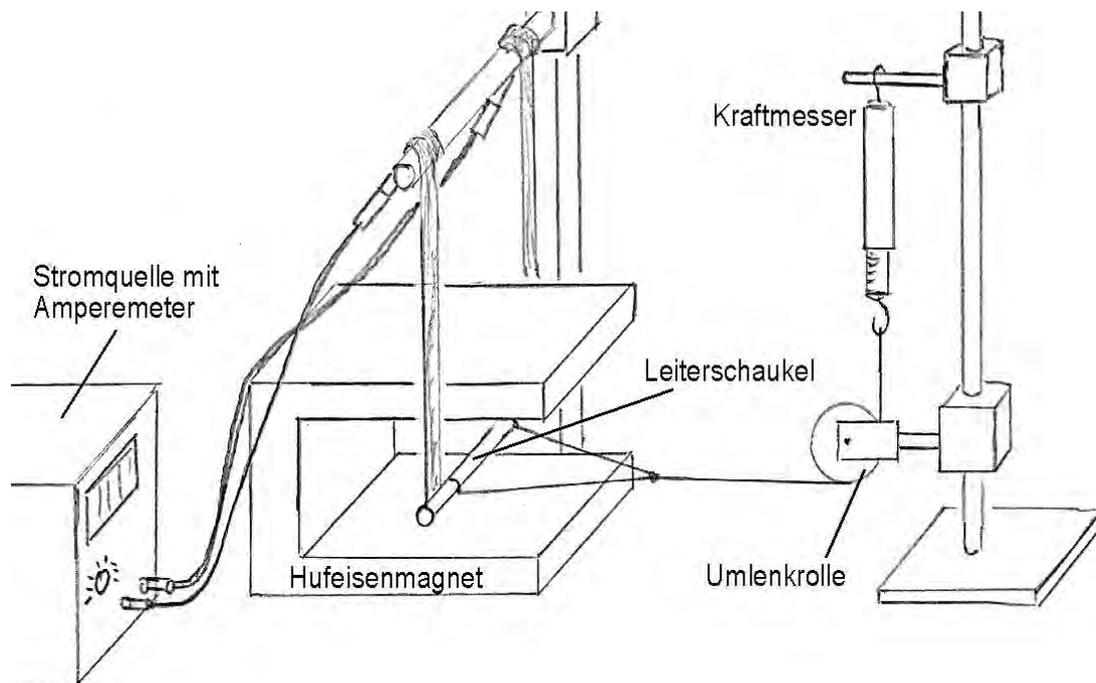


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Kraftwirkung auf einen stromführenden Leiter im Magnetfeld

#### Teilaufgabe 1

Beschreiben Sie den Aufbau des in Abbildung 1 dargestellten Experiments sowie die zu erwartenden Beobachtungen.

(8 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

## Teilaufgabe 2

Die Definition des Betrages der magnetischen Feldstärke  $|\vec{B}|$  basiert auf der Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld und lautet:

$$|\vec{B}| = \frac{|\vec{F}_{\text{mag}}|}{I \cdot l}$$

- a) Erläutern Sie diese Definition am Beispiel des Versuchsaufbaus aus Abbildung 1 und geben Sie die Maßeinheit von  $\vec{B}$  in Grundeinheiten an.
- b) Nehmen Sie an, dass bei dem in Abbildung 1 dargestellten Messexperiment die elektrische Stromrichtung so gewählt ist, dass vor dem Hufeisenmagneten der (+)-Pol und hinter dem Magneten liegend der (-)-Pol an das Leiterstück im Magnetfeld angeschlossen ist. Erläutern Sie, welche Bedingungen in diesem Experiment dabei an die relative Lage der Magnetfeldrichtung zur Stromrichtung gestellt werden müssen, damit eine Messung der Magnetfeldstärke  $|\vec{B}|$  des Hufeisenmagneten möglich ist, und geben Sie an, wo der Nordpol des Hufeisenmagneten liegen muss.
- c) Gehen Sie im Weiteren davon aus, dass die Bedingungen aus Teilaufgabe 2 b) für die Messung erfüllt sind. Die Abbildung 2 zeigt die Abmessungen des verwendeten Hufeisenmagneten. Eine Messung liefert folgende Ergebnisse:

$I$ in A:	1,5	2,5	4,0	5,5
$F_{\text{mag}}$ in mN:	60	95	150	220

Tabelle 1: Kraft  $F_{\text{mag}}$  als Funktion der Stromstärke  $I$



Name: \_\_\_\_\_

Zeichnen Sie ein Diagramm, in dem die gemessene Kraft als Funktion der Stromstärke aufgetragen ist, und bestimmen Sie aus dem Diagramm den Betrag der Stärke des magnetischen Feldes  $|\vec{B}|$ .

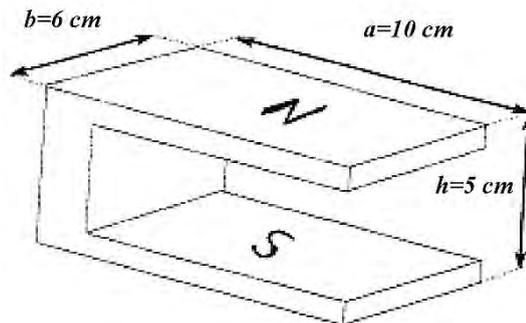


Abbildung 2: Abmessungen des verwendeten Hufeisenmagneten

- d) Die Bestimmung der Magnetfeldstärke  $|\vec{B}|$  im Hufeisenmagneten mit dem Aufbau aus Abbildung 1 liefert selbst bei genauer Kraft- und Strommessung nur einen ungenauen Wert für  $|\vec{B}|$ .

Begründen Sie diesen Umstand anhand der „Leiterlänge im Magnetfeld“ und geben Sie an, ob der Messwert systematisch eher zu groß oder zu klein ist.

(21 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

### Teilaufgabe 3

Eine genauere und praktikablere Bestimmung der Magnetfeldstärke  $\vec{B}$  ist heutzutage mit Hilfe des Halleffekts möglich. Bereits im Jahr 1879 gelang es dem Physiker E. H. Hall, an einem stromdurchflossenen Silberplättchen, welches von einem Magnetfeld durchsetzt wurde, quer zur Stromrichtung die nach ihm benannte Hallspannung  $U_H$  nachzuweisen.

Die Abbildung 3 zeigt das Prinzip seiner Versuchsanordnung.

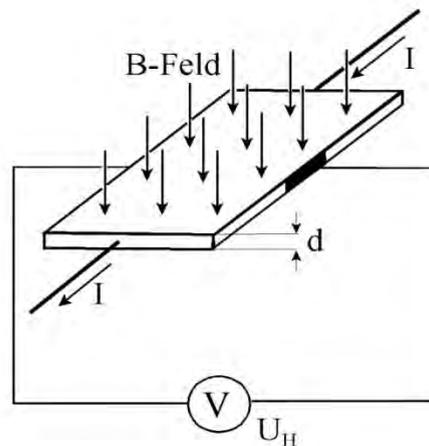


Abbildung 3: Messung der Hallspannung an einem stromdurchflossenen Leiterplättchen

Die quer zur Stromrichtung gemessene Hallspannung  $U_H$  ist bei konstanter Stromstärke  $I$  dann maximal, wenn das Magnetfeld das Leiterplättchen senkrecht durchsetzt.

- a) Erklären Sie anhand der Abbildung 4 qualitativ das Zustandekommen der Hallspannung an einem Metallplättchen im Magnetfeld.

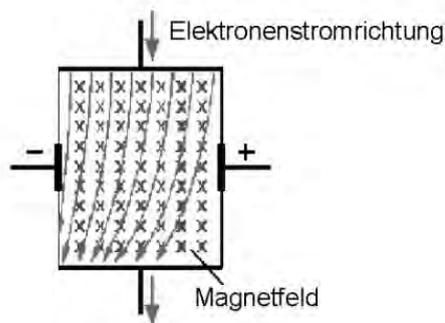


Abbildung 4: Elektrischer Leitungsvorgang im Silberplättchen mit Magnetfeld



Name: \_\_\_\_\_

- b) Es zeigt sich, dass die quer zur Stromrichtung gemessene Hallspannung  $U_H$  an dem Silberplättchen bei konstanter Magnetfeldstärke  $\vec{B}$  proportional zur Stromstärke  $I$  durch das Plättchen ist und bei konstanter Stromstärke  $I$  proportional zur Magnetfeldstärke  $\vec{B}$  ist.

$$U_H \sim I \quad \text{falls } \vec{B} \text{ konstant}$$

$$U_H \sim |\vec{B}| \quad \text{falls } I \text{ konstant}$$

Begründen Sie diese beiden Abhängigkeiten qualitativ anhand der mittleren Driftgeschwindigkeit  $v_D$  der Leitungselektronen im Plättchen. Sie können dabei davon ausgehen, dass die Anzahl der Leitungselektronen im Plättchen unabhängig von der Stromstärke  $I$  ist.

- c) Allgemein lautet der komplette Zusammenhang für die Hallspannung an einem Leiterplättchen  $U_H = A_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$ , dabei bezeichnet  $d$  die Dicke des Plättchens und  $A_H$  eine materialabhängige Konstante. Die Tabelle 2 zeigt die Werte von  $A_H$  für einige Materialien des Plättchens.

Material:	Silber	Kupfer	Wismut	Indiumarsenid
$A_H$ in $\frac{\text{m}^3}{\text{As}}$	$8,9 \cdot 10^{-11}$	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 2: Werte der Materialkonstante  $A_H$

Ein Magnetfeld unbekannter Feldstärke  $B$  trifft senkrecht auf ein Silberplättchen der Dicke  $d = 0,05 \text{ mm}$ . Bei der Stromstärke  $I = 2,2 \text{ A}$  wird an dem Plättchen die Hallspannung  $U_H = 1,1 \mu\text{V}$  gemessen. Der Wert der Hallspannung konnte dabei nur mit einer Genauigkeit von  $\Delta U_H = \pm 0,2 \mu\text{V}$  ermittelt werden.

Bestimmen Sie die Magnetfeldstärke  $B$  sowie deren Genauigkeitsgrenzen.

(16 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

#### Teilaufgabe 4

Wie aus der Tabelle 2 zu entnehmen ist, variiert die Materialkonstante  $A_H$  über mehrere Größenordnungen, d. h., bei ansonsten gleichen Randbedingungen (Stromstärke  $I$ , Magnetfeldstärke  $B$  und Plättchendicke  $d$ ) ergeben sich je nach Material sehr unterschiedliche Werte der Hallspannung  $U_H$ .

*Vergleichen Sie auf der Grundlage dieser Tatsache die Ladungsträgerdriftgeschwindigkeit in Materialien mit großem bzw. kleinem  $A_H$  und begründen Sie Ihre Aussage.*

(5 Punkte)

#### Zugelassene Hilfsmittel:

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

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2015

## Physik, Grundkurs

### 1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

**Aufgabe: Definition und Messung des B-Feldes und der Halleffekt**

(50 Punkte)

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

### 3. Materialgrundlage

- entfällt

### 4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

#### 1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
  - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke, Spannung (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld)
  - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße  $B$ , Lorentzkraft
  - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Halleffekt)

#### 2. Medien/Materialien

- entfällt

### 5. Zugelassene Hilfsmittel

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

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

## 6. Modelllösungen

**Die jeweilige Modelllösung stellt eine mögliche Lösung bzw. Lösungsskizze dar. Der gewählte Lösungsansatz und -weg der Schülerinnen und Schüler muss nicht identisch mit dem der Modelllösung sein. Sachlich richtige Alternativen werden mit entsprechender Punktzahl bewertet (Bewertungsbogen: Zeile „Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung“).**

**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.**

### Teilaufgabe 1

Bei diesem Aufbau befindet sich eine Leiterschaukel zwischen den Polschuhen eines Hufeisenmagneten. Die Leiterschaukel ist mit einer Schnur über eine Umlenkrolle mit einem Kraftmesser verbunden. Durch die Leiterschaukel kann ein variabler Gleichstrom fließen, der an einem Amperemeter gemessen wird.

Nach Einschalten des elektrischen Stroms kann am Kraftmesser die auf die Leiterschaukel wirkende magnetische Kraft abgelesen werden.

### Teilaufgabe 2

a) Der Betrag der magnetischen Feldstärke  $\vec{B}$  ist definiert über die auf das stromführende Leiterstück im Magnetfeld wirkende Kraft pro Stromstärke  $I$  im Leiterstück und pro Länge des Leiterstücks im Magnetfeld.

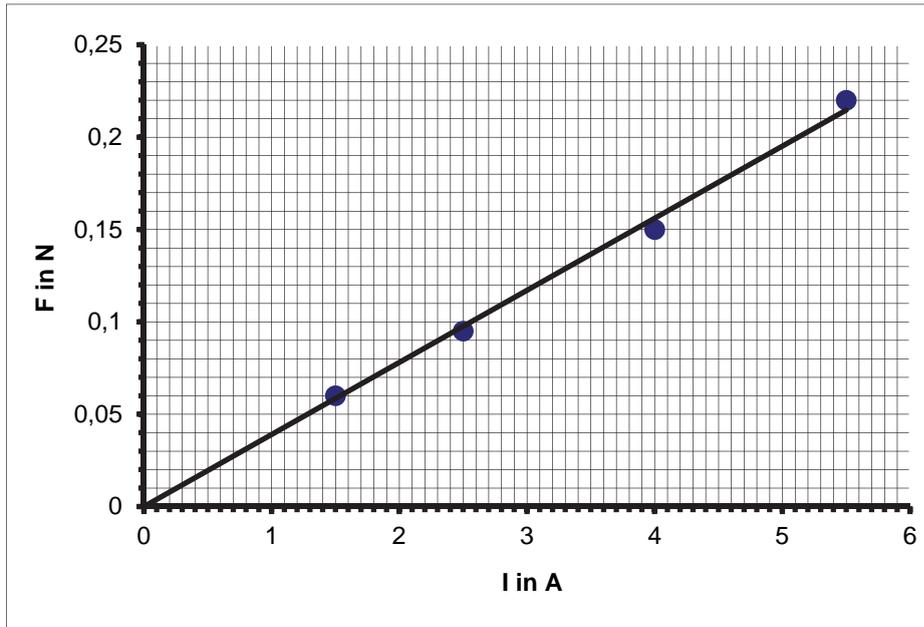
Die Maßeinheit der magnetischen Feldstärke ergibt sich zu:

$$[\vec{B}] = 1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}^2}.$$

b) Die Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Definition auf das Experiment ist, dass die Stromrichtung senkrecht zur Magnetfeldrichtung ist. Ferner muss die reale Stromrichtung (von  $(-)$   $\rightarrow$   $(+)$ ) relativ zur Magnetfeldrichtung (von  $\text{N} \rightarrow \text{S}$ ) so orientiert sein, dass gemäß der Linke-Hand-Regel die magnetische Kraft in den Hufeisenmagnet gerichtet ist.

Der Nordpol muss demnach oberhalb des Stromleiters liegen, damit eine Messung mit diesem Aufbau möglich ist.

c)



Für die Steigung der Ausgleichsgeraden ergibt sich  $m = \frac{0,075 \text{ N}}{1,9 \text{ A}} = 0,039 \frac{\text{N}}{\text{A}}$ . Die

Leiterschaukel befindet sich über der Breite des Hufeisenmagneten im homogenen Magnetfeld. Aus Abbildung 2 ergibt sich diese Breite zu  $b = 0,06 \text{ m}$ . Damit beträgt die Magnetfeldstärke zwischen den Polschuhen des Hufeisenmagneten

$$B = \frac{m}{b} = \frac{0,039 \frac{\text{N}}{\text{A}}}{0,06 \text{ m}} = 0,65 \text{ T}.$$

d) Bei der Bestimmung der magnetischen Feldstärke geht man bei dieser Messung davon aus, dass ein homogenes Magnetfeld auf die Breite des Hufeisenmagneten scharf begrenzt ist. In der Realität wirkt das Magnetfeld allerdings auch neben dem Hufeisenmagneten auf den stromführenden Leiter und bewirkt eine magnetische Kraft. Die gemessene Kraft ist damit nicht nur von dem Magnetfeld zwischen den Polschuhen verursacht und für die magnetische Feldstärke zwischen den Polschuhen wird damit systematisch ein etwas zu großer Wert bestimmt.

**Teilaufgabe 3**

a) Die Leitungselektronen bewegen sich mit einer mittleren Driftgeschwindigkeit durch das Leiterplättchen. Bei vorhandenem Magnetfeld wirkt die Lorentzkraft auf die bewegten Elektronen und lenkt sie gemäß der Linke-Hand-Regel zu einer Seite ab. Auf dieser Seite befindet sich damit ein Elektronenüberschuss und entgegenliegend ein Elektronenmangel. Diese Ladungsverschiebung verursacht die messbare Hallspannung.

b) Bei größerer Stromstärke  $I$  und gleicher Anzahl der Leitungselektronen im Plättchen erhöht sich die mittlere Driftgeschwindigkeit  $v_D$  jedes Elektrons. Bei konstanter Magnetfeldstärke  $\vec{B}$  bedeutet dies, dass die bewegten Elektronen stärker abgelenkt werden und damit eine größere Ladungstrennung stattfindet. Die Hallspannung wächst demnach an. Bei konstanter Stromstärke  $I$  ist auch die mittlere Driftgeschwindigkeit  $v_D$  konstant. Die ablenkende Lorentzkraft ist proportional zur Magnetfeldstärke  $\vec{B}$ , damit auch die Ladungstrennung und die Hallspannung.

c) Die Magnetfeldstärke ergibt sich zu  $B = \frac{U_H \cdot d}{A_H \cdot I}$ .

Gegeben:  $I = 2,2 \text{ A}$ ,  $d = 0,050 \text{ mm} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ ,  $U_H = 1,1 \mu\text{V} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ V}$ .

Rechnung:  $B = \frac{1,1 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{8,9 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{As}} \cdot 2,2 \text{ A}} = 0,28 \text{ T}$ .

Die Genauigkeit der Spannungsmessung  $\Delta U_H = \pm 0,2 \mu\text{V} = \pm 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ V}$  führt zu

folgender Genauigkeit:  $\Delta B = \frac{\pm 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{8,9 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{As}} \cdot 2,2 \text{ A}} = \pm 0,05 \text{ T}$ .

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Alternative Wege,  $\Delta B$  auf der Basis der Messgenauigkeit von  $U_H$  zu bestimmen, sind ebenfalls als richtig zu bewerten, insofern sie physikalisch plausibel sind.

**Teilaufgabe 4**

Im mikroskopischen Bild wird die Hallspannung  $U_H$  durch die Ablenkung der bewegten Leitungselektronen im Magnetfeld verursacht. Je stärker die Ablenkung, umso höher die quer zur Stromrichtung gemessene Hallspannung  $U_H$ .

Bei gleichem Magnetfeld und gleichen Leiterplättchenabmessungen hängt die Ablenkung der Elektronen und damit die hervorgerufene Hallspannung  $U_H$  wesentlich von ihrer Driftgeschwindigkeit ab. Da bei gleicher Leiterplättchendicke  $d$  sowie gleicher Magnetfeldstärke  $\vec{B}$  und Stromstärke  $I$  die Hallspannung  $U_H$  proportional der Hallkonstanten  $A_H$  ist, folgt, dass die mittlere Driftgeschwindigkeit der Ladungsträger in Materialien mit großer Hallkonstante  $A_H$  größer ist als in Materialien mit geringerer Hallkonstante  $A_H$ .

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Anstelle dieser qualitativen Argumentation sind auch andere fachlich korrekte Wege, z. B. die Argumentation mit der Formel  $U_H = B \cdot v_D \cdot b$  (die ansonsten in dieser Klausur nicht benötigt wird), zulässig.

**7. Teilleistungen – Kriterien / Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1)	beschreibt den Aufbau des in Abbildung 1 dargestellten Experiments.	4			
2)	beschreibt die zu erwartende Beobachtung.	4			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (8) ..... .....					
	<b>Summe Teilaufgabe 1</b>	<b>8</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a1)	erläutert die Definition am Beispiel des Versuchsaufbaus aus Abbildung 1.	4			
a2)	gibt die Maßeinheit von $\vec{B}$ in Grundeinheiten an.	2			
b1)	erläutert, welche Bedingungen in dem Experiment an die relative Lage der Magnetfeldrichtung zur Stromrichtung gestellt werden müssen, damit eine Messung der Magnetfeldstärke $ \vec{B} $ des Hufeisenmagneten möglich ist.	2			
b2)	gibt an, wo der Nordpol des Hufeisenmagneten liegen muss.	2			
c1)	zeichnet ein Diagramm, in dem die gemessene Kraft als Funktion der Stromstärke aufgetragen ist.	3			
c2)	bestimmt aus dem Diagramm den Betrag der Stärke des magnetischen Feldes $ \vec{B} $ .	3			
d1)	begründet den Umstand der schlechten Messgenauigkeit bei diesem Experiment anhand der „Leiterlänge im Magnetfeld“.	3			
d2)	gibt an, ob der erhaltene Messwert systematisch eher zu groß oder zu klein ist.	2			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (21) ..... .....					
	<b>Summe Teilaufgabe 2</b>	<b>21</b>			

**Teilaufgabe 3**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	erklärt anhand der Abbildung 4 qualitativ das Zustandekommen der Hallspannung an einem Metallplättchen im Magnetfeld.	4			
b)	begründet die Proportionalität von $U_H$ zu $I$ und $ \vec{B} $ qualitativ anhand der mittleren Driftgeschwindigkeit $v_D$ der Leitungselektronen im Plättchen.	7			
c)	bestimmt die Magnetfeldstärke $B$ sowie deren Genauigkeitsgrenzen.	5			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (16) ..... .....					
<b>Summe Teilaufgabe 3</b>		<b>16</b>			

**Teilaufgabe 4**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1)	vergleicht auf der Grundlage der für unterschiedliche Materialien variierenden Hallkonstanten $A_H$ die Ladungsträgerdriftgeschwindigkeit in diesen Materialien.	3			
2)	begründet seine Aussage über die Ladungsträgerdriftgeschwindigkeit in Materialien mit großem bzw. kleinem $A_H$ .	2			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (5) ..... .....					
<b>Summe Teilaufgabe 4</b>		<b>5</b>			

<b>Summe insgesamt</b>		<b>50</b>			
------------------------	--	-----------	--	--	--

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

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

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:

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
sehr gut plus	15	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 40
mangelhaft plus	3	39 – 34
mangelhaft	2	33 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0



Name: \_\_\_\_\_

# Abiturprüfung 2015

## Physik, Grundkurs

---

### Aufgabenstellung:

### Aufgabe: Die elektromagnetische Induktion

#### Teilaufgabe 1

Eine langgestreckte, luftgefüllte Feldspule der Länge  $l = 60$  cm hat  $n_f = 8000$  Windungen. Sie besitzt einen Luftspalt, durch den eine kleine rechteckige Spule von oben in ihr Inneres eingeschoben werden kann. Durch einen Strom  $I$  wird im Inneren der Feldspule ein Magnetfeld der Stärke  $B = 4,2$  mT erzeugt (siehe Abbildung 1).

a) Berechnen Sie die dafür notwendige Stromstärke.

In das Spulennere wird eine kleine rechteckige Spule mit  $n_i = 500$  Windungen, einer Breite von  $d = 5$  cm und einer Masse von  $m = 38$  g senkrecht zu den magnetischen Feldlinien teilweise eingeschoben und an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen, die durch sie einen Strom der Stärke  $I = 750$  mA fließen lässt.

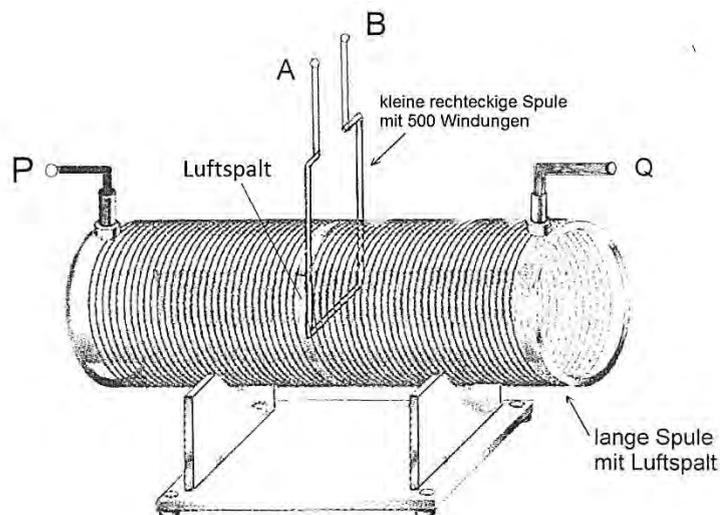


Abbildung 1:  
Feldspule mit eingeschobener  
kleiner rechteckiger Spule  
(Hinweis: A und B sind die  
Anschlüsse der kleinen Spule,  
P und Q sind die Anschlüsse  
der Feldspule.)



Name: \_\_\_\_\_

b) *Geben Sie an, in welche Richtung die Elektronen im unteren Teilstück der kleinen rechteckigen Spule fließen müssen, damit sie durch die magnetische Feldkraft nach unten gezogen wird.*

Nehmen Sie dazu an, dass die magnetischen Feldlinien im Inneren der Feldspule in Abbildung 1 von links nach rechts verlaufen.

c) *Berechnen Sie bei dieser Stromrichtung den Betrag der gesamten auf die kleine rechteckige Spule nach unten wirkenden Kraft.*

(8 Punkte)

## Teilaufgabe 2

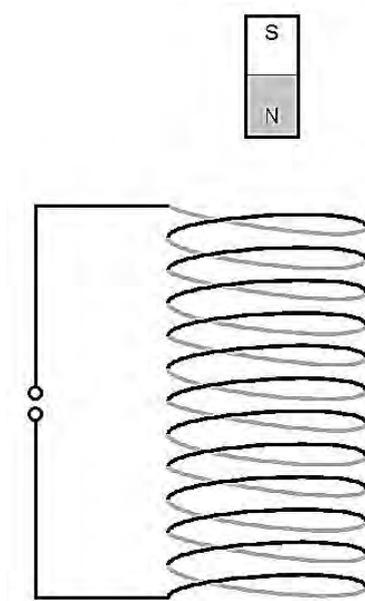


Abbildung 2: Stabmagnet fällt durch Spule

Ein Stabmagnet fällt längs der Spulenachse durch eine kurze Spule (siehe Abbildung 2). Dabei wird mit einem Oszilloskop der zeitliche Spannungsverlauf an der Spule gemessen.

a) *Erläutern Sie, weshalb bei diesem Vorgang eine Spannung auftritt.*



Name: \_\_\_\_\_

b) Begründen Sie, welche der folgenden Kurven den Spannungsverlauf am besten beschreibt (siehe Abbildung 3).

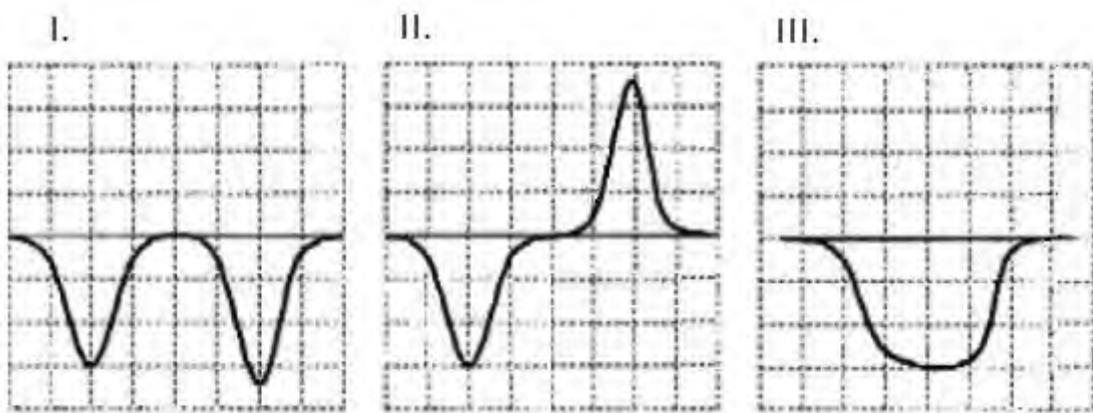


Abbildung 3: Verschiedene Spannungsverläufe

**Hinweis:**

In den drei Verläufen ist jeweils nach oben die gemessene Spannung über der Zeit aufgetragen.

c) Beschreiben Sie zwei Änderungen des Graphen, wenn der Magnet aus einer größeren Höhe durch die Spule fallen gelassen wird, und begründen Sie die Änderungen.

(12 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

### Teilaufgabe 3

Im Inneren einer langgestreckten, zylindrischen Feldspule mit  $n_f = 5000$  Windungen und einer Länge von  $l = 60$  cm befindet sich eine Induktionsspule mit quadratischem Querschnitt und  $n_i = 200$  Windungen und der Seitenlänge  $a = 3,0$  cm. Die Spulen sind luftgefüllt, ihre Achsen fallen zusammen.

Die Abbildung 4 zeigt, wie die Stromstärke  $I$  in der Feldspule von der Zeit  $t$  abhängt.

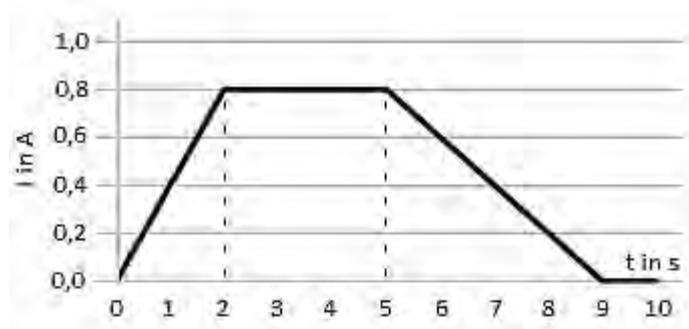


Abbildung 4: Stromstärkeverlauf in der Feldspule

a) Berechnen Sie die maximal erreichte magnetische Feldstärke  $B$  in der Feldspule.

[Kontrolle:  $B = 8,4 \cdot 10^{-3}$  T]

b) Erläutern Sie, warum in manchen Zeitabschnitten eine Induktionsspannung an der Induktionsspule gemessen wird und in anderen nicht, und geben Sie die Zeitabschnitte an.

c) Berechnen Sie jeweils die Induktionsspannung  $U_{ind}$  und zeichnen Sie ein Diagramm, das den zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung im Zeitintervall 0 s bis 9 s darstellt.

(14 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

#### Teilaufgabe 4

In einer Versuchsanordnung der Abbildung 5 befinden sich zwischen den Punkten P und Q zwei begrenzte magnetische Felder mit unterschiedlichen Magnetfeldstärken  $B_1$  und  $B_2$ , wobei die Stärke  $B_2$  des rechten Magnetfeldes nur halb so groß ist wie die Stärke  $B_1$  des linken Magnetfeldes.

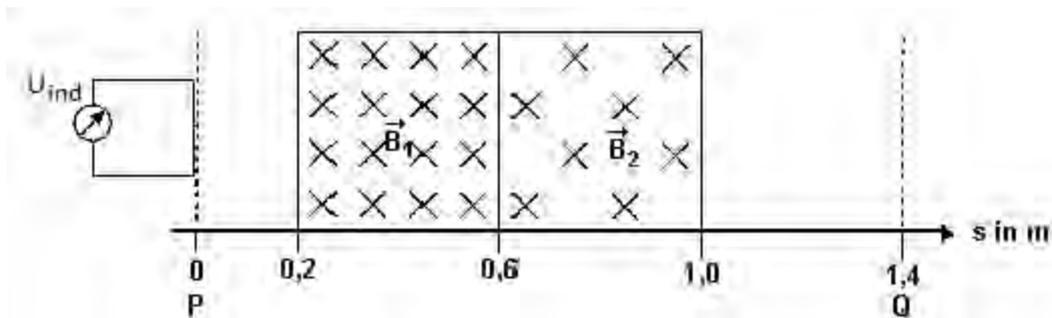


Abbildung 5: Versuchsanordnung mit zwei Magnetfeldern

Eine Spule mit quadratischem Querschnitt (Seitenlänge  $d = 0,20$  m) wird mit der konstanten Geschwindigkeit  $v = 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  von P nach Q durch die Anordnung bewegt. Die Anschlüsse der Spule sind mit einem Spannungsmessgerät verbunden (siehe Abbildung 5).

Die Bewegung der Spule beginnt wie abgebildet bei Punkt P zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  s und endet, wenn die Vorderkante der Spule den Punkt Q erreicht.

- Zeichnen Sie ein  $t$ - $U_{\text{ind}}$ -Diagramm für die Bewegung der Spule von P nach Q (wobei der konkrete Wert der jeweiligen Induktionsspannung nicht explizit berechnet werden muss).
- Erläutern Sie die einzelnen Phasen kurz.

(16 Punkte)

#### Zugelassene Hilfsmittel:

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

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2015

## Physik, Grundkurs

### 1. Aufgabenart

Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

**Aufgabe: Die elektromagnetische Induktion**

(50 Punkte)

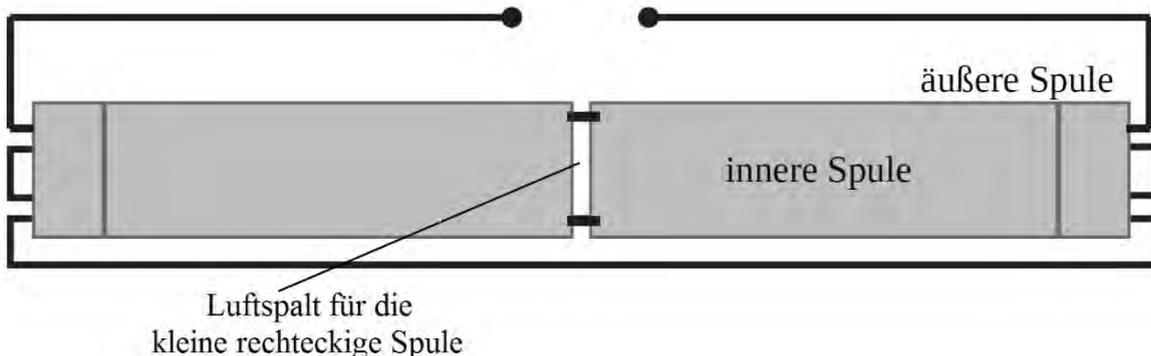
**Hinweis:** Kombinierbar entweder mit 1NT 3 oder 1NT 4

### 3. Materialgrundlage

Bei der Durchführung des Demonstrationsexperiments in Teilaufgabe 1 kann die in vielen Physiksammlungen vorhandene lange Spule mit Luftspalt mit insgesamt 8000 Windungen benutzt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Anschlüsse der Spule korrekt angeschlossen werden.

#### Versuchsmaterial und -aufbau

Durch die Feldspule darf nur eine Stromstärke von maximal  $I = 100 \text{ mA}$  fließen. Es ist daher notwendig, ein Amperemeter in den Stromkreis einzubauen.

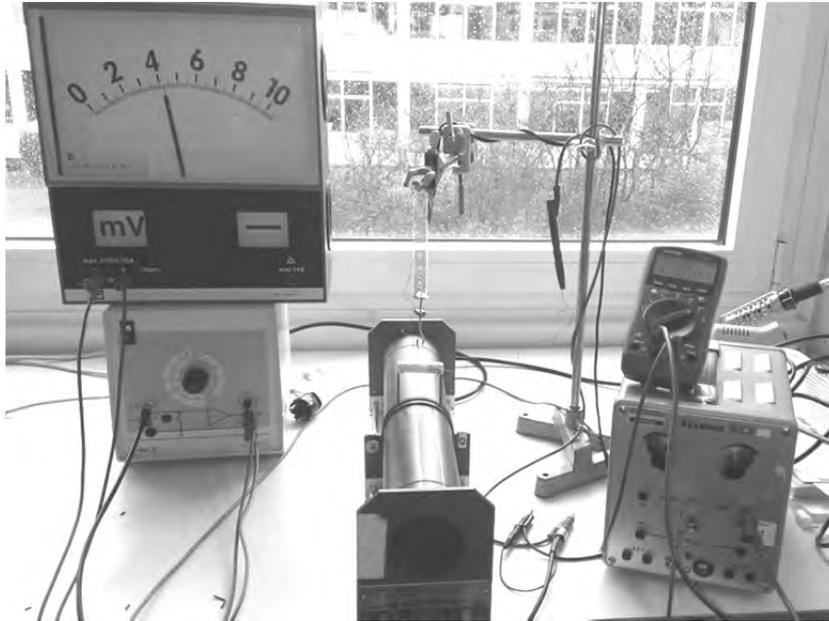


Anschlussplan der Spule (von oben betrachtet), wenn innere und äußere Wicklung in Reihe geschaltet werden, um die volle Windungszahl von 8000 Windungen zu benutzen

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

Um die Kraft, die auf den Rahmen wirkt, zu zeigen, kann die kleine rechteckige Spule an einen Kraftmesser gehängt werden. Alternativ kann auch ein empfindlicher elektrischer Kraftsensor verwendet werden, der an ein Messwerterfassungssystem angeschlossen ist.

Das nachfolgende Bild zeigt den Gesamtaufbau:



Die anderen Versuche der weiteren Teilaufgaben müssen nicht demonstriert werden.

#### 4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

##### 1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz mit zeitlicher Veränderung von  $A$  und  $B$
- Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße  $B$ , Lorentzkraft (Stromwaage)

##### 2. Medien/Materialien

- entfällt

#### 5. Zugelassene Hilfsmittel

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

## 6. Modelllösungen

**Die jeweilige Modelllösung stellt eine mögliche Lösung bzw. Lösungsskizze dar. Der gewählte Lösungsansatz und -weg der Schülerinnen und Schüler muss nicht identisch mit dem der Modelllösung sein. Sachlich richtige Alternativen werden mit entsprechender Punktzahl bewertet (Bewertungsbogen: Zeile „Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung“).**

**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.**

### Teilaufgabe 1

- a) Die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  ist gegeben, die Permeabilitätszahl  $\mu_r$  ist bei einer luftgefüllten Spule praktisch 1, Windungszahl  $n_f$ , Länge  $l$  und Stärke des Magnetfeldes  $B$  sind gegeben.

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot I \cdot \frac{n_f}{l}$$

Man kann die Gleichung nach der Stromstärke  $I$  auflösen und die Werte einsetzen.

Das Ergebnis ist etwa  $I = 250$  mA.

- b) Die Polung findet man mit der Drei-Finger-Regel der linken Hand heraus. Nimmt man an, dass der Elektronenstrom im unteren Teil der Spule von hinten nach vorne (aus der Zeichenebene heraus) fließt, so zeigt der Daumen in dieselbe Richtung, der Zeigefinger (steht für die Richtung des Magnetfeldes) zeigt von links nach rechts. Damit weist der Mittelfinger in die Richtung der Lorentzkraft, hier also nach unten. Die Annahme war also richtig, dass der Elektronenstrom von hinten nach vorne fließen muss, damit die kleine rechteckige Spule nach unten gezogen wird. (Bei Betrachtung mit der Drei-Finger-Regel der rechten Hand für die technische Stromrichtung ergibt sich dasselbe Ergebnis.)

- c) Die gesamte nach unten wirkende Kraft setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:
- der Gewichtskraft, die auf die kleine rechteckige Spule auch ohne Magnetfeld und Stromstärke in der Feldspule wirkt,
  - der magnetischen Feldkraft.

Die Gewichtskraft ist  $F_G = m \cdot g$ , was 0,373 N ergibt.

Die Größe der magnetischen Feldkraft hängt von der Stromstärke in der kleinen rechteckigen Spule ( $I = 750 \text{ mA}$ ), der magnetischen Feldstärke  $B$ , der Windungszahl der kleinen rechteckigen Spule ( $n_i = 500$ ) und der Breite  $d$  ab.

Dabei gilt:  $F_L = I \cdot B \cdot n_i \cdot d$ .

Mit den bekannten Werten ergibt sich  $F_L = 0,75 \text{ A} \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 500 \cdot 0,05 \text{ m}$  und somit als magnetische Kraft  $F_L = 0,079 \text{ N}$ .

Die gesamte nach unten wirkende Kraft ist also:

$$F_{\text{ges}} = F_G + F_L = 0,373 \text{ N} + 0,079 \text{ N} = 0,45 \text{ N}.$$

## Teilaufgabe 2

- a) Ein Stabmagnet ist von einem Magnetfeld umgeben. Fällt er durch die Spule, so ändert sich der magnetische Fluss  $\Phi$  in der Spule. Die zeitliche Änderung dieses magnetischen Flusses führt nach dem Induktionsgesetz zu einer Induktionsspannung an den Spulenenden.
- b) Beim Eintauchen des Stabmagneten in die Spule nimmt der magnetische Fluss zu. Ist der Stabmagnet ganz in der Spule, ändert sich der magnetische Fluss nicht. Dann ist die induzierte Spannung 0. Kurve III kommt daher nicht in Betracht. Beim Verlassen der Spule nimmt der magnetische Fluss ab. Es entsteht wieder eine Induktionsspannung – aber mit umgekehrtem Vorzeichen wie beim Eintauchen. Kurve I berücksichtigt dies nicht. Also beschreibt Kurve II den Spannungsverlauf am besten.

- c) Fällt der Magnet aus einer größeren Höhe, so hat er beim Eintritt in die Spule eine größere Geschwindigkeit erreicht, er durchfällt die Spule schneller und hat auch eine größere Geschwindigkeit, wenn er die Spule wieder verlässt.

Es entsteht also eine betragsmäßig größere Induktionsspannung (die Peaks werden höher). Eintauchen und Herausfallen erfolgen aber in kürzerer Zeit als zuvor, d. h., die Peaks werden schmaler. Zudem ist der Magnet eine kürzere Zeit in der Spule, die Peaks rücken also auch noch enger zusammen.

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Andere Beschreibungen von Änderungen, die sachlich richtig sind, werden ebenfalls mit der vollen Punktzahl bewertet.

**Teilaufgabe 3**

- a) Die maximale Stärke des magnetischen Feldes ergibt sich bei der maximalen Stromstärke (0,8 A). Für eine langgestreckte Spule gilt:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{n_f}{l} \cdot I.$$

Setzt man die gegebenen Werte in die Gleichung ein, so erhält man:

$$B = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ T}.$$

- b) Nur, wenn sich die Stärke des magnetischen Feldes in der felderzeugenden Spule verändert, kann in der zweiten Spule eine Spannung induziert werden.

Dazu muss sich die Stromstärke  $I$  ändern. Eine Induktionsspannung entsteht also zwischen 0 s und 2 s und dann noch einmal zwischen 5 s und 9 s. Zwischen 2 s und 5 s ist die Stromstärke konstant, hier tritt keine Induktionsspannung auf.

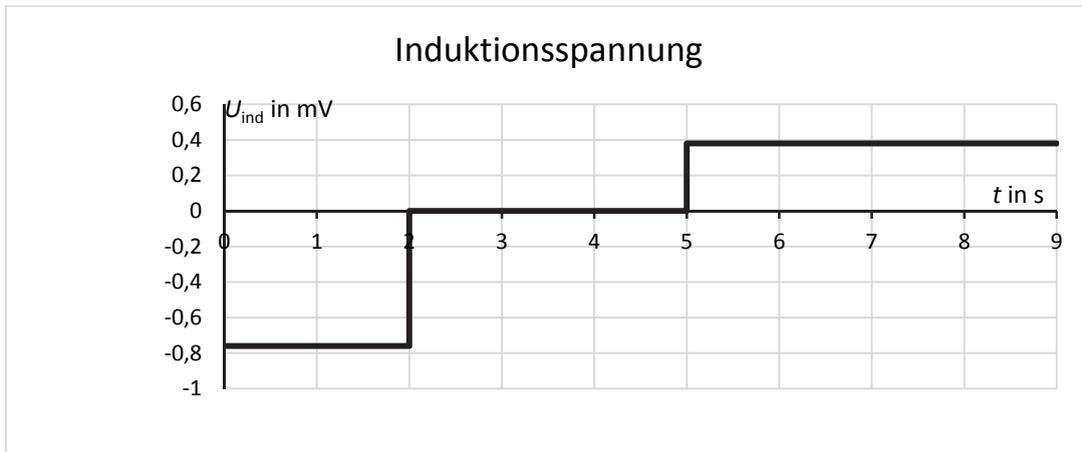
- c) Für die induzierte Spannung gilt (Spulenindex  $i$  steht für die Induktionsspule, Spulenindex  $f$  für die Feldspule):

$$U_{\text{ind}} = -n_i \cdot \dot{\Phi} = -n_i \cdot \dot{B} \cdot A = -n_i \cdot \mu_0 \cdot \frac{n_f}{l} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot A.$$

Mit den gegebenen Werten ergibt sich:

$t$ in s	$U_{\text{ind}}$ in mV
0 bis 2	-0,75
2 bis 5	0,00
5 bis 9	0,38

Damit ergibt sich folgendes Diagramm:

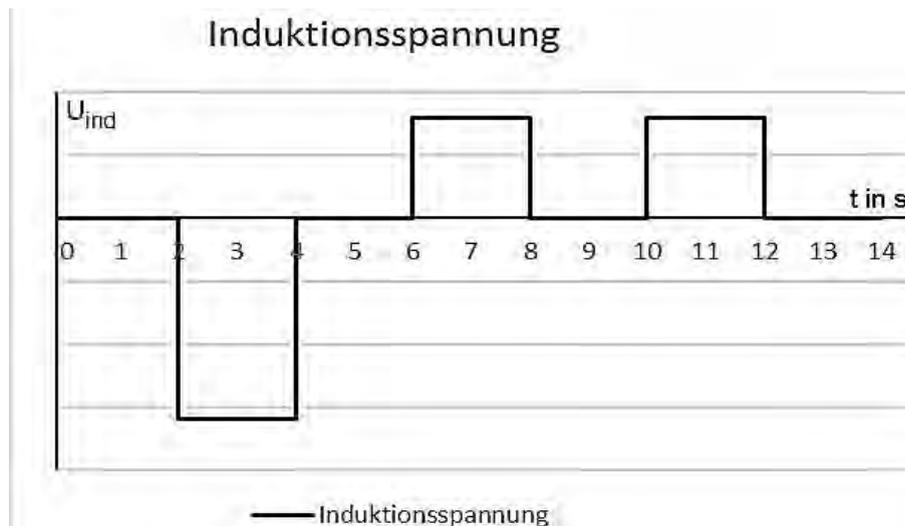


#### Teilaufgabe 4

- a) Zunächst bewegt sich die Spule auf das Magnetfeld zu. Nach einer gewissen Zeit taucht die Spule in das Magnetfeld ein.

Die vom Magnetfeld senkrecht durchsetzte Fläche verändert sich dabei, der magnetische Fluss verändert sich daher auch. Solange die Spule nicht ganz im Magnetfeld ist, sich die vom Magnetfeld durchsetzte Fläche also ändert, tritt eine Induktionsspannung auf. Eine Induktionsspannung tritt also immer dann auf, wenn die Spule in das Magnetfeld eindringt oder das Magnetfeld verlässt. Wird die Spule ganz außerhalb des Feldes bewegt oder bewegt sie sich ganz im Magnetfeld, tritt keine Induktionsspannung auf.

#### t-U-Diagramm für die Bewegung der Spule von P nach Q



#### Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Eine an der t-Achse gespiegelte Kurve darf an dieser Stelle ebenfalls als richtig bewertet werden.

b) Erläuterung des Diagrammverlaufs:

**$0 \text{ s} < t < 2 \text{ s}$**

Es dauert zwei Sekunden, bis die rechte Spulenseite den linken Rand des Magnetfeldes erreicht. Während dieser Zeit tritt noch keine Induktionsspannung auf.

**$2 \text{ s} < t < 4 \text{ s}$**

Während dieser zwei Sekunden taucht die Induktionsspule ganz in das Feld der Feldstärke  $B_1$  ein. Da die Geschwindigkeit konstant ist, ergibt sich eine konstante Induktionsspannung.

**$4 \text{ s} < t < 6 \text{ s}$**

In dieser Phase ist die Induktionsspule ganz im Feld  $B_1$ . Die vom Magnetfeld durchsetzte Fläche ändert sich nicht, daher tritt in diesem Zeitintervall auch keine Induktionsspannung auf.

**$6 \text{ s} < t < 8 \text{ s}$**

Die Induktionsspule geht in diesen zwei Sekunden vom Feld  $B_1$  in das Feld  $B_2$  über. Da das Magnetfeld  $B_2$  schwächer ist als  $B_1$ , nimmt der magnetische Fluss in der Spule diesmal ab. Wegen der konstanten Geschwindigkeit ergibt sich eine konstante Induktionsspannung, jedoch mit umgekehrter Polung im Vergleich zum Zeitintervall zwischen 2 s und 4 s.

**$8 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$**

In diesem Zeitraum ist die Spule ganz im Feld  $B_2$  und es gibt keine Induktionsspannung.

**$10 \text{ s} < t < 12 \text{ s}$**

Nun verlässt die Spule das Feld  $B_2$ . Der magnetische Fluss nimmt noch einmal ab.

Wegen der konstanten Geschwindigkeit ergibt sich wieder eine konstante Induktionsspannung.

**$12 \text{ s} < t < 14 \text{ s}$**

Die Spule hat den Feldbereich verlassen, es gibt keine Induktionsspannung mehr.

**7. Teilleistungen – Kriterien / Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
a)	berechnet die notwendige Stromstärke.	2			
b)	gibt die Flussrichtung der Elektronen an.	3			
c)	berechnet den Betrag der Gesamtkraft.	3			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (8) ..... .....					
<b>Summe Teilaufgabe 1</b>		<b>8</b>			

**Teilaufgabe 2**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
a)	erläutert, weshalb eine Spannung auftritt.	2			
b)	begründet, welche Kurve den Spannungsverlauf beschreibt.	4			
c)	beschreibt und begründet zwei mögliche Änderungen.	6			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (12) ..... .....					
<b>Summe Teilaufgabe 2</b>		<b>12</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	berechnet die maximal erreichte magnetische Feldstärke.	2			
b)	erläutert, warum in manchen Zeitabschnitten eine Spannung auftritt und in manchen nicht, und gibt die Zeitabschnitte an.	2			
c)	berechnet die jeweiligen Induktionsspannungen und zeichnet ein Diagramm.	10			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (14) ..... .....					
<b>Summe Teilaufgabe 3</b>		<b>14</b>			

**Teilaufgabe 4**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	zeichnet das $t-U_{ind}$ -Diagramm.	6			
b)	erläutert die einzelnen Phasen.	10			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (16) ..... .....					
<b>Summe Teilaufgabe 4</b>		<b>16</b>			
<b>Summe insgesamt</b>		<b>50</b>			

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

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

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:

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
sehr gut plus	15	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 40
mangelhaft plus	3	39 – 34
mangelhaft	2	33 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0



Name: \_\_\_\_\_

# Abiturprüfung 2015

## *Physik, Grundkurs*

---

### **Aufgabenstellung:**

#### **Aufgabe: Spektren von Einelektronensystemen im Sternenlicht**

Die beiden im Universum am häufigsten vorkommenden Elemente sind Wasserstoff und Helium. Die Spektrallinien dieser beiden Elemente in Emissions- und Absorptionsspektren liefern in der Astronomie wichtige Informationen über die physikalischen Eigenschaften ferner Sterne.

Aus Laborversuchen ist das Emissionsspektrum des Wasserstoffs seit langem bekannt und insbesondere konnte es vor ca. 100 Jahren mit Hilfe des Bohr'schen Atommodells quantitativ erklärt werden.

#### **Teilaufgabe 1**

Das Bohr'sche Atommodell von 1913 basiert auf dem kurz zuvor von E. Rutherford formulierten Kern-Hülle-Atommodell und ergänzt dieses um zwei Zusatzregeln, die Bohr'schen Postulate.

- a) *Beschreiben Sie den Aufbau eines Atoms im Rahmen des Kern-Hülle-Atommodells.*
- b) *Geben Sie die zwei Bohr'schen Postulate an und erläutern Sie die durch diese Postulate behobenen Widersprüche des Kern-Hülle-Atommodells nach Rutherford.*

(12 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

## Teilaufgabe 2

- a) Für das Elektron im Wasserstoffatom ergibt sich im Rahmen der klassischen Physik zusammen mit dem ersten Bohr'schen Postulat der folgende Term für seine Gesamtenergie:

$$E_n = - \frac{e^4 \cdot m_e}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

*Geben Sie den Kraft- und den Energieansatz zur Herleitung dieser Energieformel an, erläutern Sie diese Ansätze.*

Hinweis: Sie brauchen die Herleitung nicht komplett durchzuführen.

- b) Die Gesamtenergie des Elektrons im Wasserstoffatom in der Maßeinheit Elektronenvolt (eV) ergibt sich nach Einsetzen der Konstanten in obige Formel zu

$$E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2} \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

*Zeichnen Sie ein maßstabgerechtes Energieniveauschema des Wasserstoffatoms (Beschriftung der Energieachse in eV), welches die Zustände bis  $n = 4$  enthält, und zeichnen Sie alle 6 möglichen Übergänge in das Niveauschema ein.*

- c) Zeigen Sie, dass die zum Grundzustand (Energieniveau  $E_1$ ) führenden Übergänge des in Teilaufgabe 2 b) gezeichneten Niveauschemas **nicht** im Bereich des sichtbaren Lichts (d. h. bei  $350 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ ) liegen.

- d) Das Spektrum unserer Sonne zeigt im sichtbaren Bereich auf den ersten Blick ein Kontinuum von Licht aller sichtbaren Wellenlängen. Bereits im Jahr 1814 entdeckte der Optiker J. v. Fraunhofer dunkle Linien im Sonnenspektrum und untersuchte in der Folge diese Linien sehr gründlich. Insbesondere bestimmte er deren Wellenlängen sehr genau. Die Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die Fraunhoferlinien im Sonnenspektrum. Später stellte sich heraus, dass die Wellenlängen der meisten Fraunhoferlinien denen aus Emissionsspektren bekannter Elemente entsprachen.



Name: \_\_\_\_\_

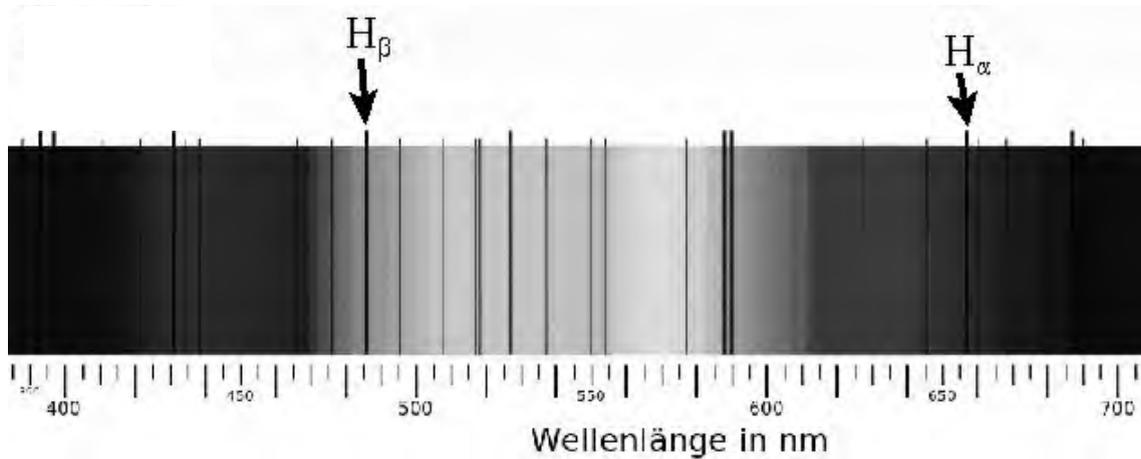


Abbildung 1: Die Fraunhoferlinien im Sonnenspektrum

Bestimmen Sie die Wellenlängen der beiden in Abbildung 1 mit  $H_\alpha$  und  $H_\beta$  bezeichneten Fraunhoferlinien und zeigen Sie, dass sie Emissionslinien des atomaren Wasserstoffs mit Endzustand  $E_2$  entsprechen.

- e) Erklären Sie, dass das Auftreten der dunklen  $H_\alpha$ - und  $H_\beta$ -Linien im ansonsten kontinuierlichen Sonnenspektrum auf das Vorhandensein von angeregten Wasserstoffatomen in der Umgebung der Sonne schließen lässt.

(27 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

### Teilaufgabe 3

Sehr heiße, massereiche Sterne schleudern am Ende ihres Lebenszyklus große Mengen Materie ins All. Diese Materie umgibt den eigentlichen Stern schließlich als Nebel. Man bezeichnet diese seltenen Objekte als „Wolf-Rayet-Sterne“. Ein erheblicher Anteil des herausgeschleuderten Materials ist Helium.

a) Die Oberflächentemperatur eines Wolf-Rayet-Sterns ist so hoch, dass das Helium zu einem hohen Anteil in ionisierter Form vorhanden ist. Ein wesentliches Kriterium für die Identifizierung dieses Sterntyps ist die Existenz von Emissionslinien des einfach ionisierten Heliums  $\text{He}^+$  im Spektrum seines Lichts.

Die Energiezustände des Elektrons im  $\text{He}^+$ -Ion können in einem leicht modifizierten Bohr'schen Atommodell berechnet werden. Es gilt ein ähnlicher Zusammenhang wie für die Zustände im Wasserstoffatom:

$$E_n(\text{He}^+) = -54,4 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2} \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

*Zeigen Sie rechnerisch, dass es auf das Niveau  $E_3(\text{He}^+)$  genau einen Übergang gibt, der im sichtbaren Bereich (350 nm – 700 nm) liegt.*

Anmerkung: Auf das Niveau  $E_4(\text{He}^+)$  gibt es zusätzlich weitere Übergänge, die im sichtbaren Bereich liegen.



Name: \_\_\_\_\_

b) Die Abbildung 2 zeigt das Spektrum eines mutmaßlichen Wolf-Rayet-Sterns im sichtbaren Bereich.

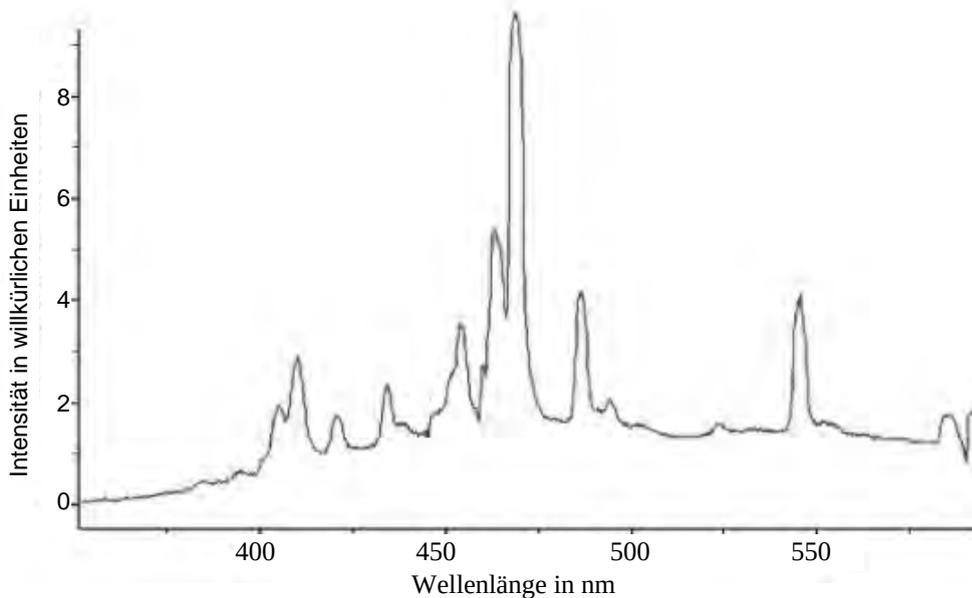


Abbildung 2: Sternenspektrum im sichtbaren Bereich  
(Quelle: Società Astronomica G. V. Schiaparelli, <http://www.astrogeo.va.it/astroном/spetri/stelle-wren.htm> (Beschriftung abgeändert))

*Beschreiben Sie das Vorgehen, mit dem man aus diesem Spektrum auf das Vorliegen eines Wolf-Rayet-Sterns schließen kann, und geben Sie eine begründete Vermutung an, ob es sich um diesen Sterntyp handeln könnte oder nicht.*

Hinweis: Nutzen Sie das Ergebnis aus Teilaufgabe 3 a).

(11 Punkte)

**Zugelassene Hilfsmittel:**

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

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2015

## Physik, Grundkurs

---

### 1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

**Aufgabe:** Spektren von Einelektronensystemen im Sternenlicht

(50 Punkte)

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

### 3. Materialgrundlage

- entfällt

### 4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

1. *Inhaltliche Schwerpunkte*

- Atom- und Kernphysik
  - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (Bohr'sches Atommodell, Beobachtung von Spektrallinien am Gitter)

2. *Medien/Materialien*

- entfällt

### 5. Zugelassene Hilfsmittel

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

---

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

## 6. Modellösungen

**Die jeweilige Modellösung stellt eine mögliche Lösung bzw. Lösungsskizze dar. Der gewählte Lösungsansatz und -weg der Schülerinnen und Schüler muss nicht identisch mit dem der Modellösung sein. Sachlich richtige Alternativen werden mit entsprechender Punktzahl bewertet (Bewertungsbogen: Zeile „Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modellösung“).**

**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.**

### Teilaufgabe 1

a) Das Kern-Hülle-Atommodell nach Rutherford besagt, dass nahezu die komplette Masse eines Atoms in einem sehr kleinen Raumbereich, dem Atomkern, im Zentrum des Atoms konzentriert ist. Der Atomkern ist elektrisch positiv geladen. Die im Vergleich dazu sehr leichten, negativ geladenen Elektronen umkreisen den Atomkern und werden von dessen elektrischer Anziehung auf der Bahn gehalten. Sie bilden so die fast masselose Atomhülle, die praktisch das komplette Atomvolumen ausmacht.

Ein Atom ist im Normalzustand nach außen elektrisch neutral, d. h., die Summe der negativen Elektronenladungen in der Atomhülle entspricht exakt der positiven Ladung im Atomkern.

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Je nach Behandlung des Rutherford'schen Atommodells können alternative, aber gleichwertige Bezeichnungen in der Beschreibung des Atommodells verwendet werden. Auch ein Verweis auf die Protonen und Neutronen im Kern (die vor 100 Jahren noch gar nicht bekannt waren) ist in der Beschreibung nicht als Fehler zu werten.

b) Die beiden Bohr'schen Postulate lauten:

1. Postulat:

Die Elektronen in der Atomhülle bewegen sich auf bestimmten Kreisbahnen strahlungsfrei um den Atomkern im Kreismittelpunkt. Auf diesen strahlungsfreien Bahnen gilt für die Elektronenbahngeschwindigkeiten und Bahnradien der folgende Zusammenhang:

$$m_e \cdot r_n \cdot v_n = n \cdot \frac{h}{2\pi} \quad \text{mit: } n = 1, 2, 3, \dots$$

2. Postulat:

Beim Übergang eines Elektrons von der  $m$ -ten auf die  $n$ -te Bahn wird ein Lichtquant abgestrahlt bzw. absorbiert, für das gilt:  $h \cdot f = |E_n - E_m|$ .

Das erste Bohr'sche Postulat ermöglicht es überhaupt erst, dass sich die Elektronen auf stabilen Bahnen bewegen können. Nach der klassischen Physik würden sie auf Kreisbahnen permanent elektromagnetische Strahlung emittieren und damit Energie verlieren. Die Bahn wäre nicht stabil und die Elektronen würden in den Kern stürzen.

Das zweite Bohr'sche Postulat begründet die Tatsache, dass freie Atome nur Licht diskreter Frequenz bzw. Wellenlänge emittieren bzw. absorbieren können. Auch dies widerspricht den Aussagen der klassischen Physik.

## Teilaufgabe 2

a) Zusammen mit dem ersten Bohr'schen Postulat benötigt man für die Herleitung der Gesamtenergie des Elektrons im H-Atom zwei weitere Zusammenhänge.

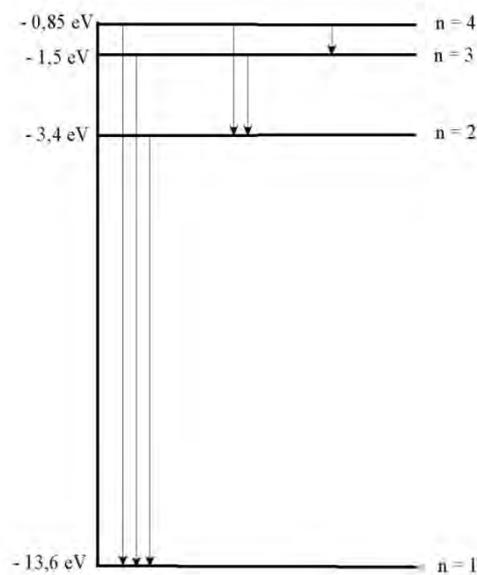
Dies ist einmal der Kraftansatz für das Elektron auf seiner Kreisbahn (die Coulombkraft des Atomkerns wirkt als Zentripetalkraft der Kreisbewegung des Elektrons):

$$F_Z = F_{Cb} \quad \rightarrow \quad \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}$$

Zudem ergibt sich die Gesamtenergie des Elektrons auf dieser Bahn aus der Summe seiner kinetischen und potenziellen Energie im Coulombfeld des Kerns:

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} \quad \rightarrow \quad E_{\text{ges}} = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r}$$

b) Niveauschema des H-Atoms bis  $n = 4$ :



c) Die Energie des  $n = 2 \rightarrow n = 1$  Übergangs im Wasserstoffatom beträgt:

$$|E_1 - E_2| = 13,6 \text{ eV} - 3,40 \text{ eV} = 10,2 \text{ eV} = 1,63 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Dies entspricht einer Wellenlänge von:  $\lambda_{2 \rightarrow 1} = 1,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  ( $< 350 \text{ nm}$ ). Dieser Übergang liegt demnach im nicht sichtbaren UV-Bereich. Die beiden weiteren Übergänge in den Grundzustand sind noch hochenergetischer und haben demnach noch kürzere Wellenlängen und befinden sich daher ebenfalls im UV-Bereich.

d) Für die beiden Übergänge:  $n = 4 \rightarrow n = 2$  und  $n = 3 \rightarrow n = 2$  ergeben sich die Übergangsenergien:

$$E_{4 \rightarrow 2} = 3,40 \text{ eV} - 0,85 \text{ eV} = 2,55 \text{ eV} = 4,08 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_{3 \rightarrow 2} = 3,40 \text{ eV} - 1,51 \text{ eV} = 1,89 \text{ eV} = 3,02 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

und daraus die Wellenlängen:

$$\lambda_{4 \rightarrow 2} = \frac{c \cdot h}{E_{4 \rightarrow 2}} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{4,08 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4,88 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 488 \text{ nm}$$

$$\lambda_{3 \rightarrow 2} = \frac{c \cdot h}{E_{3 \rightarrow 2}} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{3,02 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 6,59 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 659 \text{ nm}$$

Die mit  $H_\alpha$  und  $H_\beta$  bezeichneten Fraunhoferlinien liegen im abgebildeten Spektrum bei den Wellenlängen:  $\lambda(H_\alpha) = 657 \text{ nm}$  bzw.  $\lambda(H_\beta) = 486 \text{ nm}$ . Dies entspricht den Wellenlängen der beiden Übergänge im Niveauschema nach  $n = 2$ .

- e) Die dunklen Linien im ansonsten kontinuierlichen Lichtspektrum weisen auf Resonanzabsorption der Photonen dieser Wellenlänge bzw. Energie durch Gasatome hin. Da die mit  $H_\alpha$  und  $H_\beta$  bezeichneten dunklen Linien (wie in Teilaufgabe 2 d) gezeigt) den Energiedifferenzen  $(E_3 - E_2)$  bzw.  $(E_4 - E_2)$  im H-Atom entsprechen, ist dies ein Zeichen dafür, dass das Sonnenlicht auf seinem Weg zum Beobachter auf angeregte H-Atome im Zustand  $n = 2$  trifft.

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Die Erklärung des Zustandekommens der Lichtschwächung durch die Abstrahlung der absorbierten Photonen in alle Raumrichtungen ist hier nicht erforderlich.

**Teilaufgabe 3**

- a) Die Wellenlängen der Übergänge auf das Energieniveau  $E_3$  des  $\text{He}^+$ -Ions ergeben sich wie folgt:

$$\lambda_{4 \rightarrow 3} = \frac{h \cdot c}{E_{4 \rightarrow 3}}, \lambda_{5 \rightarrow 3} = \frac{h \cdot c}{E_{5 \rightarrow 3}}, \lambda_{6 \rightarrow 3} = \frac{h \cdot c}{E_{6 \rightarrow 3}}, \dots$$

$$\text{Mit } E_{4 \rightarrow 3} = 54,4 \text{ eV} \cdot \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 2,64 \text{ eV} = 4,23 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{und } E_{5 \rightarrow 3} = 54,4 \text{ eV} \cdot \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 3,87 \text{ eV} = 7,35 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

ergeben sich die Wellenlängen zu:

$$\lambda_{4 \rightarrow 3} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4,23 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4,70 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 470 \text{ nm}$$

$$\text{und zu: } \lambda_{5 \rightarrow 3} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,35 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2,71 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 271 \text{ nm}.$$

Der Übergang  $n = 4 \rightarrow n = 3$  liegt im sichtbaren Bereich (350 nm – 700 nm), der nächste Übergang  $n = 5 \rightarrow n = 3$  aber mit 271 nm bereits nicht mehr. Alle weiteren Übergänge auf den Zustand  $E_3$  des  $\text{He}^+$ -Ions sind noch kurzwelliger und liegen damit erst recht nicht im sichtbaren Bereich.

b) Man kann bei der Analyse des Spektrums wie folgt vorgehen: Man sucht in dem Spektrum nach den Emissionslinien des  $\text{He}^+$ -Ions im sichtbaren Bereich. Deren Wellenlängen kann man mit der Zustandsenergieformel berechnen.

Eine Linie im sichtbaren Bereich ist aus Teilaufgabe 3 a) bereits bekannt, die 470-nm-Linie. Es sieht so aus, als liegt bei dieser Wellenlänge tatsächlich eine Emissionslinie in diesem Sternenspektrum vor – es könnte sich also um einen Wolf-Rayet-Stern handeln.

**7. Teilleistungen – Kriterien / Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	beschreibt den Aufbau eines Atoms im Rahmen des Kern-Hülle-Atommodells.	5			
b1)	gibt die beiden Bohr'schen Postulate an.	2			
b2)	erläutert die durch diese Postulate behobenen Widersprüche des Kern-Hülle-Atommodells nach Rutherford.	5			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (12) ..... .....					
	<b>Summe Teilaufgabe 1</b>	<b>12</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a1)	gibt den Kraft- und den Energieansatz zur Herleitung dieser Energieformel an.	3			
a2)	erläutert diese Ansätze.	3			
b1)	zeichnet ein maßstabsgerechtes, in eV beschriftetes Energieniveauschema des Wasserstoffatoms mit den Zuständen bis $n = 4$ .	4			
b2)	zeichnet alle 6 möglichen Übergänge in das Niveauschema ein.	3			
c)	zeigt, dass die zum Grundzustand (Energieniveau $E_1$ ) führenden Übergänge des in Teilaufgabe 2 b) gezeichneten Niveauschemas <b>nicht</b> im Bereich des sichtbaren Lichts liegen.	3			
d1)	bestimmt in Abbildung 1 die Wellenlängen der beiden mit $H_\alpha$ und $H_\beta$ bezeichneten Fraunhoferlinien.	3			
d2)	zeigt, dass sie Emissionslinien des atomaren Wasserstoffs mit Endzustand $E_2$ entsprechen.	4			
e)	erklärt, dass das Auftreten der dunklen $H_\alpha$ - und $H_\beta$ -Linien im ansonsten kontinuierlichen Sonnenspektrum auf das Vorhandensein von angeregten Wasserstoffatomen in der Umgebung der Sonne schließen lässt.	4			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (27) ..... .....					
	<b>Summe Teilaufgabe 2</b>	<b>27</b>			

**Teilaufgabe 3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>3</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	zeigt rechnerisch, dass es auf das Niveau $E_3(\text{He}^+)$ <b>genau einen</b> Übergang gibt, der im sichtbaren Bereich (350 nm – 700 nm) liegt.	5			
b1)	beschreibt das Vorgehen, mit dem man aus diesem Spektrum auf das Vorliegen eines Wolf-Rayet-Sterns schließen kann.	4			
b2)	gibt eine begründete Vermutung an, ob es sich um diesen Sterntyp handeln könnte oder nicht.	2			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (11) ..... .....					
	<b>Summe Teilaufgabe 3</b>	<b>11</b>			

	<b>Summe insgesamt</b>	<b>50</b>			
--	------------------------	-----------	--	--	--

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

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

<sup>3</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

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	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 40
mangelhaft plus	3	39 – 34
mangelhaft	2	33 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0



Name: \_\_\_\_\_

# Abiturprüfung 2015

## Physik, Grundkurs

---

### Aufgabenstellung:

#### **Aufgabe: Altersbestimmung des Mammutbabys Ljuba mit der C14-Methode und dem Massenspektrographen**

Das Mammutbaby Ljuba wurde im Jahr 2007 auf der sibirischen Halbinsel Jamal durch einen Rentierzüchter entdeckt. Es ist das am besten erhaltene Mammutbaby, das man je gefunden hat. Um seinen Todeszeitpunkt zu bestimmen, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, eine davon ist die sogenannte C14-Methode.

Durch kosmische Strahlung entsteht in der Atmosphäre aus einem Stickstoffatom  $^{14}_7\text{N}$  und einem Neutron der radioaktive Kohlenstoff  $^{14}_6\text{C}$  und ein Proton. Die so entstandenen  $^{14}_6\text{C}$ -Atome werden von allen lebenden Organismen aufgenommen und mit in die Zellstrukturen eingebaut. Solange die Lebewesen leben, werden immer wieder neue  $^{14}_6\text{C}$ -Atome verbaut, so dass das Verhältnis von den im Körper zerfallenden  $^{14}_6\text{C}$ -Atomen zu den stabilen  $^{12}_6\text{C}$ -Atomen konstant bleibt. Bei noch lebenden Organismen beträgt das  $^{14}_6\text{C}$ - $^{12}_6\text{C}$ -Verhältnis  $1 : 10^{12}$ . Nach dem Tod der Lebewesen werden keine instabilen  $^{14}_6\text{C}$ -Atome mehr aufgenommen und die im Körper befindlichen zerfallen mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren zu  $^{14}_7\text{N}$ . Dadurch verändert sich das Verhältnis von  $^{14}_6\text{C}$  zu  $^{12}_6\text{C}$ -Atomen. Das  $^{14}_6\text{C}$ - $^{12}_6\text{C}$ -Verhältnis einer Probe kann konventionell durch die Bestimmung der Anzahl radioaktiver Zerfälle in einer Kohlenstoffprobe mit bekannter Masse mit einem Zählrohr bestimmt werden oder mit Hilfe eines Massenspektrographen, mit dem direkt der Anteil an  $^{14}_6\text{C}$ -Atomen in einer Kohlenstoffprobe ermittelt wird.



Name: \_\_\_\_\_

Zur Bearbeitung der Aufgabe sollen die folgenden Werte benutzt werden:

Masse eines $^{12}_6\text{C}$ -Atoms:	$m_{C12} = 12 \cdot u = 12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
Masse eines $^{14}_6\text{C}$ -Atoms	$m_{C14} = 14 \cdot u = 14 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \approx 2,32 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$
Elementarladung	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

### Teilaufgabe 1: Massenspektrograph

a) Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau eines Massenspektrographen einschließlich des vorgeschalteten Wienfilters.

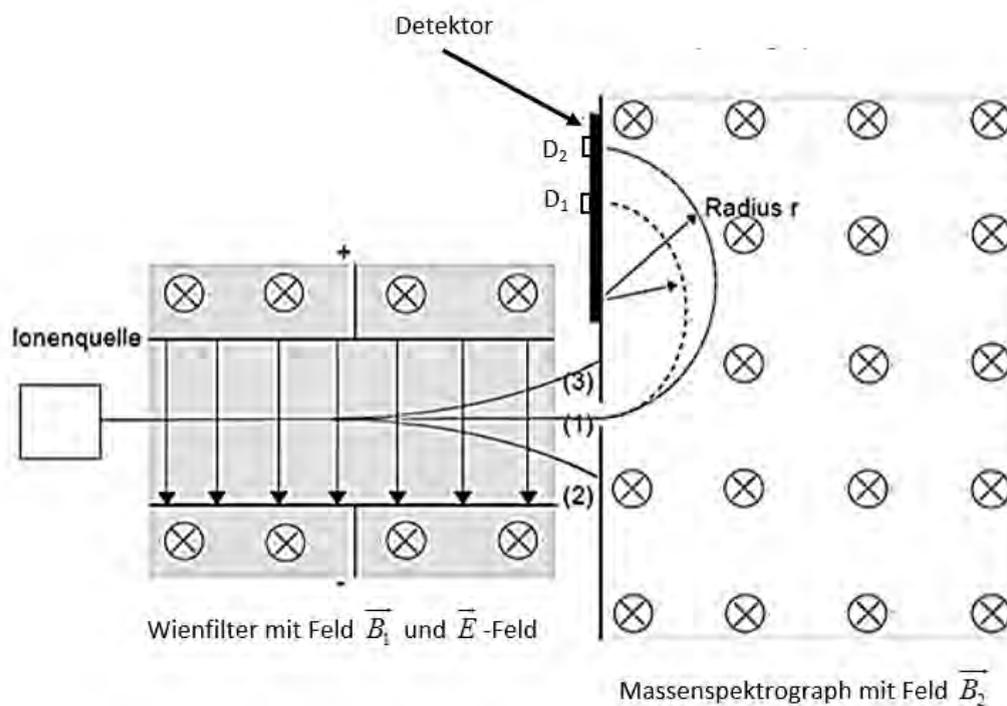


Abbildung 1: Aufbau eines Massenspektrographen mit vorgeschaltetem Wienfilter



Name: \_\_\_\_\_

Im Wienfilter durchlaufen die Ionen das elektrische Feld  $\vec{E}$  eines Plattenkondensators und ein dazu senkrechtes Magnetfeld  $\vec{B}_1$ , das in die Blattebene hinein gerichtet ist.

- Erläutern Sie, warum man durch geeignete Wahl der beiden Felder erreichen kann, dass nur Ionen einer bestimmten Geschwindigkeit den Kondensator geradlinig durchqueren.
- Zeigen Sie, dass für die Geschwindigkeit  $v_0$  derjenigen einfach positiv geladenen Teilchen, die den Wien-Filter ohne Ablenkung passieren, gilt:  $v_0 = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}_1|}$ .
- Erläutern Sie das Verhalten einfach positiv geladener Teilchen im Geschwindigkeitsfilter, deren Geschwindigkeit größer oder kleiner ist als  $v_0$ , und ordnen Sie begründet die drei in Abbildung 1 eingezeichneten Flugbahnen zu.

b) Zwischen den Platten des Wienfilters (Plattenabstand  $d = 6,0 \text{ cm}$ ) liegt eine Spannung von  $U = 30 \text{ V}$  an. Für die magnetische Feldstärke gilt:  $|\vec{B}_1| = 10 \text{ mT}$ .

- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit  $v_0$  einfach positiv geladener und geradeaus fliegender Ionen der Masse  $m$ .
- Zeigen Sie außerdem durch Einheitenbetrachtung, dass es sich bei dem Quotienten

$v_0 = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}_1|}$  um eine Geschwindigkeit handelt.



Name: \_\_\_\_\_

c) Im zweiten Teil des Spektrographen bewegen sich die Ionen in einem Magnetfeld der Stärke  $|\vec{B}_2| = 0,1 \text{ T}$  auf einer Kreisbahn.

- Leiten Sie her, dass für den Radius  $r$  des Kreises für Ionen der Ladung  $e$  und der

Masse  $m$  gilt: 
$$r = \frac{m \cdot U}{e \cdot |\vec{B}_1| \cdot |\vec{B}_2| \cdot d}$$

- Berechnen Sie die Detektorpositionen  $D_1$  und  $D_2$  als Entfernung zur Eintrittslochblende, unter denen einfach positiv geladene  $^{14}_6\text{C}$ -Ionen bzw.  $^{12}_6\text{C}$ -Ionen registriert werden.

(27 Punkte)

### Teilaufgabe 2: C14-Methode

a) Geben Sie die Kernumwandlungsgleichungen für die Entstehung der  $^{14}_6\text{C}$ -Atome in der Atmosphäre und für den Zerfall der  $^{14}_6\text{C}$ -Atome zu  $^{14}_7\text{N}$  an.

b) Bei der Analyse einer Probe des gefundenen Mammutbabys Ljuba mit dem Massenspektrographen wird festgestellt, dass 0,82 % der zum Todeszeitpunkt vorhandenen  $^{14}_6\text{C}$ -Atome noch nicht zerfallen sind.

- Geben Sie das Zerfallsgesetz für den Zerfall der  $^{14}_6\text{C}$ -Atome an.

- Bestimmen Sie damit und unter Verwendung des Zusammenhangs  $\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$ , vor wie vielen Jahren Ljuba gestorben ist, gehen Sie von 365 Tagen für ein Jahr aus.



Name: \_\_\_\_\_

c) Momentan liegt der kleinste mit einem Massenspektrographen noch nachweisbare Wert des  $^{14}_6\text{C}$ - $^{12}_6\text{C}$ -Verhältnisses bei etwa  $1 : 10^{15}$ , dies entspricht bei einer Probenmasse von 1 mg einer Aktivität von  $0,2 \mu\text{Bq}$ .

- Berechnen Sie, wie viele Zerfälle bei dieser Aktivität in einem Monat zu erwarten sind, und erläutern Sie die Vorteile der Bestimmung des  $^{14}_6\text{C}$ - $^{12}_6\text{C}$ -Verhältnisses einer Probe mit dem Massenspektrographen verglichen zur konventionellen Bestimmung mit dem Zählrohr.
- Schätzen Sie anhand der  $^{14}_6\text{C}$ - $^{12}_6\text{C}$ -Verhältnisse eines noch lebenden Organismus und des gerade noch nachweisbaren Wertes ab, welcher Zeitbereich damit mit der C14-Methode zugänglich ist.

(23 Punkte)

**Zugelassene Hilfsmittel:**

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

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2015

## Physik, Grundkurs

---

### 1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

**Aufgabe:** Altersbestimmung des Mammutbabys Ljuba mit der C14-Methode und dem Massenspektrographen (50 Punkte)

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

### 3. Materialgrundlage

- entfällt

### 4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

#### 1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
  - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Wien-Filter)
- Atom- und Kernphysik
  - Radioaktiver Zerfall (Halbwertszeitmessung)

#### 2. Medien/Materialien

- entfällt

### 5. Zugelassene Hilfsmittel

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

---

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

## 6. Modellösungen

Die jeweilige Modelllösung stellt eine mögliche Lösung bzw. Lösungsskizze dar. Der gewählte Lösungsansatz und -weg der Schülerinnen und Schüler muss nicht identisch mit dem der Modelllösung sein. Sachlich richtige Alternativen werden mit entsprechender Punktzahl bewertet (Bewertungsbogen: Zeile „Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung“).

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.

### Teilaufgabe 1: Massenspektrograph

a) Für positiv geladene Ionen gilt: Kraftwirkung des elektrischen Feldes nach unten, Kraftwirkung des magnetischen Feldes nach oben (Lorentzkraft, Drei-Finger-Regel).

Für negativ geladene Ionen gilt: Kraftwirkung des elektrischen Feldes nach oben, Kraftwirkung des magnetischen Feldes nach unten (Lorentzkraft, Drei-Finger-Regel).

Ionen durchfliegen den Kondensator geradlinig, wenn Kraft des elektrischen Feldes auf das Ion und Lorentzkraft gleich groß sind, damit gilt:

$$F_{\text{el}} = |\vec{F}_{\text{el}}| = |\vec{F}_{\text{mag}}| = F_{\text{mag}}$$

$$q \cdot |\vec{E}| = q \cdot |\vec{v}_0| \cdot |\vec{B}_1| \quad \text{und damit} \quad v_0 = |\vec{v}_0| = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}_1|} = \frac{E}{B_1}.$$

Für einfach positiv geladene Teilchen mit  $v > v_0$  ändert sich  $F_{\text{el}}$  nicht,  $F_{\text{mag}}$  wird größer, damit werden diese Teilchen nach oben abgelenkt. Diesen Teilchen entspricht Flugbahn 3.

Für einfach positiv geladene Teilchen mit  $v < v_0$  ändert sich  $F_{\text{el}}$  nicht,  $F_{\text{mag}}$  wird kleiner, damit werden diese Teilchen nach unten abgelenkt. Diesen Teilchen entspricht Flugbahn 2.

Den Teilchen, die sich mit  $v_0$  bewegen, entspricht Flugbahn 1.

b) Wie in Aufgabenteil a) gezeigt, gilt:  $v_0 = \frac{E}{B_1}$  und weiterhin  $E = \frac{U}{d}$  und damit:

$$v_0 = \frac{U}{d \cdot B_1} = \frac{30}{0,06 \cdot 0,01} \cdot \frac{\text{V}}{\text{m} \cdot \text{T}} = 5 \cdot 10^4 \cdot \frac{\text{V}}{\text{m} \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}} = 5 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

c) Die einfach positiv geladenen Ionen der Masse  $m$  bewegen sich auf einer Kreisbahn mit

Radius  $r$ , für die Zentripetalkraft gilt:  $F_{zp} = |\vec{F}_{zp}| = |\vec{F}_{mag}| = F_{mag}$

$$m \cdot \frac{v_0^2}{r} = e \cdot v_0 \cdot B_2$$

und mit  $v_0 = \frac{E}{B_1}$  und  $E = \frac{U}{d}$  folgt:  $r = \frac{m \cdot U}{e \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot d}$ .

Für die Detektorposition der  $^{12}_6\text{C}$ -Ionen gilt:

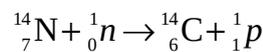
$$d_{C12} = 2 \cdot r_{C12} = \frac{2 \cdot 1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot 30 \text{ V}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,01 \text{ T} \cdot 0,1 \text{ T} \cdot 0,06 \text{ m}} = 0,124 \text{ m} \hat{=} D_1.$$

Für die Detektorposition der  $^{14}_6\text{C}$ -Ionen gilt:

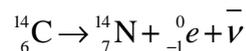
$$d_{C14} = 2 \cdot r_{C14} = \frac{2 \cdot 2,32 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot 30 \text{ V}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,01 \text{ T} \cdot 0,1 \text{ T} \cdot 0,06 \text{ m}} = 0,145 \text{ m} \hat{=} D_2.$$

## Teilaufgabe 2: C14-Methode

a) Reaktionsgleichung für die Entstehung der  $^{14}_6\text{C}$ -Atome:



Zerfallsgleichung für den Zerfall der  $^{14}_6\text{C}$ -Atome zu  $^{14}_7\text{N}$ -Atomen:



### Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Das Antineutrino braucht nicht benannt zu werden.

b) Zerfallsgesetz:  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\ln(2) \cdot \frac{t}{T_{1/2}}}$

Auflösen des Zerfallsgesetzes nach  $t$ :  $t = -\frac{\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)}{\ln(2)} \cdot T_{1/2}$

Für den Todeszeitpunkt gilt:  $\frac{N(t)}{N_0} = 0,82 \% = 0,0082$  und mit  $T_{1/2} = 5730 \text{ a}$  folgt  $t = 39710 \text{ a}$ .

c) Für die in einem Monat zu erwartenden Zerfälle gilt:

$$\Delta N = A(t) \cdot \Delta t = 0,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{s} \cdot 30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} \approx 0,5 .$$

Bei 0,5 Zerfällen pro Monat müsste man sehr lange messen, um eine Altersbestimmung mit geringer Ungenauigkeit zu erhalten.

Die Nachweisgrenze ist ca.  $\frac{1}{1000}$  des Verhältnisses beim noch lebenden Organismus.

Nach zehn Halbwertszeiten hat das Verhältnis um den Faktor  $\frac{1}{2^{10}} = \frac{1}{1024} \approx \frac{1}{1000}$  abgenommen, damit reicht der zugängliche Zeitbereich etwa  $10 \cdot 5730 \text{ a} = 57300 \text{ a}$  zurück.

**7. Teilleistungen – Kriterien / Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a1)	erläutert, dass nur Ionen einer bestimmten Geschwindigkeit den Kondensator geradlinig durchqueren.	4			
a2)	zeigt den für die Geschwindigkeit angegebenen Zusammenhang.	4			
a3)	erläutert das Verhalten einfach positiv geladener Teilchen im Geschwindigkeitsfilter, deren Geschwindigkeit größer oder kleiner ist als $v_0$ .	3			
a4)	ordnet begründet die drei Flugbahnen zu.	3			
b1)	bestimmt die Geschwindigkeit einfach positiv geladener und geradeaus fliegender Ionen der Masse $m$ .	2			
b2)	zeigt durch Einheitenbetrachtung, dass es sich bei dem angegebenen Quotienten um eine Geschwindigkeit handelt.	2			
c1)	leitet her, dass für den Radius die angegebene Formel gilt.	5			
c2)	berechnet die Detektorpositionen der beiden angegebenen Ionen.	4			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (27) ..... .....					
<b>Summe Teilaufgabe 1</b>		<b>27</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a1)	gibt die Reaktionsgleichung für die Entstehung der $^{14}_6\text{C}$ -Atome in der Atmosphäre an.	3			
a2)	gibt die Zerfallsgleichung für den Zerfall der $^{14}_6\text{C}$ -Atome zu $^{14}_7\text{N}$ an.	3			
b1)	gibt das Zerfallsgesetz für den Zerfall der $^{14}_6\text{C}$ -Atome an.	3			
b2)	bestimmt, vor wie vielen Jahren Ljuba gestorben ist.	6			
c1)	berechnet, wie viele Zerfälle bei dieser Aktivität in einem Monat zu erwarten sind.	3			
c2)	erläutert die Vorteile der Bestimmung des $^{14}_6\text{C}$ - $^{12}_6\text{C}$ -Verhältnisses einer Probe mit dem Massenspektrographen verglichen zur konventionellen Bestimmung mit dem Zählrohr.	2			
c3)	schätzt, welcher Zeitbereich damit mit der C14-Methode zugänglich ist.	3			
Sachlich richtige Lösungsalternative zur Modelllösung: (23) ..... .....					
	<b>Summe Teilaufgabe 2</b>	<b>23</b>			

	<b>Summe insgesamt</b>	<b>50</b>			
--	------------------------	-----------	--	--	--

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

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

ggf. arithmetisches Mittel der Punktsommen aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

Die Klausur wird abschließend mit der Note: \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

### Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	100 – 95
sehr gut	14	94 – 90
sehr gut minus	13	89 – 85
gut plus	12	84 – 80
gut	11	79 – 75
gut minus	10	74 – 70
befriedigend plus	9	69 – 65
befriedigend	8	64 – 60
befriedigend minus	7	59 – 55
ausreichend plus	6	54 – 50
ausreichend	5	49 – 45
ausreichend minus	4	44 – 40
mangelhaft plus	3	39 – 34
mangelhaft	2	33 – 27
mangelhaft minus	1	26 – 20
ungenügend	0	19 – 0