



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Aspekte zur experimentellen Überprüfung des Induktionsgesetzes

In der folgenden Aufgabe soll eine Teilaussage des allgemeinen Induktionsgesetzes mit Hilfe des in der Abbildung 1 dargestellten Versuchsaufbaus experimentell überprüft werden.

Zum Aufbau:

Eine kleine Induktionsspule mit $n = 10$ Windungen ruht in einer langen Feldspule mit 240 Windungen. Die Spulenlängsachsen verlaufen parallel. Mit Hilfe einer steuerbaren Stromquelle kann man sich periodisch ändernde Ströme durch die Feldspule fließen lassen. Die Stärke B des in der Feldspule erzeugten magnetischen Feldes und die in der kleinen Induktionsspule induzierte Spannung U_{ind} werden in Abhängigkeit von der Zeit registriert.

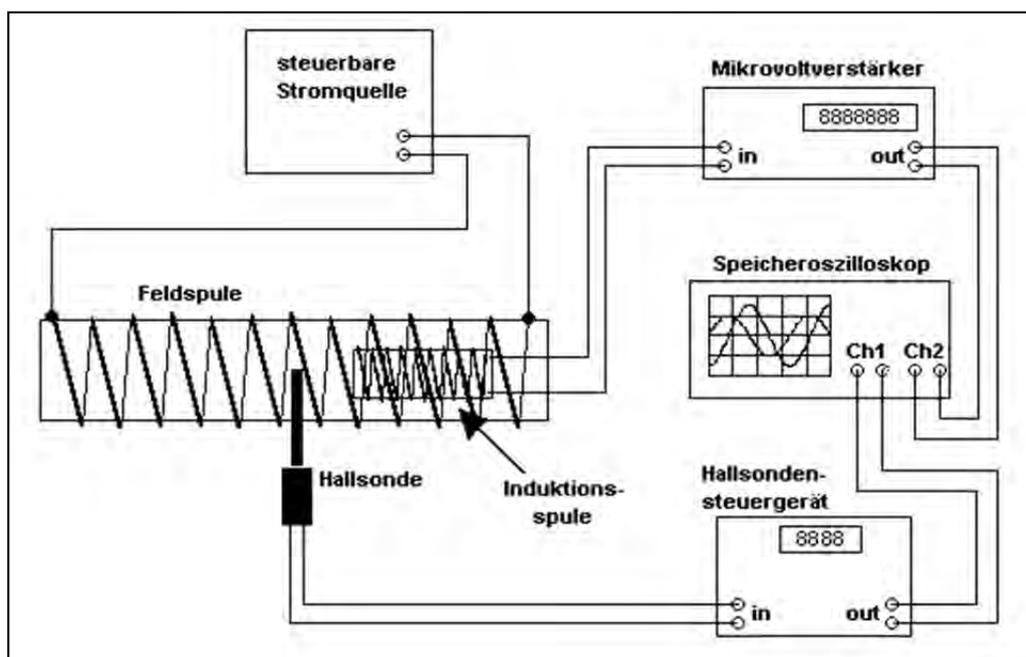


Abbildung 1: Schematisch dargestellter Versuchsaufbau



Name: _____

Teilaufgabe 1

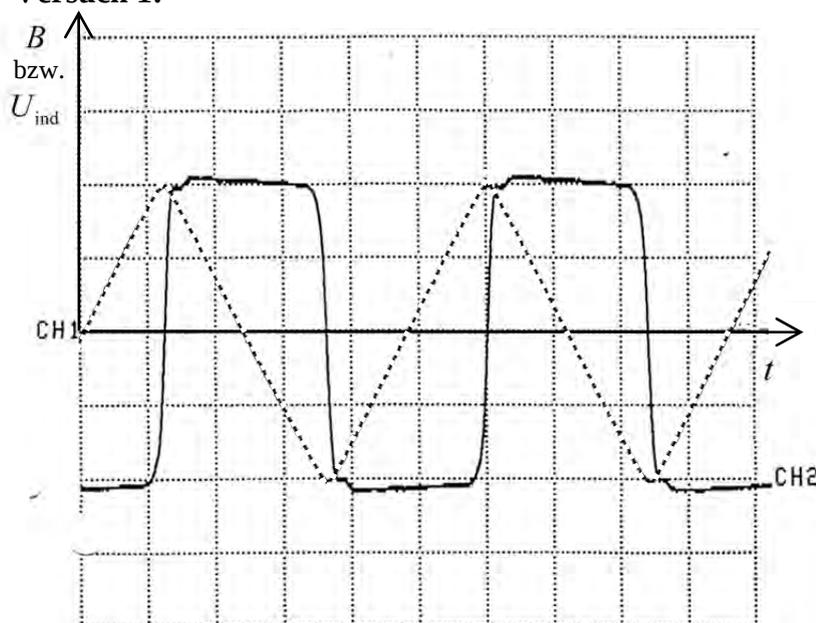
- Geben Sie eine mathematische Formulierung des Induktionsgesetzes (in allgemeiner Form) an und erläutern Sie die in der Formel vorkommenden physikalischen Größen.
- Beschreiben Sie zwei (prinzipiell) unterschiedliche Prozesse, durch die Induktionsspannungen erzeugt werden können, und geben Sie dazu jeweils ein (einfaches) Beispiel an.
- Erläutern und begründen Sie, welche Teilaussage des Induktionsgesetzes mit dem oben skizzierten und beschriebenen Versuch überprüft werden kann.

(11 Punkte)

Teilaufgabe 2

Das folgende Diagramm (Abbildung 2) wurde mit der oben beschriebenen und skizzierten Versuchsanordnung aufgenommen. Es zeigt den zeitlichen Verlauf der Stärke B des Feldspulenfeldes („gestrichelte Linie“) sowie der induzierten Spannung U_{ind} („durchgezogene Linie“). Die Stärke B des Magnetfeldes wird in diesem Versuch mit Hilfe einer so genannten Hallsonde gemessen. Diese Hallsonde ist so justiert und eingestellt, dass für den in Abbildung 2 gezeigten Graphen von $B(t)$ die neben dem Diagramm angegebene Skalierung gilt.

Versuch 1:



Zeitablenkung: $0,5 \text{ s / Einheit}$

CH 1: $B(t)$

Skalierung: $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ T / Einheit}$

CH 2: $U_{\text{ind}}(t)$

Skalierung: $0,4 \cdot 10^{-4} \text{ V / Einheit}$

Abbildung 2: Messdiagramm



Name: _____

a) Bestimmen Sie aus dem Diagramm in Abbildung 2 die Periodendauer T sowie die Amplitude B_0 der zeitlich veränderlichen Stärke $B(t)$ des magnetischen Feldes und ermitteln Sie daraus die zeitliche Änderung $\dot{B}(t)$.

Hinweis: Sie brauchen die Ermittlung von \dot{B} nur für die (z. B.) „negative Flanke“ von $B(t)$ durchzuführen.

Ergebnis: $\dot{B}(t) \approx -0,0017 \frac{\text{T}}{\text{s}}$ (für die negative Flanke)

b) Berechnen Sie, ausgehend vom allgemeinen Induktionsgesetz und unter Verwendung des Ergebnisses von Teilaufgabe 2 a), die in der kleinen Spule induzierte Spannung U_{ind} .

Hinweise:

- Sie brauchen hier nur einen einzelnen Wert für U_{ind} zu berechnen, z. B. für die „negative Flanke“.
- Die Induktionsspule hat $n = 10$ Windungen und eine Querschnittsfläche von $A_0 = 0,0050 \text{ m}^2$.

Geben Sie zu der Berechnung eine vollständige Umrechnung der Einheiten an.

Überprüfen Sie Ihr rechnerisches Ergebnis anhand des Messdiagramms in Abbildung 2.

(17 Punkte)

Teilaufgabe 3

In einem 2. Versuch fließt ein Wechselstrom durch die Feldspule. Das Diagramm in Abbildung 3 zeigt wieder die zeitlichen Verläufe der Stärke $B(t)$ des Feldspulenfeldes sowie der induzierten Spannung $U_{\text{ind}}(t)$. Gehen Sie bei der Bearbeitung der folgenden Aufgabe davon aus, dass die Stärke des in der Feldspule fließenden Stromes einen sinusförmigen Verlauf hat.



Name: _____

Versuch 2:

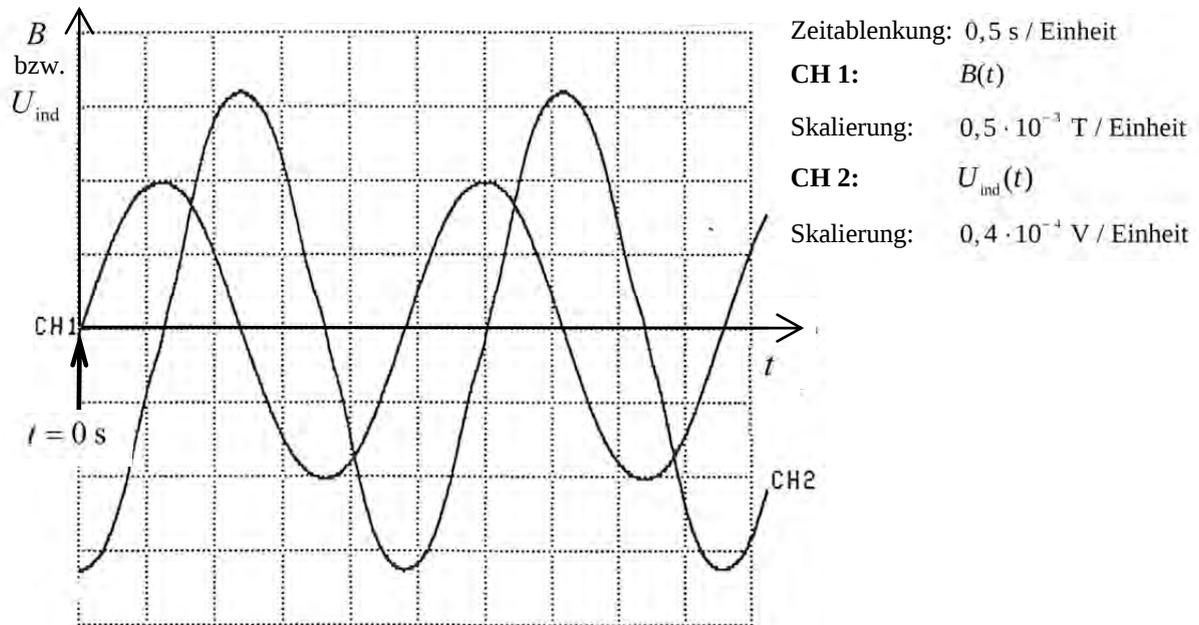


Abbildung 3: Messdiagramm

- a) Geben Sie für diesen 2. Versuch einen allgemeinen Funktionsterm für $B(t)$ an und leiten Sie, ausgehend vom allgemeinen Induktionsgesetz, daraus den Term

$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A_0 \cdot B_0 \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \text{ für die Zeit-Induktionsspannungs-Funktion her.}$$

Hinweis: Der Nullpunkt der Zeitachse liegt (wie in Abbildung 3 markiert) am linken Rand des Diagramms.

- b) Berechnen Sie mit Hilfe der Beziehung aus Teilaufgabe 3 a) für die Zeiten $t = 0 \text{ s}$, 1 s und 2 s jeweils die Induktionsspannung $U_{\text{ind}}(t)$ und vergleichen Sie die berechneten Werte mit den entsprechenden Messwerten aus dem Oszillogramm in Abbildung 3.

Hinweise: Die Periodendauer T sowie die Amplitude B_0 der Stärke des magnetischen Feldes wurden in beiden Versuchen gleich gewählt, die Werte für T und B_0 können daher aus Teilaufgabe 2 a) übernommen werden.

Falls Sie Teilaufgabe 2 a) nicht gelöst haben, können Sie die Werte aus dem Diagramm in Abbildung 3 ablesen.

Taschenrechner auf das Bogenmaß einstellen!

(13 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

In einem 3. Versuch sollte ein Strom durch die Feldspule geleitet werden, bei dem der zeitliche Verlauf der Stromstärke als „rechteckförmig“ bezeichnet werden kann. Ohne Berücksichtigung bestimmter weiterer physikalischer Prozesse wäre zu erwarten, dass der zeitliche Verlauf der Stärke B des Feldspulenfeldes dann ebenfalls „rechteckförmig“ ist. Ein entsprechender Graph von $B(t)$ ist in der folgenden Abbildung 4 skizziert.

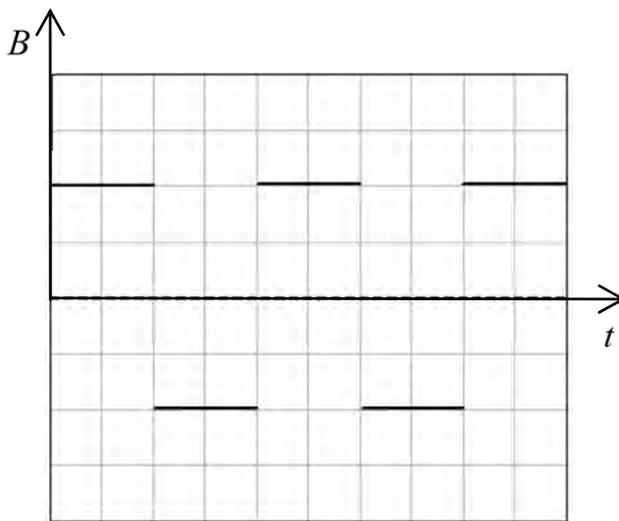


Abbildung 4: Ohne Berücksichtigung bestimmter weiterer physikalischer Prozesse zu erwartender „rechteckförmiger Verlauf“ von $B(t)$

Der Versuch hat aber gezeigt, dass es nicht möglich war, einen „rechteckförmigen Verlauf“ von $B(t)$ zu realisieren, obwohl die an der Feldspule anliegende Spannung einen nahezu ideal „rechteckförmigen“ Verlauf hatte. Die folgende Abbildung 5 zeigt den im Versuch erzielten realen zeitlichen Verlauf von $B(t)$ bei an der Feldspule anliegender nahezu idealer Rechteckspannung.



Name: _____

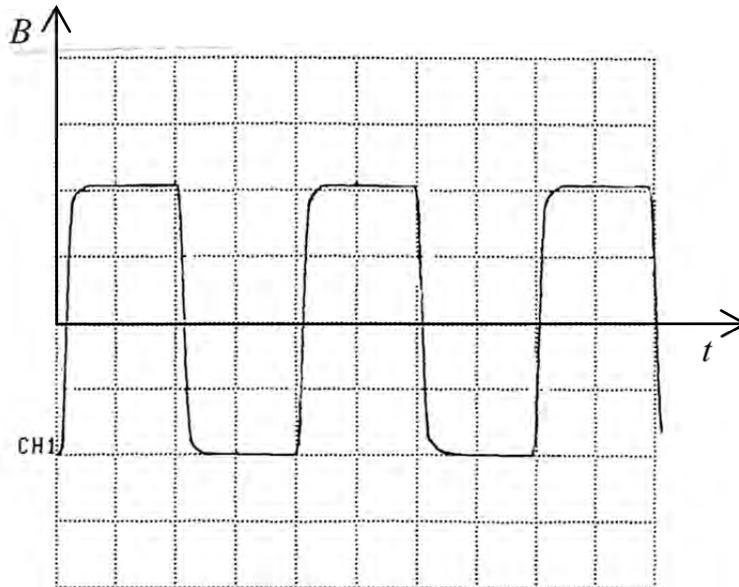


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf von $B(t)$ bei rechteckförmiger Spannung an der Feldspule

- a) Begründen Sie qualitativ, warum es physikalisch nicht möglich ist, den in Abbildung 4 skizzierten ursprünglich gewünschten Verlauf von $B(t)$ zu realisieren, obwohl die steuerbare Stromquelle ein „rechteckförmiges“ Spannungssignal liefern kann.
- b) Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung qualitativ, berücksichtigen Sie dabei, dass der Graph von $B(t)$ in den Intervallen, in denen er von einem positiven zu einem negativen Wert (bzw. umgekehrt) wechselt, sich dem folgenden konstanten Wert zunächst schnell, dann zunehmend langsamer nähert.

Hinweis: Es ist vorteilhaft, das in Abbildung 5 gegebene Diagramm entsprechend dieser Teilaufgabe zu ergänzen.

(12 Punkte)



Name: _____

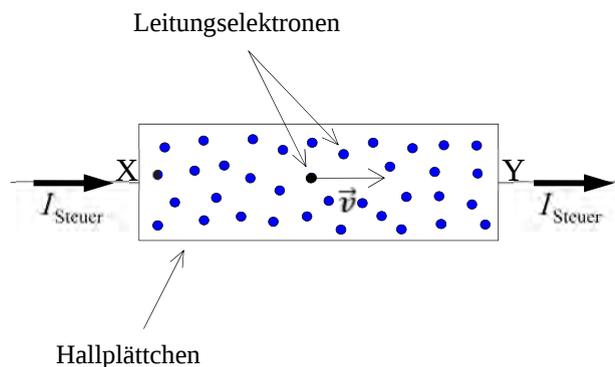
Teilaufgabe 5

In dieser Aufgabe soll untersucht werden, wie die in den Versuchen verwendete Hallsonde funktioniert und dass bzw. unter welchen Bedingungen die Hallspannung U_{Hall} proportional zur Stärke B des magnetischen Feldes der Feldspule ist.

Eine Hallsonde besteht im Wesentlichen aus einem kleinen und sehr dünnen, quaderförmigen Leiter- oder Halbleiterplättchen. Wie in Abbildung 6a dargestellt, fließt in der Sonde ein konstanter (Elektronen-)Strom, der sogenannte Steuerstrom, von X nach Y durch das Plättchen.

Anmerkung: Bei Halbleitern gibt es zwar zusätzlich noch einen sogenannten „Löcherstrom“, dieser wird im Folgenden aus Gründen der Vereinfachung aber nicht betrachtet, da er zu den prinzipiell gleichen Ergebnissen führt.

Befindet sich die Sonde, wie in Abbildung 6b dargestellt, in einem homogenen Magnetfeld, kann zwischen den Punkten P und Q die sogenannte Hallspannung U_{Hall} gemessen werden.



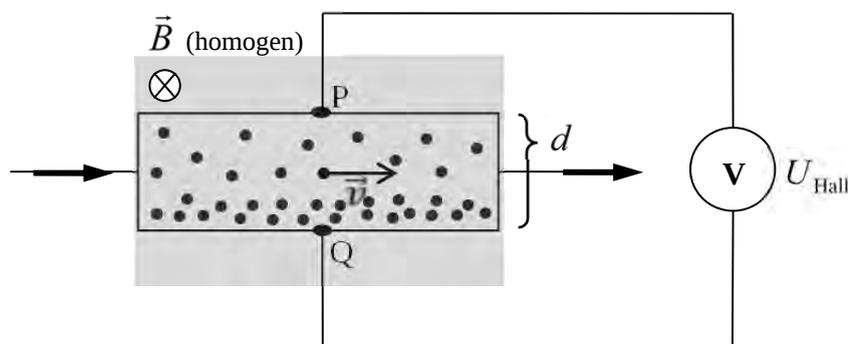
Hinweis 1:

\vec{v} stellt die mittlere Geschwindigkeit der Leitungselektronen dar.

Hinweis 2:

Die Richtung von I_{Steuer} entspricht der physikalischen Stromrichtung.

Abbildung 6a: Schematische Darstellung einer Hallsonde (ohne \vec{B} -Feld)



Hinweis 3:

Der grau markierte Bereich sei von einem homogenen Magnetfeld der Stärke \vec{B} senkrecht durchsetzt.

Abbildung 6b: Schematische Darstellung einer betriebsbereiten Hallsonde im homogenen Magnetfeld der Stärke \vec{B}



Name: _____

a) Erläutern Sie, welche physikalischen Prozesse bei dieser Anordnung eine Spannung

U_{Hall} zwischen der „oberen“ und der „unteren“ Seite des Hallplättchens erzeugen.

b) Leiten Sie die Beziehung $U_{\text{Hall}} = d \cdot v \cdot B$ her und begründen Sie Ihren (Kraft-)Ansatz.

Hinweise: Mit d wird die Höhe des Hallplättchens (siehe Abbildung 6b) bezeichnet, \bar{v} ist die mittlere für alle Elektronen gleich große Driftgeschwindigkeit der Leitungselektronen im Plättchen.

(12 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

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

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Aspekte zur experimentellen Überprüfung des Induktionsgesetzes
(65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit HT 2, HT 3 oder HT 4

3. Materialgrundlage

Versuchsmaterial und -aufbau

Hinweise zum Experiment

Benötigt werden:

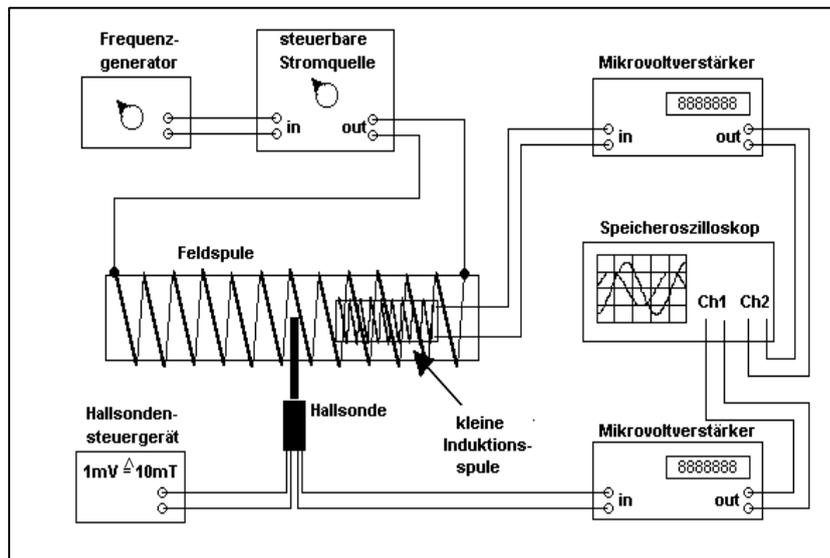
- 1 Funktionsgenerator, der auch bei geringen Frequenzen (0,3 Hz – 0,5 Hz) möglichst „saubere“ sinus-, dreieck- und rechteckförmige Spannungssignale liefert
- 1 steuerbare Stromquelle
- 1 Digitalspeicheroszilloskop oder ein Zweikanal-Messwerterfassungssystem, ersatzweise evtl. ein „schneller“ (Zweikanal-) t-y-Schreiber
- 1 Mikrovoltverstärker
- 1 Hallsonde mit Betriebsgerät (Teslameter), welches die Hallspannung bereits intern verstärkt und eine zur Hallspannung proportionale Spannung an einem Analogausgang bereitstellt
Hinweis: Liefert das Teslameter nur die unverstärkte Hallspannung, so ist ein zweiter Mikrovoltverstärker empfehlenswert, jedoch nicht zwingend erforderlich (siehe entsprechende Hinweise zum Aufbau).
- 1 große Feldspule (mit ca. 240 Windungen auf ca. 60 cm Spulenlänge)
- 1 kleine (evtl. selbst gewickelte) Induktionsspule, ca. 10 Windungen mit ca. 7 cm x 7 cm Querschnittsfläche
- diverse Laborkabel und BNC-4-mm-Kupplungen
- diverse Stativ- und Aufbauteile

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

Versuchsaufbau:

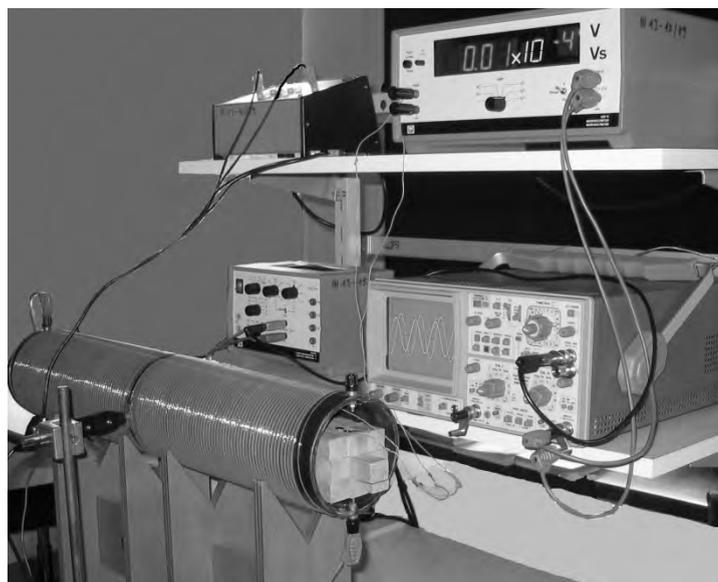
Der Aufbau erfolgt im Prinzip gemäß Abbildung 1 der Aufgabenstellung (siehe Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling). Da in der Regel keine steuerbare Stromquelle mit integriertem Funktionsgenerator zur Verfügung steht, muss der Aufbau diesbezüglich vermutlich gemäß der nachfolgenden Abbildung erweitert werden. Diese Abbildung zeigt zusätzlich, wie der Aufbau mit einem zweiten Mikrovoltverstärker ergänzt werden kann, wenn das Teslameter nur die unverstärkte Hallspannung liefert. Wird die Hallspannung bereits im Hallsonden-Betriebsgerät vorverstärkt, so kann die entsprechende (zur Hallspannung proportionale) Spannung unmittelbar dem Kanal 1 des Speicheroszilloskops zugeführt werden (siehe Abbildung 1 in der Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling). Es ist empfehlenswert, das Speicheroszilloskop **extern zu triggern**, als Triggersignal sollte dem Oszilloskop unmittelbar das Signal des Funktionsgenerators zugeführt werden. Dadurch ist es im Prinzip sogar möglich (unabhängig von der Art des verwendeten Teslameters), mit nur einem (Mikrovolt-)Verstärker zu arbeiten und die Signale für die Hallspannung und die Induktionsspannung zeitlich nacheinander aufzuzeichnen, was allerdings ein „Umstecken“ der Messleitungen erforderlich macht.

Die Abbildung zeigt entgegen der Darstellung im Schülermaterial einen Aufbau mit zwei Mikrovoltverstärkern, die Triggerleitung (s. o) ist nicht eingezeichnet.



Anmerkung zum abgebildeten Aufbau:

Das Foto zeigt einen Aufbau mit nur einem μV -Verstärker (s. o.)



Anleitungstext zur Versuchsdurchführung

Vorbereitung vor der Prüfung (wird den Schülern nicht vorgeführt):

- Alle Geräte werden 30 Minuten vor der Versuchsdurchführung eingeschaltet, um temperaturbedingte Nullpunktdriften der Messverstärker zu minimieren.
- Der Stromkreis zum Betrieb der Feldspule wird unterbrochen, somit existiert in der Feldspule kein Magnetfeld und die Induktionsspannung ist gleich Null. Beide Eingänge des Speicheroszilloskops werden geerdet (GND), um das Oszilloskop vorzubereiten (Nullpunkt/Nulllinie einstellen; Einstellung der Zeitablenkung und der Verstärkungsfaktoren für die Aufnahme der Diagramme gemäß den Abbildungen 2 bzw. 3 der Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling).
- Die Erdung der beiden Oszilloskopeingänge wird wieder aufgehoben (DC), der Mikrovoltverstärker und das Hallsondenbetriebsgerät sind somit an das Oszilloskop angeschlossen, die Nullpunkteinstellungen beider Geräte werden korrigiert.
- Erst jetzt wird der Stromkreis zum Betrieb der Feldspule wieder geschlossen. Am Funktionsgenerator werden die gewünschte Signalform, Amplitude und Frequenz eingestellt (eventuell ist ein noch vorhandener DC-Offset auf Null zu stellen).
- Die Triggerung des Oszilloskops wird so eingestellt, dass die Aufzeichnung (beider Kanäle) beginnt, wenn das Signal für U_{Hall} beim Anwachsen (positive Flanke) gerade den Wert Null überschreitet (Triggerung auf Kanal 1, positive Flanke, Triggerlevel auf ca. 0,01 Volt).
- Auf dem Oszilloskop sollte nun ein Diagramm sichtbar sein, dass zumindest qualitativ der Abbildung 2 (bzw. 3) entspricht.
- Sollten die Signale nicht symmetrisch zur Nulllinie sein, darf dies nicht durch Verschiebung der y -Positionen der Signale am Oszilloskop korrigiert werden, stattdessen sind die Nullstellungen der Messverstärker bzw. der DC-Offset am Funktionsgenerator noch einmal zu überprüfen/zu korrigieren (siehe oben).
- Sind die Signale symmetrisch zur Nulllinie, können evtl. erforderliche Korrekturen der Verstärkungsfaktoren und/oder der Zeitauflösung (evtl. auch der Triggereinstellungen) vorgenommen werden, die Einstellungen des Mikrovoltverstärkers sollten aber nicht mehr geändert werden, da daraus häufig eine deutliche Nullpunktverschiebung resultiert.
- Da der Versuch ohnehin nur qualitativ vorgeführt wird, ist eine exakte Reproduktion des in Abb. 2 (bzw. 3) gezeigten Diagramms nicht erforderlich, es reicht eine Darstellung, die der Abbildung 2 (bzw. 3) qualitativ entspricht (siehe Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling).
- Alle Einstellungen sollten (im Hinblick auf die eigentliche Versuchsvorführung) gesichert werden.
- Eine Schaltskizze gemäß Abbildung 1 (der Vorlage der Prüfungsaufgabe für den Prüfling) sollte an der Tafel oder als Projektion deutlich sichtbar zur Verfügung stehen.

Versuchsdurchführung

- Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Gelegenheit, die Schaltskizze zu betrachten, danach zeigt und benennt die Lehrkraft die Geräte(gruppen) sowohl in der Schaltskizze als auch im Versuchsaufbau.
- Die beiden Signale für $U_{\text{Hall}}(t)$ bzw. $B(t)$ und $U_{\text{ind}}(t)$ werden mit der vorbereiteten Versuchsanordnung registriert, was aufgrund der geringen Signalfrequenzen gut zu beobachten ist.
- Die Kanäle 1 und 2 werden abwechselnd aus- und eingeblendet, so dass jeweils nur ein Signal zu sehen ist; die Lehrkraft benennt das jeweilige Diagramm mit $B(t)$ bzw. mit $U_{\text{ind}}(t)$.
- Das gleichzeitige Registrieren der beiden Signale wird genau einmal wiederholt (also insgesamt zweimal vorgeführt).
- Der Versuch kann dann analog mit der anderen Signalform vorgeführt und auch noch einmal wiederholt werden.

Bezüglich der Versuchsdurchführung sind die Vorgaben der RISU zu beachten.

Die Arbeitszeit beginnt erst nach Durchführung und Erläuterung des Versuchs.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2013

1. Inhaltliche Schwerpunkte

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld)
 - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
 - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße B , Lorentzkraft
 - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Wien-Filter, Hall-Effekt)
- Elektromagnetismus
 - Elektromagnetische Induktion, Induktionsgesetz, Veränderung von A und B
 - Selbstinduktion, Induktivität (verzögerter Einschaltvorgang bei Parallelschaltung von L und R , Ein- und Ausschaltvorgänge bei Spulen)

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

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

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modelllösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modelllösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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

Modelllösungen Aufgabe: Aspekte zur experimentellen Überprüfung des Induktionsgesetzes

Teilaufgabe 1

a) Eine mögliche mathematische Darstellung ist: $U_{\text{ind}}(t) = -\dot{\Phi}(t)$ mit $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$.

\vec{A} repräsentiert eine Fläche, die von einem Magnetfeld der Stärke \vec{B} durchsetzt wird.

Das (Skalar-)Produkt aus \vec{B} und \vec{A} bezeichnet man als magnetischen Fluss Φ .

Wird beispielsweise eine Leiterschleife, deren Querschnittsfläche gerade durch \vec{A} repräsentiert wird, vom \vec{B} -Feld durchsetzt, so tritt an den Enden dieser Leiterschleife die induzierte Spannung $U_{\text{ind}}(t)$ auf, sobald sich der magnetische Fluss zeitlich ändert.

Hinweise für die korrigierende Lehrkraft:

- Schülerlösungen können auch ohne explizite Erwähnung des Begriffs des magnetischen Flusses gleichwertig sein.
- Eine Darstellung für räumlich nicht konstante (inhomogene) Felder (mit oder ohne Verwendung des Integralbegriffs) wird nicht erwartet.
- Das Vorzeichen im Induktionsgesetz ist nicht wohldefiniert – das wäre es erst, wenn die Richtung des Flächenvektors und die „Richtung der Spannungsmessung“ definiert würden. Insofern ist das Minuszeichen im Induktionsgesetz „etwas“ willkürlich und sollte daher **nicht mitbewertet** werden, d. h., beide Vorzeichen sind als richtig anzusehen.

- b) Eine Induktionsspannung kann (gemäß $U_{\text{ind}}(t) = -\dot{\Phi}(t)$ mit $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$ bzw. $\Phi = |\vec{B}| \cdot |\vec{A}| \cdot \cos(\alpha)$) durch drei verschiedene Prozesse erzeugt werden:
1. Zeitliche Änderung der Stärke des magnetischen Feldes, welches eine (konstante) Fläche durchsetzt; dies ist z. B. beim Transformator der Fall.
 2. Zeitliche Änderung der Fläche, die von einem (konstanten) Magnetfeld durchsetzt wird; dies tritt z. B. bei der Bewegung eines Leiters (einer Leiterschleife) in einem Magnetfeld auf.
 3. Zeitliche Änderung der Richtung zwischen \vec{B} und \vec{A} ; dies ist z. B. bei der Drehung einer Leiterschleife (mit konstanter Querschnittsfläche) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld, also beim „klassischen“ Generator der Fall.

Hinweise für die korrigierende Lehrkraft:

- Von den drei genannten „Fällen“ muss der Prüfling in seiner Lösung nur zwei ausführen.
 - Der Hinweis zum Vorzeichen im Induktionsgesetz (siehe Teilaufgabe 1 a)) gilt hier sinngemäß.
- c) Mit dem beschriebenen Versuch kann die Entstehung einer Induktionsspannung (zwischen den Enden der kleinen Induktionsspule) bei zeitlicher Veränderung der Stärke \vec{B} eines magnetischen Feldes untersucht werden, da das zeitlich veränderliche (homogene) Magnetfeld der Feldspule die entsprechend ausgerichtete ruhende Induktionsspule mit n Windungen und der konstanten Querschnittsfläche $|\vec{A}|$ durchsetzt.

Teilaufgabe 2

- a) Der Schaltskizze und den Angaben zum Oszillogramm entnimmt man, dass $B(t)$ mit dem Kanal 1 (CH 1) aufgezeichnet wurde.

Auswerten des Oszillogramms liefert:

$$T = 4,8 \text{ div} \cdot 0,5 \frac{\text{s}}{\text{div}} = 2,4 \text{ s} \quad \text{und} \quad B_0 = 2,0 \text{ div} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{T}}{\text{div}} = 0,001 \text{ T} .$$

Die gesuchte zeitliche Änderung von $B(t)$ entspricht bei diesem 1. Versuch der „Geradensteigung der (z. B.) negativen Flanke“. Mit den bereits ermittelten Werten ergibt sich (für die negative Flanke):

$$\dot{B}(t) = \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\frac{2 \cdot B_0}{\frac{T}{2}} = -0,00167 \frac{\text{T}}{\text{s}} \approx -0,0017 \frac{\text{T}}{\text{s}} = \text{konstant} .$$

- b) Aus dem allgemeinen Induktionsgesetz $U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot \dot{\Phi}$ mit $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A}$ ergibt sich für den hier vorliegenden Fall:

$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A_0 \cdot \dot{B}(t) = -10 \cdot 0,0050 \text{ m}^2 \cdot \left(-0,0017 \frac{\text{T}}{\text{s}} \right) = 8,5 \cdot 10^{-5} \text{ V}.$$

Die Einheitenberechnung ergibt:

$$[U_{\text{ind}}] = \text{m}^2 \cdot \frac{\text{T}}{\text{s}} = \text{m}^2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} = \frac{\text{Nm}}{\text{As}} = \text{V}.$$

Der Schaltskizze und den Angaben zum Oszillogramm entnimmt man, dass die Spannung U_{ind} mit dem Kanal 2 (CH 2) aufgezeichnet wurde.

Auswerten des Oszillogramms liefert:

$$U_{\text{ind, gemessen}} = \frac{1}{2} \cdot 4,2 \text{ div} \cdot 0,4 \frac{\text{V}}{\text{div}} \cdot \frac{1}{10^4} = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ V}.$$

Die Ergebnisse stimmen im Rahmen der Messgenauigkeit überein (die Abweichung liegt unter 2 Prozent und somit unter der Fehlertoleranz der Messgeräte).

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Der Hinweis zum Vorzeichen im Induktionsgesetz (siehe Teilaufgabe 1 a)) gilt hier sinngemäß.

Teilaufgabe 3

- a) Der Schaltskizze und den Angaben zum Oszillogramm entnimmt man, dass $B(t)$ mit dem Kanal 1 (CH 1) aufgezeichnet wurde.

Auf der Basis des gegebenen Hinweises ergibt sich für die gesuchte Funktion:

$$B(t) = B_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right).$$

Für den hier vorliegenden Fall reduziert sich das allgemeine Induktionsgesetz (wie bereits in Teilaufgabe 2 b) gezeigt) zu: $U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A_0 \cdot \dot{B}(t)$.

$$\text{Mit } \dot{B}(t) = B_0 \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) \text{ ergibt sich } U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A_0 \cdot B_0 \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right).$$

- b) Für die berechneten bzw. aus dem Oszillogramm in Abbildung 3 entnommenen Werte für die Induktionsspannung erhält man:

t in s	$U_{\text{ind, berechnet}}(t)$ in Volt	$U_{\text{ind, gemessen}}(t)$ in div	$U_{\text{ind, gemessen}}(t)$ in Volt
0	$-1,31 \cdot 10^{-4}$	- 3,3	$-1,32 \cdot 10^{-4}$
1	$1,13 \cdot 10^{-4}$	2,8	$1,12 \cdot 10^{-4}$
2	$-0,65 \cdot 10^{-4}$	- 1,5	$-0,60 \cdot 10^{-4}$

Die Ergebnisse stimmen im Rahmen der Messgenauigkeit überein.

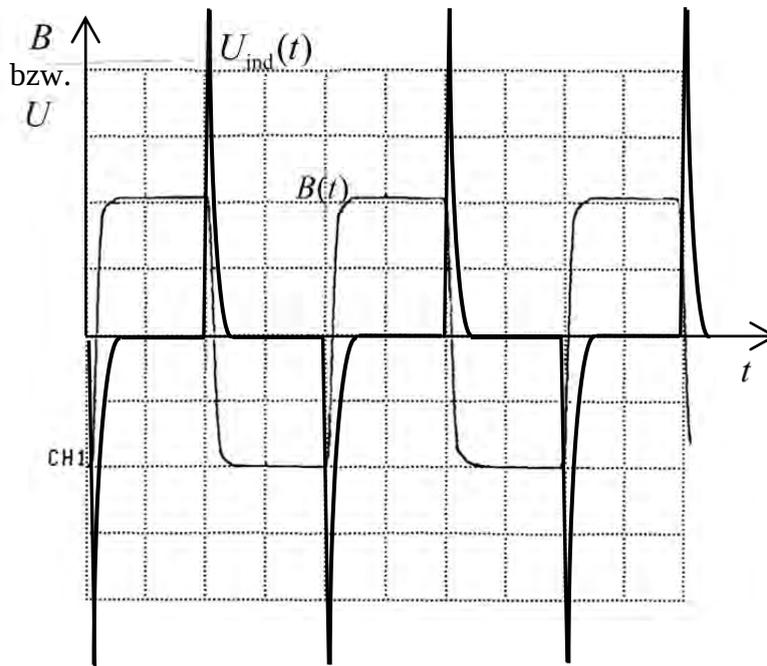
Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Der Hinweis zum Vorzeichen im Induktionsgesetz (siehe Teilaufgabe 1 a)) gilt hier sinngemäß.

Teilaufgabe 4

- a) Die an der Spule anliegende Spannung ist gemäß Aufgabenstellung abschnittsweise konstant. Liegt eine konstante Spannung an, so stellt sich nach einer gewissen (hinreichend langen) Zeit ein nahezu konstanter Spulenstrom und somit ein konstantes $B(t)$ ein. Springt die Spannung dann zu einem bestimmten Zeitpunkt auf einen anderen (z. B. höheren) Wert, so ändert sich (wächst) der Strom in der Feldspule. Proportional zum Strom ändert sich (wächst) dann auch die Stärke B des magnetischen Feldes der Spule. Somit ändert sich (wächst) auch der magnetische Fluss, der diese felderzeugende Spule (selbst) durchsetzt. Die damit auftretende **Selbstinduktionsspannung** ist nach der Lenz'schen Regel so gerichtet, dass sie ihrer Ursache, also der Änderung (dem Anwachsen) des Stromes entgegenwirkt. Somit wird eine sprunghafte Veränderung (ein sprunghaftes Anwachsen) des Stromes verhindert.
- Die Gleichzeitigkeit der Vorgänge muss deutlich werden. –

b)

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

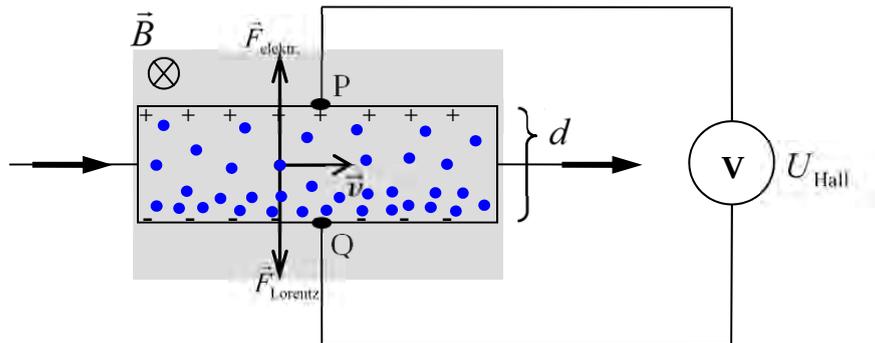
In der Skizze sollte deutlich erkennbar sein, dass die „Nadelimpulse“ (dem Betrage nach) jeweils schnell ansteigen und dann zunächst wieder schnell, schließlich aber zunehmend langsamer (bis auf den Wert Null) abfallen.

Teilaufgabe 5

- a) Fließt ein (Steuer-)Strom durch das Hallplättchen, bewegen sich die Leitungselektronen (gemäß der Abbildung 6b) mit der Geschwindigkeit \vec{v} durch das (homogene) Magnetfeld der Stärke \vec{B} . Auf jedes bewegte Leitungselektron im Hallplättchen wirkt eine Lorentzkraft $\vec{F}_{\text{Lorentz}} = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$, welche senkrecht zu \vec{v} und zu \vec{B} steht. Daher werden die Leitungselektronen verschoben (hier nach unten), es kommt also zu einer „Konzentration“ von Elektronen an einer Seite des Hallplättchens und zu einem „Elektronenmangel“ an der anderen Seite des Plättchens. Insgesamt kommt es also zu einer Ladungstrennung und somit zu einer elektrischen Spannung, der sogenannten Hallspannung U_{Hall} zwischen der Ober- und der Unterseite des Hallplättchens.

- b) Da (hier) die Seite P des Hallplättchens positiv und die Seite Q negativ geladen ist, erfahren die Leitungselektronen im Plättchen zusätzlich zur Lorentzkraft auch noch eine elektrische Kraft, welche der Lorentzkraft genau entgegengerichtet ist. Die in Teilaufgabe 5 a) beschriebene Verschiebung der Leitungselektronen erfolgt so lange, bis die elektrische Kraft so groß ist, dass sie die Lorentzkraft gerade kompensiert, bis also

$$\vec{F}_{\text{elektrisch}} = -\vec{F}_{\text{Lorentz}} \text{ gilt.}$$



Aus $|\vec{F}_{\text{elektr.}}| = |\vec{F}_{\text{Lorentz}}|$ folgt mit $|\vec{F}_{\text{elektr.}}| = e \cdot E$ und $|\vec{F}_{\text{Lorentz}}| = e \cdot v \cdot B \cdot \sin(90^\circ)$ die

Beziehung $e \cdot E = e \cdot v \cdot B$ und mit $E = \frac{U_{\text{Hall}}}{d}$ folgt nach Umformen und Vereinfachen

die angegebene / gesuchte Beziehung $U_{\text{Hall}} = d \cdot v \cdot B$.

Hinweise für die korrigierende Lehrkraft:

- Akzeptiert wird auch jede gleichwertige alternative Lösung; so kann z. B. auch eine entsprechende nicht vektorielle Darstellung gleichwertig sein.
- Die hier wiedergegebene Skizze ist nicht erforderlich, die umgangssprachliche Beschreibung reicht aus, eine entsprechende Skizze kann aber z. B. Teile einer Beschreibung ersetzen.

6.2 Teilleistungen – Kriterien

Aufgabe: Aspekte zur experimentellen Überprüfung des Induktionsgesetzes

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	gibt eine mathematische Formulierung des allgemeinen Induktionsgesetzes an und erläutert die in der Formel vorkommenden physikalischen Größen.	5
b)	beschreibt zwei (prinzipiell) unterschiedliche Prozesse, durch die Induktionsspannungen erzeugt werden können, und gibt dazu jeweils ein (einfaches) Beispiel an.	4
c)	erläutert und begründet, welche Teilaussage des Induktionsgesetzes mit dem Versuch überprüft werden kann.	2

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	bestimmt aus dem Diagramm in Abbildung 2 die Periodendauer T der zeitlich veränderlichen Stärke $B(t)$ des magnetischen Feldes.	2
a2)	bestimmt aus dem Diagramm die Amplitude B_0 der zeitlich veränderlichen Stärke $B(t)$ des magnetischen Feldes.	3
a3)	ermittelt daraus die zeitliche Änderung $\dot{B}(t)$.	5
b1)	berechnet die in der kleinen Spule induzierte Spannung U_{ind} .	2
b2)	gibt eine vollständige Umrechnung der Einheiten an.	2
b3)	überprüft das rechnerische Ergebnis anhand des Messdiagramms in Abbildung 2.	3

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	gibt einen allgemeinen Funktionsterm für $B(t)$ an.	3
a2)	leitet, ausgehend vom allgemeinen Induktionsgesetz, den Term $U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot A_0 \cdot B_0 \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$ für die Induktionsspannungs-Zeit-Funktion her.	4
b1)	berechnet für die Zeiten $t = 0 \text{ s}$, 1 s und 2 s jeweils die Induktionsspannung $U_{\text{ind}}(t)$.	3
b2)	vergleicht die berechneten Werte mit den entsprechenden Messwerten aus dem Oszillogramm.	3

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	begründet qualitativ, warum es nicht möglich ist, den ursprünglich gewünschten Verlauf von $B(t)$ zu realisieren, obwohl die steuerbare Stromquelle ein „rechteckförmiges“ Spannungssignal liefern kann.	6
b1)	skizziert den zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung qualitativ.	4
b2)	berücksichtigt dabei, dass der Graph von $B(t)$ in den Intervallen, in denen er von einem positiven zu einem negativen Wert (bzw. umgekehrt) wechselt, sich dem folgenden konstanten Wert zunächst schnell, dann zunehmend langsamer nähert.	2

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	erläutert, welche physikalischen Prozesse die Hallspannung zwischen der „oberen“ und der „unteren“ Seite des Hallplättchens erzeugen.	5
b1)	leitet (aus einem Kraftansatz) die Beziehung $U_{\text{Hall}} = d \cdot v \cdot B$ her.	4
b2)	begründet den (Kraft-)Ansatz.	3

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Aspekte zur experimentellen Überprüfung des Induktionsgesetzes

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	gibt eine mathematische ...	5			
b)	beschreibt zwei (prinzipiell) ...	4			
c)	erläutert und begründet ...	2			
	Summe Teilaufgabe 1	11			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	bestimmt aus dem ...	2			
a2)	bestimmt aus dem ...	3			
a3)	ermittelt daraus die ...	5			
b1)	berechnet die in ...	2			
b2)	gibt eine vollständige ...	2			
b3)	überprüft das rechnerische ...	3			
	Summe Teilaufgabe 2	17			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	gibt einen allgemeinen ...	3			
a2)	leitet, ausgehend vom ...	4			
b1)	berechnet für die ...	3			
b2)	vergleicht die berechneten ...	3			
	Summe Teilaufgabe 3	13			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet qualitativ, warum ...	6			
b1)	skizziert den zeitlichen ...	4			
b2)	berücksichtigt dabei, dass ...	2			
	Summe Teilaufgabe 4	12			

Teilaufgabe 5

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	erläutert, welche physikalischen ...	5			
b1)	leitet (aus einem ...	4			
b2)	begründet den (Kraft-)Ansatz.	3			
	Summe Teilaufgabe 5	12			

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

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

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

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

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



Name: _____

Zusatzblatt: Abbildungen 3 bis 7 zum Farbausdruck



Abbildung 3: Wasserstoffspektrum durch das Gitter beobachtet (Skala in mm)

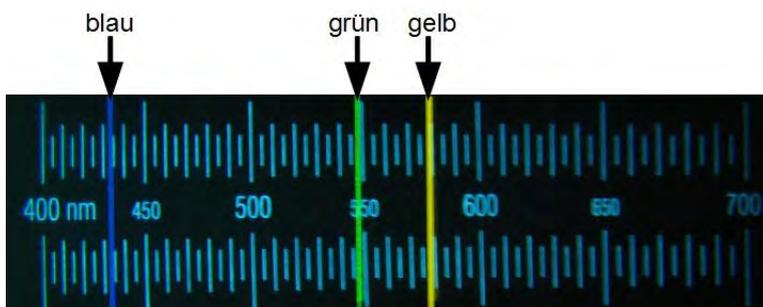


Abbildung 4: Quecksilberspektrum

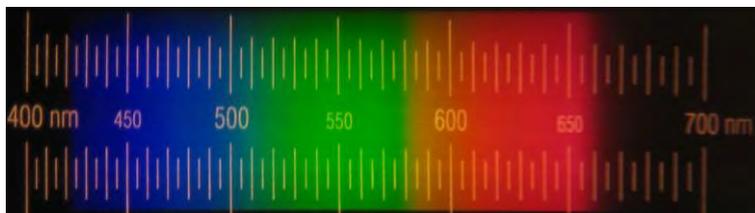


Abbildung 5: Fotografiertes kontinuierliches Spektrum einer Glühlampe



Abbildung 6: Spektrum der Energiesparlampe Typ A



Abbildung 7: Spektrum der Energiesparlampe Typ B



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Untersuchung von Spektren mit Hilfe optischer Gitter

Teilaufgabe 1: Subjektive Beobachtung des Wasserstoffspektrums

Zur Untersuchung des Wasserstoffspektrums wird eine mit Wasserstoff gefüllte Spektralröhre direkt vor einem Maßstab positioniert und durch ein optisches Gitter beobachtet.

Abbildung 1 zeigt ein Foto dieses Versuchsaufbaus, Abbildung 2 zeigt das Prinzip dieser so genannten subjektiven Beobachtungsmethode. Abbildung 3 zeigt das durch das Gitter beobachtete Spektrum des atomaren Wasserstoffs.

Der Abstand zwischen Maßstab und optischem Gitter beträgt $d = 0,40 \text{ m}$.

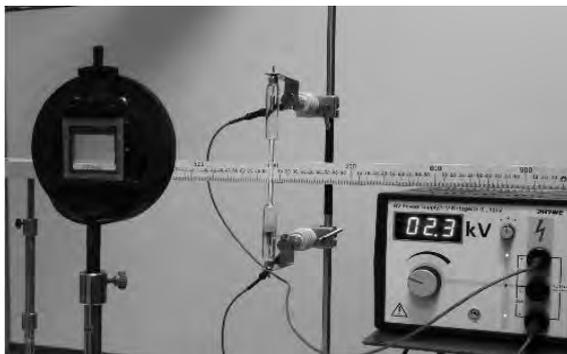


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur subjektiven Beobachtung des Wasserstoffspektrums

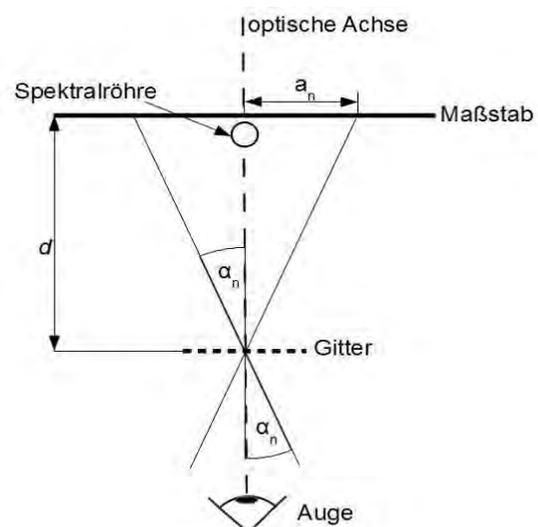


Abbildung 2: Prinzip der subjektiven Beobachtungsmethode



Name: _____



Abbildung 3: Wasserstoffspektrum durch das Gitter beobachtet (Skala in mm)
(Quelle unbekannt, zur Optimierung der Abbildung nachbearbeitet, Farbausdruck siehe Zusatzblatt)

- a) Die Winkel α_n , unter denen die Gittermaxima der Ordnung n beobachtet werden, sind identisch mit den Winkeln, die sich ergeben würden, wenn die Maxima auf einem Schirm im Abstand d hinter dem Gitter abgebildet würden.

Leiten Sie für diese Anordnung (also für die Abbildung der Maxima auf einem Schirm hinter dem Gitter) unter Verwendung einer beschrifteten Skizze her, dass für die Wellenlänge λ , die Gitterkonstante g und den Abstand a_1 des Maximums erster Ordnung von der optischen Achse die folgende Beziehung gilt:

$$\lambda = g \cdot \frac{a_1}{\sqrt{d^2 + a_1^2}}$$

- b) Die Gitterkonstante g des verwendeten Gitters beträgt $g = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. Tabelle 1 sind die Wellenlängen der blauen und der roten Spektrallinie zu entnehmen.

Tabelle 1:

Farbe	rot	blau	violett
λ in nm	656	486	

Bestimmen Sie die Wellenlänge der violetten Spektrallinie.

[Kontrollergebnis: $\lambda_{\text{violett}} = 432 \text{ nm}$]

(14 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 2: Das Bohr'sche Modell des Wasserstoffatoms

Das folgende Gedicht widmet sich auf eigenwillige Art dem Bohr'schen Atommodell, mit dessen Hilfe sich die Spektrallinien des Wasserstoffatoms erklären lassen.

Hubert Cremer: 2 Minuten Atomphysik

- | | |
|--|---|
| Auf KEPLERschen Ellipsen hetzen
gemäß den COULOMBSchen Gesetzen
die Elektronen froh und gern
wohl um den positiven Kern.
5 Doch sind hierbei, wie überhaupt,
diskrete Bahnen nur erlaubt.
Beschränken wir uns klug und weise
zunächst einmal auf simple Kreise,
so sind nur solche Bahnen richtig
10 deren Impulsmoment (wie wichtig!)
gleich n mal h durch 2 mal π ,
und deren Radien, wissen Sie,
verhalten sich dann allemal
wie das Quadrat der Quantenzahl.
15 (Das h ist hierbei, Gott sei dank, | das Wirkungsquantum des Herrn PLANCK;
in absoluten Maßen fand sich
rund 6 durch 10 hoch 27^1 .)
Schwingt's Elektron auf solchen Kreis,
20 es nimmermehr von Strahlung weiß.
Am liebsten weilt es nah am Kern,
und dünkt ihm mal ein Weg zu fern,
dann – schwuppdwupp und mit Elan –
springt's rasch in eine tiefe Bahn.
25 Dabei wird Energie entbehrlich;
die setzt der Äther klug und ehrlich
gleich h mal f – welch stolzes Wort! –
und schickt sie dann als Strahlung fort.
Die zwei Minuten sind nun leider um:
30 Auf Wiederhören, liebes Publikum! |
|--|---|

¹ In einem alten Maßeinheitensystem

(Quelle: Cremer, H.: Carmina Mathematica. 3. Auflage. Aachen: Verlag Mayer 1965, S. 42)

a) *Geben Sie exemplarisch Zeilennummern an, in denen die Bohr'schen Postulate innerhalb des Gedichtes benannt werden.*

Geben Sie die Bohr'schen Postulate in einer fachwissenschaftlich üblichen Formulierung wieder.



Name: _____

- b) Wird das Nullniveau für die Gesamtenergie des Elektrons im Wasserstoffatom ins Unendliche gelegt, so ergibt sich für seine Gesamtenergie auf der n -ten Bahn:

$$E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}.$$

Für die ersten fünf Energiestufen E_n des Wasserstoffatoms ergeben sich folgende Werte:

Tabelle 2:

n	1	2	3	4	5
E_n in eV	-13,6	-3,40	-1,51	-0,85	-0,54

Berechnen Sie die Gesamtenergie E_n des Elektrons im Wasserstoffatom für $n \rightarrow \infty$ und interpretieren Sie Ihr Ergebnis.

Zeichnen Sie maßstäblich das Energieniveauschema des Wasserstoffatoms unter Angabe der Energien zu den jeweiligen Niveaus.

- c) Bestimmen Sie diejenigen Übergänge im Wasserstoffatom, die zu den drei in Teilaufgabe 1 beobachteten Spektrallinien führen.
- d) Ein Wasserstoffatom befinde sich im Grundzustand.
Begründen Sie, welche Übergänge angeregt werden können, wenn das Wasserstoffatom von einem **Elektron** mit der Energie von 12,5 eV getroffen wird.
Begründen Sie, welche Übergänge angeregt werden können, wenn das Wasserstoffatom von einem **Photon** mit der Energie von 12,5 eV getroffen wird.

(34 Punkte)

Teilaufgabe 3: Spektren von Energiesparlampen

Bei der Funktion moderner Energiesparlampen spielt die Emission von Licht durch die Anregung von Quecksilberatomen eine wichtige Rolle. In Teilaufgabe 2 wurde das Wasserstoffspektrum durch Elektronenübergänge zwischen verschiedenen Energieniveaus erklärt. Dies ist auch für das Quecksilberspektrum möglich. Abbildung 4 zeigt das Quecksilberspektrum, das mit der aus Teilaufgabe 1 bekannten Beobachtungsmethode fotografiert wurde, wobei der Maßstab durch eine Nanometer-Skala ersetzt wurde.



Name: _____

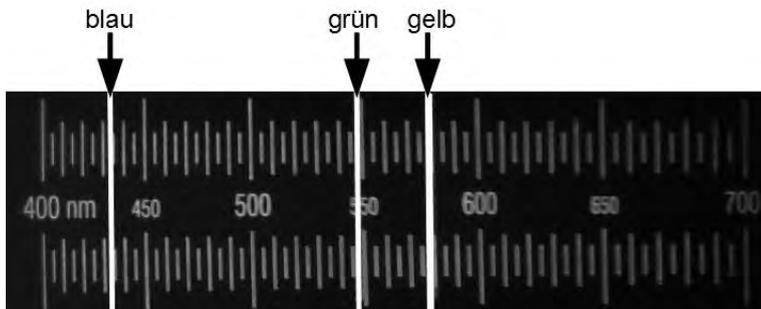


Abbildung 4: Quecksilberspektrum
(zur Optimierung der SW-Abbildung nachbearbeitet, Farbausdruck siehe Zusatzblatt)

- a) Geben Sie aus Abbildung 4 die Wellenlängen der drei sichtbaren Spektrallinien des Quecksilberspektrums an.
- b) Die intensivste Spektrallinie des Quecksilberspektrums entspricht einem Übergang mit einer Energie von 4,9 eV.

Zeigen Sie, dass diese Spektrallinie im ultravioletten Bereich des Spektrums liegt.

In modernen Energiesparlampen wird Quecksilber zum Leuchten angeregt. Durch Leuchtstoffe auf der Innenseite des Glaskörpers kann das im Quecksilberspektrum enthaltene UV-Licht in sichtbares Licht „umgewandelt“ werden. In den Leuchtstoffen wird ein UV-Photon absorbiert und ein energieärmeres Photon im sichtbaren Bereich emittiert. Die verbleibende Energiedifferenz wird im Leuchtstoff in Wärmeenergie umgewandelt.

- c) Ein Leuchtstoff wandelt in einer Energiesparlampe das UV-Licht mit der Energie von 4,9 eV in rotes Licht der Wellenlänge 610 nm um.

Bestimmen Sie den prozentualen Anteil der Energie des UV-Lichts, der in sichtbares Licht umgewandelt wird.

Energiesparlampen führen gegenüber herkömmlichen Glühlampen zu einer erheblichen Energieersparnis. Als Argument gegen Energiesparlampen wird jedoch häufig angeführt, sie würden gegenüber Glühlampen ein weniger angenehmes Licht erzeugen:



Name: _____

„Denn wenig ist wahr von dem, was die Sparlampe verspricht. Zuerst lügt gleich einmal ihr Licht. Da ihr Spektrum diskontinuierlich ist, [...] verfälscht sie Farben grundsätzlich und gravierend.“

(Quelle: die tageszeitung, 01.09.2011, <http://www.taz.de/1/archiv/digitaz/artikel/?ressort=ku&dig=2011%2F09%2F01%2Fa0174&cHash=08f9772981>)

Für die so genannte „Farbwiedergabe“ von Energiesparlampen und die damit verbundene Wirkung auf den Menschen ist es tatsächlich entscheidend, dass durch die Leuchtstoffe, die das UV-Licht in sichtbares Licht umwandeln, ein möglichst kontinuierliches Spektrum erzeugt wird. Abbildung 5 zeigt das fotografierte kontinuierliche Spektrum einer Glühlampe.

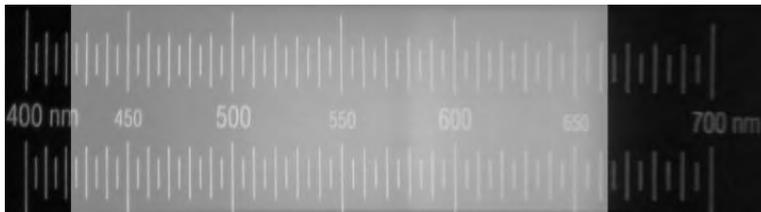


Abbildung 5: Fotografiertes kontinuierliches Spektrum einer Glühlampe
(zur Optimierung der SW-Abbildung nachbearbeitet, Farbausdruck siehe Zusatzblatt)

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen zum Vergleich die Spektren zweier verschiedener Energiesparlampen.

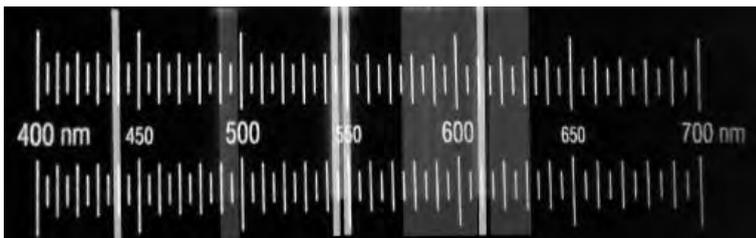


Abbildung 6: Spektrum der Energiesparlampe Typ A
(zur Optimierung der SW-Abbildung nachbearbeitet, Farbausdruck siehe Zusatzblatt)



Abbildung 7: Spektrum der Energiesparlampe Typ B
(zur Optimierung der SW-Abbildung nachbearbeitet, Farbausdruck siehe Zusatzblatt)



Name: _____

- d) *Beschreiben Sie die Spektren der beiden Energiesparlampen jeweils im Vergleich zum Quecksilberspektrum.*
Vergleichen Sie die Spektren der beiden Energiesparlampen miteinander im Hinblick auf die Farbwiedergabe.

(17 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

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

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Untersuchung von Spektren mit Hilfe optischer Gitter (65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit HT 1 oder HT 4

3. Materialgrundlage

Versuchsmaterial und -aufbau

Für den in Teilaufgabe 1 beschriebenen Versuch werden folgende Geräte benötigt:

- Spektralröhre mit Wasserstoff
- Hochspannungsnetzgerät
- Hochspannungswarnschild
- Schutzwiderstand 100 k Ω
- Gitter (z. B. 570 Striche pro mm; da keine Messungen durchgeführt werden, können auch andere geeignete Gitter verwendet werden)
- Messlatte
- Stativmaterial

Der Versuch ist möglichst als Demonstrationsexperiment aufzubauen. In diesem Fall sollte jedem Prüfling die Gelegenheit gegeben werden, die Linien der leuchtenden Spektralröhre einmal zu sehen. Es werden keine Messungen durchgeführt, die Daten stehen im Aufgabentext zur Verfügung.

Bezüglich der Versuchsdurchführung sind die Vorgaben der RISU zu beachten.

Die Arbeitszeit beginnt erst nach Durchführung und Erläuterung des Versuchs.

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

Hinweis zum Gedicht:

Den Prüflingen ist zu sagen, dass mit dem „Impulsmoment“ in Zeile 10 des Gedichts in Teilaufgabe 2 nach heutiger Sprechweise der „Drehimpuls“ gemeint ist.

Sollte der Drehimpuls im Unterricht nicht bei der Darstellung des 1. Bohr'schen Postulats angesprochen worden sein, darf den Prüflingen gesagt werden, dass die Zeilen 10 und 11 die Aussage $\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{n}$ beinhalten (dass es sich in Zeile 10 und 11 also um eine sprachlich veraltete Darstellung handelt).

4. Bezüge zu den Vorgaben 2013**1. Inhaltliche Schwerpunkte**

- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen einschließlich Resonanz
 - Interferenz (Lichtbeugung am Gitter, Wellenlängenmessung)
- Atom- und Kernphysik
 - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (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

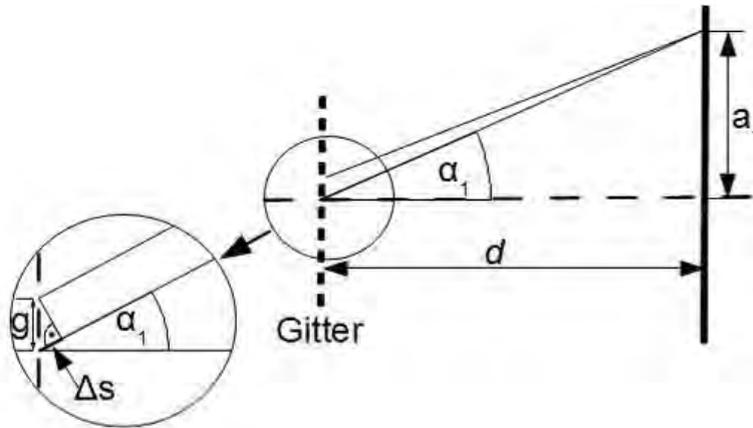
6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen**6.1 Modelllösungen****Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Die nachfolgenden Modelllösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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

Modelllösungen Aufgabe: Untersuchung von Spektren mit Hilfe optischer Gitter**Teilaufgabe 1: Subjektive Beobachtung des Wasserstoffspektrums**

a) Skizze:



Im Falle des Gittermaximums erster Ordnung ist der Gangunterschied Δs zwischen den Wellen aus je zwei benachbarten Gitteröffnungen genau eine Wellenlänge: $\Delta s = \lambda$.

Der Skizze sind folgende geometrische Beziehungen zu entnehmen: $\sin(\alpha_1) = \frac{\Delta s}{g}$ und

$\sin(\alpha_1) = \frac{a_1}{\sqrt{d^2 + a_1^2}}$. Einsetzen von $\Delta s = \lambda$ und Gleichsetzen liefert:

$$\frac{\lambda}{g} = \frac{a_1}{\sqrt{d^2 + a_1^2}} \Rightarrow \lambda = g \cdot \frac{a_1}{\sqrt{d^2 + a_1^2}}.$$

b) Für die violette Spektrallinie: $a_1 = \frac{0,701 \text{ m} - 0,498 \text{ m}}{2} = 0,102 \text{ m}$.

$$\lambda_{\text{violett}} = g \cdot \frac{a_1}{\sqrt{d^2 + a_1^2}} = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \frac{0,102 \text{ m}}{\sqrt{(0,40 \text{ m})^2 + (0,102 \text{ m})^2}} = 432 \text{ nm}.$$

Teilaufgabe 2: Das Bohr'sche Modell des Wasserstoffatoms**a) Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Aufgrund der unterschiedlichen Formulierungen der Bohr'schen Postulate in verschiedenen Quellen sind bei der Korrektur dieser Aufgabe die unterrichtlichen Voraussetzungen besonders zu berücksichtigen. Wenn beispielsweise im Unterricht lediglich die Gleichung $\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{n}$ angesprochen wurde, ist diese (fachlich vereinfachte) Darstellung als ebenso richtig zu bewerten.

Position der Postulate im Gedicht:

Zeilen 9 – 11 sowie 19 – 20: 1. Bohr'sches Postulat

Zeilen 24 – 28: 2. Bohr'sches Postulat

Bohr'sche Postulate in einer fachwissenschaftlich üblichen Formulierung:

1. Bohr'sches Postulat (Quantenbedingung): Der Bahndrehimpuls $L = r \cdot m \cdot v$ nimmt nur Vielfache von $h/2\pi$ an:

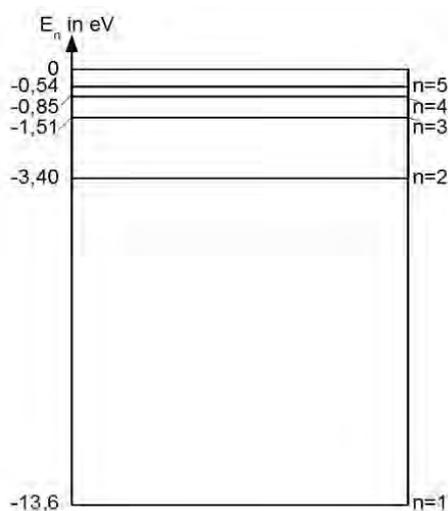
$$L = n \cdot \frac{h}{2\pi}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Auf jeder dieser Bahnen bewegt sich das Elektron strahlungsfrei. n ist die Quantenzahl, die die Bahn bestimmt.

2. Bohr'sches Postulat (Frequenzbedingung): Beim Übergang des Elektrons von einer Bahn mit hoher Energie E_m zu einer Bahn mit geringerer Energie E_n wird die Energiedifferenz mit einem Photon abgegeben (Emission):

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

Beim umgekehrten Vorgang wird ein Photon aufgenommen (Absorption).

b) $\lim_{n \rightarrow \infty} E_n = 0 \text{ eV}$. Ein Elektron mit der Gesamtenergie 0 eV ist ein freies Elektron.

- c) Spektrallinien aus Teilaufgabe 1: $\lambda_{\text{violett}} = 434 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{blau}} = 486 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{rot}} = 656 \text{ nm}$

Bestimmung der zugehörigen Photonen-Energien mit $E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$:

$$E_{\text{violett}} = 4,58 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,86 \text{ eV}$$

$$E_{\text{blau}} = 4,09 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,55 \text{ eV}$$

$$E_{\text{rot}} = 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,89 \text{ eV}$$

Vergleich mit den Energiedifferenzen im H-Atom:

Der Übergang von $n = 5$ nach $n = 2$ führt zur violetten Linie:

$$E_5 - E_2 = 2,86 \text{ eV} = E_{\text{violett}}$$

Der Übergang von $n = 4$ nach $n = 2$ führt zur blauen Linie:

$$E_4 - E_2 = 2,55 \text{ eV} = E_{\text{blau}}$$

Der Übergang von $n = 3$ nach $n = 2$ führt zur roten Linie:

$$E_3 - E_2 = 1,89 \text{ eV} = E_{\text{rot}}$$

- d) Aus $E_1 + E_{\text{Elektron}} = -13,6 \text{ eV} + 12,5 \text{ eV} = -1,1 \text{ eV}$ folgt, dass von einem Elektron die Übergänge nach $n = 2$ und $n = 3$ angeregt werden können. (Von den Schülerinnen und Schülern nicht verlangter Hinweis: Die Restenergie verbleibt als kinetische Energie beim Elektron.)

Da das Photon nur seine gesamte Energie abgeben könnte, kann von einem Photon derselben Energie kein Übergang angeregt werden.

Teilaufgabe 3: Spektren von Energiesparlampen

a) $\lambda_{\text{blau}} = 433 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{grün}} = 548 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{gelb}} = 580 \text{ nm}$

b) $E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{h \cdot c}{4,9 \text{ eV}} = 253 \text{ nm}$. Damit liegt die Spektrallinie im UV-Bereich.

c) Photonenenergie des abgegebenen roten Lichts:

$$E_{\text{rot}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \frac{c}{610 \text{ nm}} = 2,03 \text{ eV}$$

Anteil des in sichtbares Licht umgewandelten UV-Lichts:

$$\frac{E_{\text{rot}}}{E_{\text{UV}}} = \frac{2,0 \text{ eV}}{4,9 \text{ eV}} = 0,41 = 41 \%$$

d) Vergleich der beiden Energiesparlampen mit dem Quecksilberspektrum:

In den Spektren beider Energiesparlampen zeigen sich deutlich die blaue und die grüne Spektrallinie des Quecksilberspektrums. Die gelbe Spektrallinie ist dagegen nicht als separate Linie zu erkennen.

Vergleich der beiden Energiesparlampen miteinander:

Die Energiesparlampe B hat ein annähernd kontinuierliches Spektrum. Das Spektrum der Energiesparlampe A ist dagegen deutlich diskontinuierlich, es enthält ebenfalls einen orange-roten Bereich, dieser ist jedoch deutlich weniger intensiv als bei der Energiesparlampe B. Im Spektrum der Energiesparlampe A fehlen große Teile des grünen und blauen Bereichs, dort zeigt sich gegenüber dem Quecksilberspektrum nur eine zusätzliche blaue Linie.

Daher ist zu erwarten, dass die Energiesparlampe B zu einer deutlich besseren Farbwiedergabe führt.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Alternative Argumentationen sind ebenfalls zugelassen.

6.2 Teilleistungen – Kriterien

Aufgabe: Untersuchung von Spektren mit Hilfe optischer Gitter

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	fertigt eine beschriftete Skizze an.	5
a2)	leitet die angegebene Beziehung her.	5
b)	bestimmt die Wellenlänge der violetten Spektrallinie.	4

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	gibt die Zeilennummern an, in denen die Bohr'schen Postulate benannt werden.	4
a2)	gibt die Bohr'schen Postulate in einer fachwissenschaftlich üblichen Formulierung wieder.	6
b1)	berechnet die Energie E_n für $n \rightarrow \infty$.	3
b2)	interpretiert das Ergebnis.	2
b3)	zeichnet das zugehörige Energieniveauschema.	5
c)	bestimmt diejenigen Übergänge im Wasserstoffatom, die zu den in Teilaufgabe 1 beobachteten Spektrallinien führen.	6
d1)	begründet, welche Übergänge angeregt werden können, wenn das Wasserstoffatom von einem Elektron getroffen wird.	5
d2)	begründet, welche Übergänge angeregt werden können, wenn das Wasserstoffatom von einem Photon getroffen wird.	3

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	gibt die Wellenlängen der drei sichtbaren Spektrallinien des Quecksilbers an.	3
b)	zeigt, dass die Spektrallinie im ultravioletten Bereich des Spektrums liegt.	3
c)	bestimmt den prozentualen Anteil der Energie des UV-Lichts, der in sichtbares Licht umgewandelt wird.	4
d1)	beschreibt die Spektren der beiden Energiesparlampen.	3
d2)	vergleicht die Spektren der beiden Energiesparlampen miteinander.	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Untersuchung von Spektren mit Hilfe optischer Gitter

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	fertigt eine beschriftete ...	5			
a2)	leitet die angegebene ...	5			
b)	bestimmt die Wellenlänge ...	4			
	Summe Teilaufgabe 1	14			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	gibt die Zeilennummern ...	4			
a2)	gibt die Bohr'schen ...	6			
b1)	berechnet die Energie ...	3			
b2)	interpretiert das Ergebnis.	2			
b3)	zeichnet das zugehörige ...	5			
c)	bestimmt diejenigen Übergänge ...	6			
d1)	begründet, welche Übergänge ...	5			
d2)	begründet, welche Übergänge ...	3			
	Summe Teilaufgabe 2	34			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	gibt die Wellenlängen ...	3			
b)	zeigt, dass die ...	3			
c)	bestimmt den prozentualen ...	4			
d1)	beschreibt die Spektren ...	3			
d2)	vergleicht die Spektren ...	4			
	Summe Teilaufgabe 3	17			

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

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

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

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

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



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Energiezustände in Atomen nach dem Bohr'schen Atommodell

In dieser Aufgabe werden Atome betrachtet, bei denen sich das äußerste Elektron in einem außergewöhnlich hohen Energieniveau, also weit weg vom Atomkern und knapp unterhalb der Ionisationsenergie, befindet (siehe Abbildung 1). Besonders interessant dabei ist, dass sich für diese hohen Energieniveaus in den Atomen (sogenannte „Rydberg-Atome“) Aussagen mit Hilfe des Bohr'schen Atommodells gewinnen lassen. Deshalb können die von Bohr für das Wasserstoffatom hergeleiteten Gleichungen für die Energien und die Bahnradien (siehe (1) und (2)) auch für Rydberg-Atome eines beliebigen Elements benutzt werden (für hinreichend große n):

$$(1) E_n = -13,606 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2} \qquad (2) r_n = \frac{\varepsilon_0 \cdot h^2 \cdot n^2}{\pi \cdot e^2 \cdot m_e}$$

Für die Rechnungen in dieser Aufgabe sind folgende Größenwerte zu verwenden:

$$h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$

$$c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Name: _____

Teilaufgabe 1

a) Leiten Sie die oben angegebene Gleichung (2) für den Bahnradius r_n aus der Bohr'schen

Bedingung $m_e \cdot v_n \cdot r_n = \frac{n \cdot h}{2 \cdot \pi}$ und einem geeigneten Kraftansatz für das Wasserstoffatom her.

Begründen Sie die Wahl des Kraftansatzes.

Hierbei ist n die Hauptquantenzahl, h das Planck'sche Wirkungsquantum, e die Elementarladung, m_e die Masse des Elektrons, ϵ_0 die elektrische Feldkonstante und v_n die Geschwindigkeit des Elektrons auf der Bahn mit der Hauptquantenzahl n .

b) Berechnen Sie den Radius r_3 für das Wasserstoffatom.

(10 Punkte)

Teilaufgabe 2

a) Man kann sich ein Rydberg-Atom wie in Abbildung 1 dargestellt vorstellen:

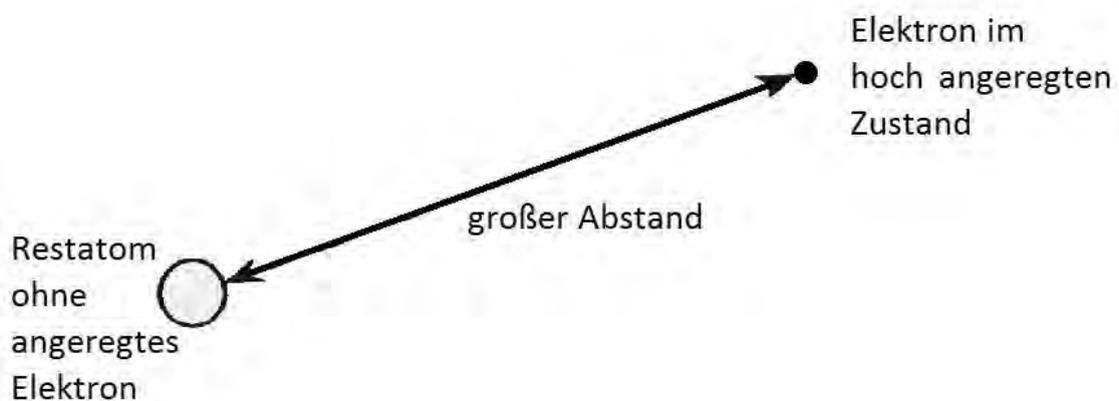


Abbildung 1: Modellvorstellung eines Rydberg-Atoms

Begründen Sie, warum bei einem Rydberg-Atom eines **beliebigen** Elements die für das hoch angeregte Elektron relevante effektive Zentralladung des Restatoms $Q_{\text{Restatom}} = +1 \cdot e$ ist.

b) Berechnen Sie den Radius r_{29} eines Rydberg-Atoms.

Begründen Sie, warum das Verhältnis der beiden Radien r_{29} und r_3 des Wasserstoffatoms

$\frac{29^2}{3^2}$ ist.

(11 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Untersuchung von hoch angeregten Atomen

Zum Nachweis von Rydberg-Atomen benutzt man den in der Abbildung 2 skizzierten Versuchsaufbau. Es wird ein Strahl von Atomen im Grundzustand erzeugt. Durch zwei Laser wird dann den Atomen in zwei Stufen eine bestimmte Anregungsenergie zugeführt: Laser 1 regt die Atome mit einer festen Anregungsenergie auf einen Zwischenzustand an, Laser 2 ist in seiner Photonenenergie fein einstellbar und bringt die Atome auf hoch angeregte Endzustände. Danach gelangen die Atome in einen Ionisationskondensator. Ein messbarer Ionisationsstrom I_K ist ein Nachweis für das Vorhandensein hoch angeregter Elektronenzustände in den Atomen des Atomstrahls.

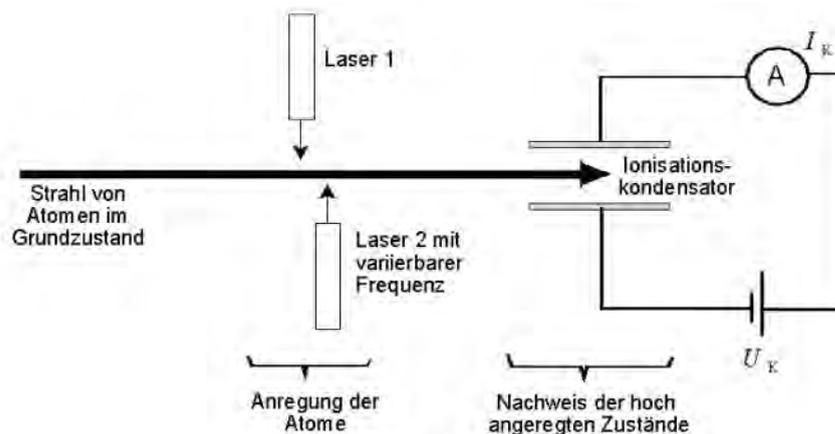


Abbildung 2: Versuchsaufbau

Abbildung 3 zeigt schematisch den Anregungsvorgang bei diesem Versuchsaufbau.

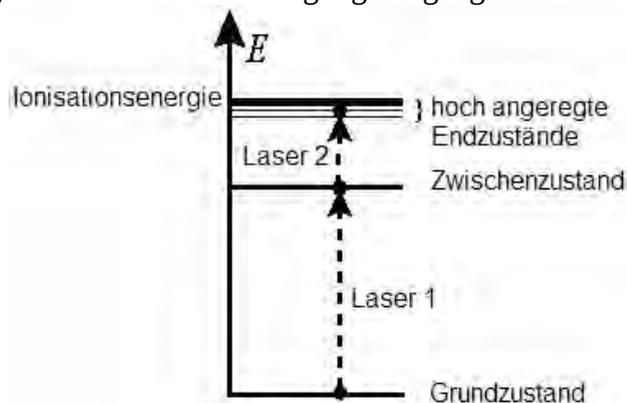


Abbildung 3: Zweistufiger Anregungsvorgang für Rydberg-Atome



Name: _____

Im Ionisationskondensator kann eine Ionisation der Atome stattfinden, wenn sich das Elektron in einem hoch angeregten Zustand unmittelbar unter der Ionisationsgrenze befindet (z. B. bei $n = 29$) und die Kondensatorfeldstärke gerade für diese Ionisation hinreicht (vgl. Abbildung 4).

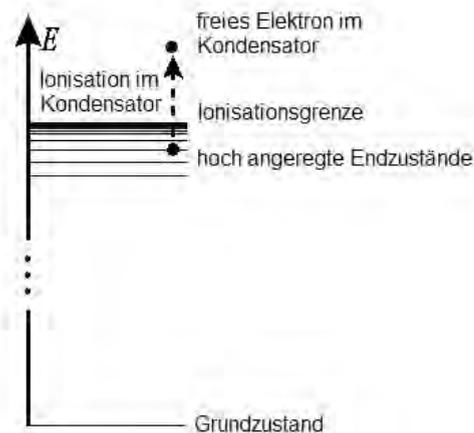


Abbildung 4: Ionisation im Kondensator

Zunächst besteht der Atomstrahl bei diesem Experiment aus Wasserstoffatomen.

- Beschreiben Sie im Rahmen des Bohr'schen Atommodells, wie es zu einer Anregung des Wasserstoffatoms durch Einstrahlung monochromatischen Lichts kommen kann.
- Bestimmen Sie die notwendige Photonenenergie des Lasers 1 und die zugehörige Wellenlänge, um (im ersten Schritt) ein Wasserstoffatom vom Grundzustand auf das Niveau $n = 3$ anzuregen.

[Kontrollwert: Photonenenergie $E = 1,9377 \cdot 10^{-18} \text{ J}$]

- Das Licht des Lasers 2 hat eine Wellenlänge von $\lambda_2 = 826,56 \text{ nm}$.

Vergleichen Sie die Photonenenergie des Lasers 2 mit der des Lasers 1.

Bestimmen Sie das Anregungsniveau, auf das Laser 2 die Atome im zweiten Schritt (ausgehend von $n = 3$) bringt.

- Begründen Sie qualitativ mit Hilfe eines geeigneten Kraftansatzes, warum dieses elektrische Feld im Kondensator ein Wasserstoffatom in einem hoch angeregten Zustand (z. B. $n = 29$) ionisieren kann, in einem niedrig angeregten Zwischenzustand (z. B. bei $n = 3$) jedoch nicht.

[Hinweis: Sie können bei Ihrer Argumentation von den Bahnradien des klassischen Bohr'schen Atommodells ausgehen.]

(27 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Im Versuchsaufbau aus Abbildung 2 wird nun statt der Wasserstoffatome ein Strahl aus Lithiumatomen verwendet. Laser 1 regt das äußere Elektron eines Lithiumatoms aus seinem Grundzustand in ein bestimmtes Zwischenniveau an und Laser 2, dessen Frequenz variiert werden kann, bringt es anschließend auf einen hoch angeregten Endzustand.

Abbildung 5 zeigt den Ionisationsstrom I_K als Funktion der Frequenz von Laser 2.

[Hinweis: Dabei wird die Kondensatorfeldstärke gerade so groß eingestellt, dass nur die Lithiumatome im hoch angeregten Endzustand ionisiert werden.]

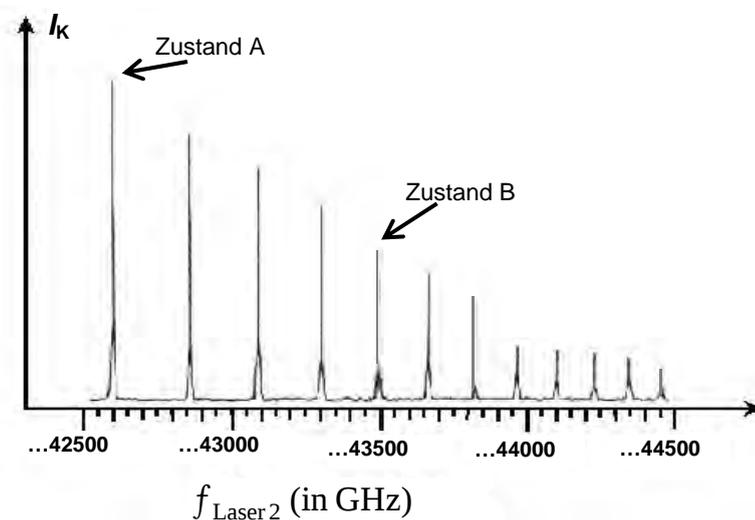


Abbildung 5: Experimentelle Ergebnisse für Lithium
(nach Kleppner et al., Spektrum der Wissenschaft 07 (1981) 94, verändert)

a) Erläutern Sie das Zustandekommen der scharfen Maxima.

Beschreiben Sie qualitativ, welche Rückschlüsse sich aus der relativen Lage der Maxima zueinander über die Abfolge der hoch angeregten Zustände des Lithiums nahe der Ionisationsgrenze ergeben.



Name: _____

b) Nach der Theorie der Rydberg-Atome führen die Energien des angeregten äußersten Elektrons nahe der Ionisationsgrenze unabhängig vom Element zu den Energiedifferenzen beim Wasserstoffatom gemäß dem Bohr'schen Atommodell. Dies soll an den Messergebnissen aus der Abbildung 5 für Lithiumatome überprüft werden. Dazu kann vorausgesetzt werden, dass das Maximum zum Zustand A dem des Bohr'schen Atommodells zur Hauptquantenzahl $n = 29$ entspricht.

Überprüfen Sie diesen Sachverhalt für die Rydberg-Atome unter dieser Voraussetzung mit Hilfe der beiden Zustände A und B (aus Abbildung 5).

(17 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Energiezustände in Atomen nach dem Bohr'schen Atommodell

(65 Punkte)

Hinweis: Kombinierbar entweder mit HT 1 oder HT 4

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2013

1. *Inhaltliche Schwerpunkte*

- Ladungen und Felder
 - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld, radialsymmetrisches Feld)
- Atom- und Kernphysik
 - Energiequantelung des Atoms, Atommodelle

2. *Medien/Materialien*

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

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

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modellösungen

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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

Modellösungen Aufgabe: Energiezustände in Atomen nach dem Bohr'schen Atommodell

Teilaufgabe 1

a) In die Gleichung für die Zentripetal- und Coulombkraft $F_Z = F_C$, d. h.

$$\frac{m_e \cdot v_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r_n^2}, \text{ wird die Bedingung}$$

$$m_e \cdot v_n \cdot r_n = \frac{n \cdot h}{2 \cdot \pi}, \text{ aufgelöst nach } v_n, \text{ eingesetzt und dann nach } r_n \text{ aufgelöst. Dies ergibt}$$

die Gleichung (2).

Dieser Kraftansatz kann hier auf das Wasserstoffatom angewendet werden, da nach der Bohr'schen Theorie das einzelne Elektron den Kern, bestehend aus einem Proton, auf einer Kreisbahn umläuft. Demnach wirkt die Coulombkraft hier als Zentripetalkraft.

b) Nach Gleichung (2) ergibt sich mit eingesetzten Werten für den Radius:

$$r_3 = 4,7625 \cdot 10^{-10} \text{ m}.$$

Teilaufgabe 2

- a) Bei Rydberg-Atomen hat das hoch angeregte Elektron nach Gleichung (2) einen sehr großen Abstand zum Restatom. Daher hat die räumliche Verteilung der inneren Elektronen des Atoms einen vernachlässigbaren Einfluss auf das angeregte Elektron. Das Restatom kann daher als System betrachtet werden, bei dem $Z-1$ innere Elektronen die Z -fache Kernladung so abschirmen, dass das angeregte Elektron einen Atomrumpf der effektiven Kernladung $+1e$ „sieht“. Dies entspricht dem System des Wasserstoffatoms.
- b) Aus Gleichung (2) folgt mit eingesetzten Werten:

$$r_{29} = 4,4503 \cdot 10^{-8} \text{ m.}$$

Zur Berechnung des Verhältnisses der Radien verwendet man Gleichung (2):

$$\frac{r_{29}}{r_3} = \frac{\frac{\epsilon_0 \cdot h^2}{\pi \cdot e^2 \cdot m_e^2} \cdot 29^2}{\frac{\epsilon_0 \cdot h^2}{\pi \cdot e^2 \cdot m_e^2} \cdot 3^2} = \frac{29^2}{3^2}.$$

Teilaufgabe 3

- a) Im Rahmen des Bohr'schen Atommodells absorbiert das Elektron die Energie des eingestrahnten Lichts und wird dadurch auf eine Bahn mit größerer Hauptquantenzahl gebracht. Dies geschieht jedoch nur, wenn die Energie des Photons genau gleich der Differenzenergie zwischen den beiden Elektronenenergien auf den beiden Bahnen ist.
- b) Mit der Gleichung (1) lassen sich die beiden Energien auf den Bahnen mit $n = 1$ und $m = 3$ und daraus die Differenzenergie berechnen:

$$E_{m,n} = 13,606 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$E_{3,1} = 13,606 \text{ eV} \cdot \left(1 - \frac{1}{9} \right) = 12,094 \text{ eV} = 1,9377 \cdot 10^{-18} \text{ J.}$$

Dies ist die erforderliche Photonenenergie.

Für die Wellenlänge ergibt sich mit $E_{3,1} = h \cdot f_{3,1} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{3,1}}$:

$$\lambda_{3,1} = \frac{h \cdot c}{E_{3,1}} = \frac{6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,9377 \cdot 10^{-18} \text{ J}} = 1,0252 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 102,52 \text{ nm.}$$

- c) Mit der gegebenen Wellenlänge $\lambda_2 = 826,56 \text{ nm}$ berechnet sich die Photonenenergie

$$\text{zu: } E_{\text{Laser2}} = h \cdot \frac{c}{\lambda_2} = 2,4033 \cdot 10^{-19} \text{ J} .$$

Dies ist die vom Elektron im Zustand $n = 3$ durch Laser 2 zusätzlich aufgenommene Energie.

Im Vergleich zur Photonenenergie des Lasers 1 erkennt man, dass die Photonenenergie des Lasers 2 etwa um den Faktor 10 kleiner ist.

Zu berechnen ist die Hauptquantenzahl m der Bahn, auf die das Elektron angehoben wird. Mit Hilfe der in der Aufgabe gegebenen Gleichung (1) ergibt sich für die notwendige Energiedifferenz:

$$E_{m,3} = 13,606 \cdot \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{m^2} \right) \text{ eV} = 2,1799 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Mit der Photonenenergie $E_{\text{Laser2}} = E_{m,3}$ von Laser 2 und Auflösen nach m liefert:

$$2,4033 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,1799 \cdot 10^{-18} \text{ J} \cdot \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{m^2} \right) \Leftrightarrow \frac{1}{m^2} = \frac{1}{9} - \frac{2,4033 \cdot 10^{-19}}{2,1799 \cdot 10^{-18}} , \text{ also } m \approx 34 .$$

- d) Für den Ionisationsvorgang muss die elektrische Feldkraft größer werden als die Coulombkraft zwischen äußerstem Elektron und Atomrumpf.

Für große Hauptquantenzahlen nahe der Ionisationsgrenze ist das Elektron weit vom Atomkern entfernt und somit die Coulombkraft gering. Bei kleineren Hauptquantenzahlen befindet sich das Elektron viel näher am Kern, die Coulombkraft ist entsprechend viel größer, sodass hier die elektrische Feldkraft nicht ausreicht, um das Elektron vom Atom zu entfernen.

Teilaufgabe 4

- a) Atome können nur durch solche Photonen angeregt werden, welche exakt eine für das Atom spezifische Anregungsenergie besitzen. Es entstehen also nur dann Rydberg-Atome (und damit nur dann ein Ionisationsstrom), wenn die von Laser 2 eingestrahlte Energie gleich der Energiedifferenz zwischen zwei Bahnen des Elektrons ist (z. B. zwischen dem hoch angeregten Zustand $n = 29$ und dem niedrig angeregten Zustand $n = 3$). Zwischenenergiewerte können keine Anregungen erzeugen.

Es ist erkennbar, dass die Maxima bei größer werdenden Anregungsenergien des Lasers 2 immer enger zusammenliegen. Dies stimmt mit der Bohr'schen Theorie überein, nach der die Abstände der Energieniveaus mit steigenden Hauptquantenzahlen immer kleiner werden.

- b) Aus der Messung:

Der Zustand A entspricht $n = 29$. Abzählen der Maxima bis zum Zustand B liefert den Zustand $n = 33$.

Betrachtet man die zugehörige Energiedifferenz gemäß der Bohr'schen Theorie für das Wasserstoffatom, so gilt:

$$E_{33,29} = 13,606 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{29^2} - \frac{1}{33^2} \right) = 3,6843 \cdot 10^{-3} \text{ eV} = 5,9030 \cdot 10^{-22} \text{ J}.$$

Die aus der Abbildung 5 entnehmbare Differenz der Anregungsfrequenzen beträgt etwa 890 GHz (...43490 GHz – ...42600 GHz). Dies entspricht einer Energiedifferenz

$$\Delta E = h \cdot (\Delta f) = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 890 \cdot 10^9 \text{ Hz} = 5,8972 \cdot 10^{-22} \text{ J}.$$

Ergebnis:

Im Rahmen der Ablesegenauigkeit der Frequenzen stimmen die beiden Energiedifferenzen überein. Damit wird die dargestellte Theorie der Rydberg-Atome bestätigt.

6.2 Teilleistungen – Kriterien**Aufgabe: Energiezustände in Atomen nach dem Bohr'schen Atommodell****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	leitet die Gleichung her.	4
a2)	begründet die Wahl des Kraftansatzes.	3
b)	berechnet den Radius.	3

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	begründet die Zentralladung.	5
b1)	berechnet den Radius.	3
b2)	begründet das Verhältnis.	3

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	beschreibt den Anregungsvorgang.	4
b)	bestimmt die Wellenlänge und die Photonenenergie.	6
c1)	vergleicht die Energien.	5
c2)	bestimmt das Anregungsniveau.	6
d)	begründet die Ionisation.	6

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a1)	erläutert das Zustandekommen der Maxima.	4
a2)	beschreibt qualitativ die Rückschlüsse.	4
b)	überprüft den Sachverhalt.	9

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Energiezustände in Atomen nach dem Bohr'schen Atommodell**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	leitet die Gleichung her.	4			
a2)	begründet die Wahl ...	3			
b)	berechnet den Radius.	3			
	Summe Teilaufgabe 1	10			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet die Zentralladung.	5			
b1)	berechnet den Radius.	3			
b2)	begründet das Verhältnis.	3			
	Summe Teilaufgabe 2	11			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	beschreibt den Anregungsvorgang.	4			
b)	bestimmt die Wellenlänge ...	6			
c1)	vergleicht die Energien.	5			
c2)	bestimmt das Anregungsniveau.	6			
d)	begründet die Ionisation.	6			
	Summe Teilaufgabe 3	27			

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

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a1)	erläutert das Zustandekommen ...	4			
a2)	beschreibt qualitativ die ...	4			
b)	überprüft den Sachverhalt.	9			
	Summe Teilaufgabe 4	17			

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

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

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

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

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



Name: _____

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Anregung von Vanadium und Silber durch Neutronen

Vanadium besteht in der Natur zu 99,75 % aus dem stabilen Isotop ${}_{23}^{51}\text{V}$, Silber besteht aus den beiden stabilen Silberisotopen ${}_{47}^{107}\text{Ag}$ (Anteil 51 %) und ${}_{47}^{109}\text{Ag}$ (Anteil 49 %). Werden diese stabilen Isotope eine gewisse Zeit lang mit Neutronen einer Neutronenquelle bestrahlt, wandelt sich das Vanadiumisotop aufgrund des Neutroneneinfangs in ein radioaktives Vanadiumisotop mit einer Halbwertszeit in der Größenordnung „Minuten“ um, die beiden Silberisotope in radioaktive Silberisotope mit deutlich unterschiedlichen Halbwertszeiten.

Teilaufgabe 1: Die Aktivierung von Vanadium und Silber mit Hilfe einer Neutronenquelle

- a) Als Neutronenquelle verwendet man ein Gemisch aus ${}_{4}^{9}\text{Be}$ und einem α -Strahler.

Wird ein ${}_{4}^{9}\text{Be}$ -Kern von einem α -Teilchen getroffen, wandelt er sich bei Aussendung eines Neutrons in einen Kohlenstoffkern um.

Geben Sie die Kernumwandlungsgleichung für diesen Prozess an.

- b) Die Neutronen aktivieren anschließend das Vanadiumisotop ${}_{23}^{51}\text{V}$ und die beiden Silberisotope ${}_{47}^{107}\text{Ag}$ und ${}_{47}^{109}\text{Ag}$, indem diese Neutronen in Kerne des bestrahlten Materials aufgenommen werden. In allen drei Fällen entstehen dadurch neue Isotope, die durch β^{-} -Zerfall jeweils in einen stabilen Kern zerfallen.

Geben Sie für das Vanadiumisotop und für eines der Silberisotope die Gleichungen für die Kernumwandlung und für den anschließenden β^{-} -Zerfall an.



Name: _____

Hinweis: Sie können den nachstehenden Ausschnitt aus dem Periodensystem verwenden.

²¹ Sc Scandium 44,96	²² Ti Titan 47,88	²³ V Vanadium 50,94	²⁴ Cr Chrom 52,00	²⁵ Mn Mangan 54,94	²⁶ Fe Eisen 55,85	²⁷ Co Cobalt 58,93	²⁸ Ni Nickel 58,69	²⁹ Cu Kupfer 63,55	³⁰ Zn Zink 65,37	³¹ Ga Gallium 69,72
³⁹ Y Yttrium 88,91	⁴⁰ Zr Zirkonium 91,22	⁴¹ Nb Niob 92,91	⁴² Mo Molybdän 95,94	⁴³ Tc Technetium 97,91	⁴⁴ Ru Ruthenium 101,07	⁴⁵ Rh Rhodium 102,91	⁴⁶ Pd Palladium 106,42	⁴⁷ Ag Silber 107,87	⁴⁸ Cd Cadmium 112,41	⁴⁹ In Indium 114,82

(8 Punkte)

Teilaufgabe 2: Der Zerfall des radioaktiven Vanadiumisotops

Abbildung 1 zeigt die grafische Darstellung der gemessenen zeitabhängigen Zählraten für das aktivierte Vanadiumisotop. Die Daten sind bereits um den Nulleffekt bereinigt.

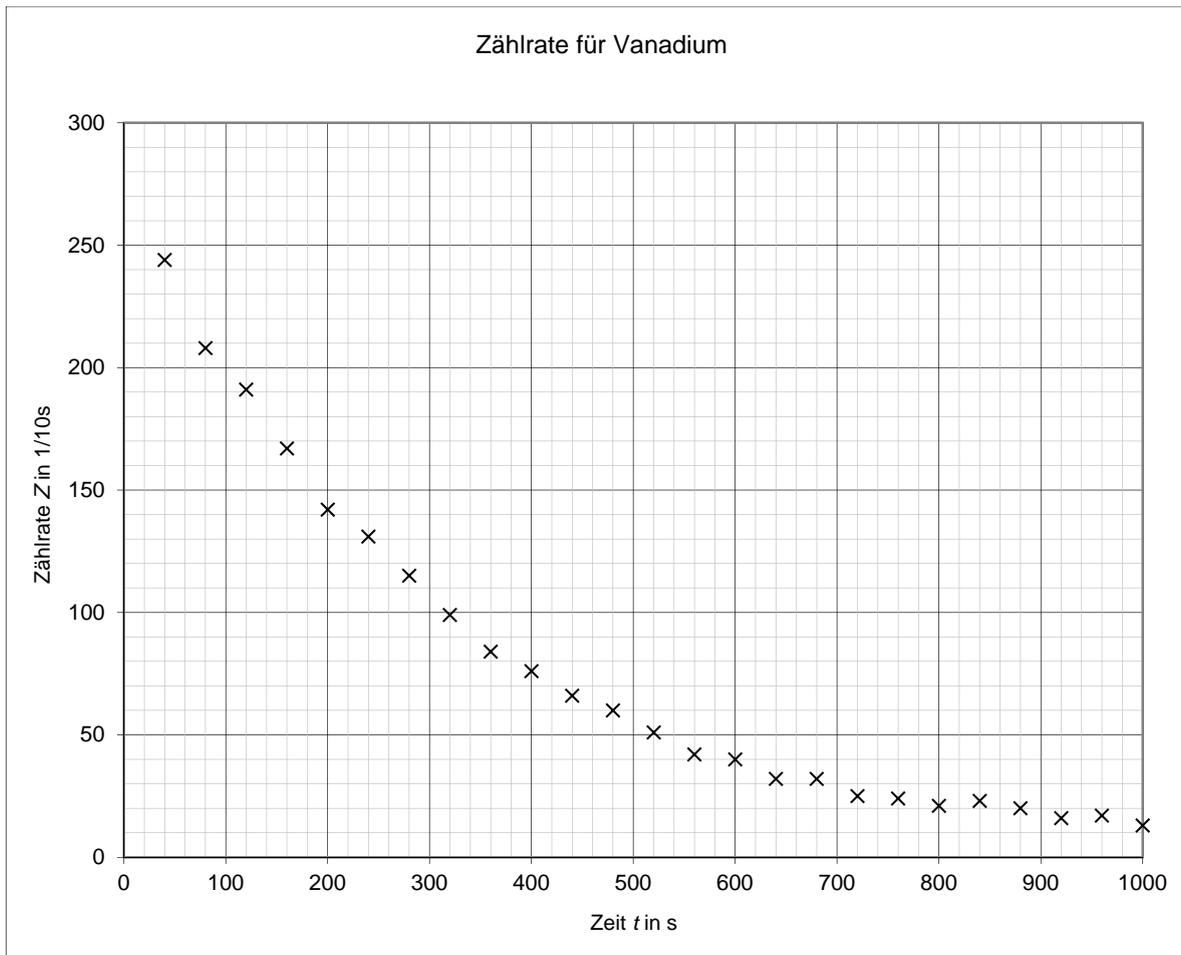


Abbildung 1: Zählraten für das aktivierte Vanadiumisotop in Abhängigkeit von der Zeit



Name: _____

- Zeichnen Sie eine Ausgleichskurve in Abbildung 1 ein und ermitteln Sie damit die Halbwertszeit $T_{1/2V}$ für die Zählraten als Mittelwert aus drei verschiedenen Ablesungen.
- Begründen Sie, dass die in a) ermittelte Halbwertszeit für die Zählraten identisch ist mit der Halbwertszeit für das Vanadiumisotop.
- Leiten Sie aus dem Zerfallsgesetz für radioaktive Isotope $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ die Gleichung $T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ für die Halbwertszeit eines Isotops her.
- Geben Sie die Bedeutung der Konstanten λ an und ermitteln Sie ihren Wert für Vanadium.
- In Abbildung 2 sind für das aktivierte Vanadiumisotop die natürlichen Logarithmen der um den Nulleffekt bereinigten Zählraten in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen.

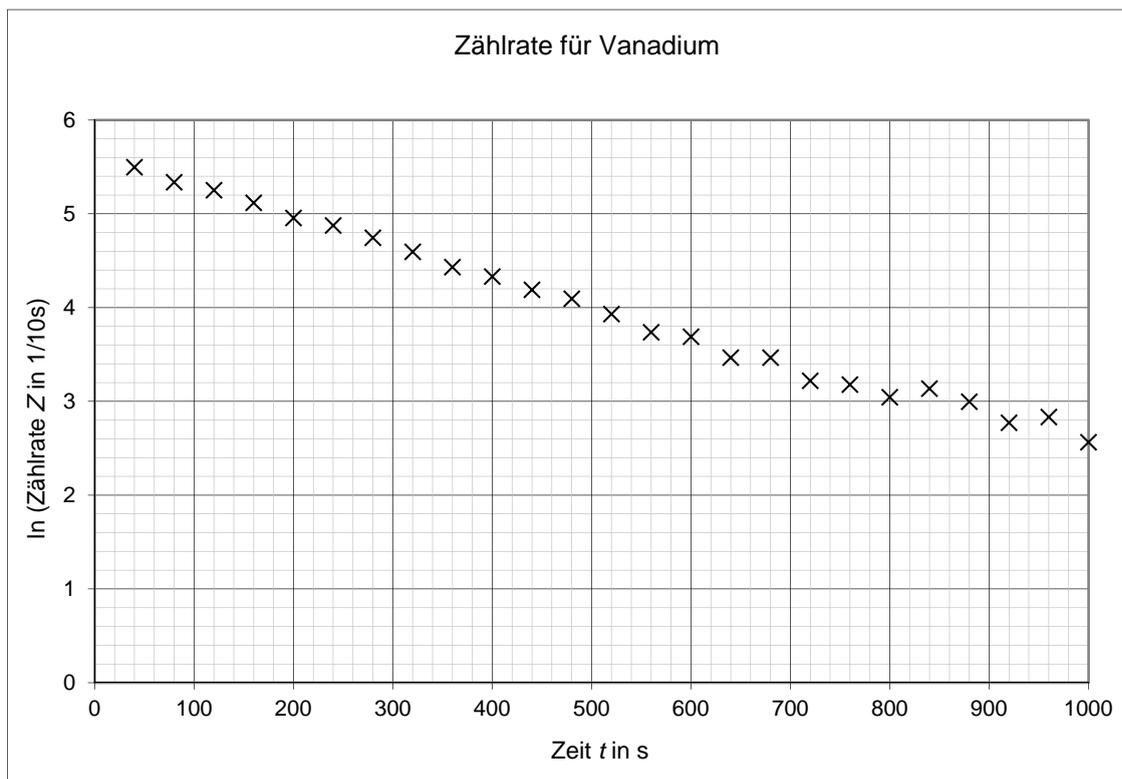


Abbildung 2: Logarithmische Darstellung der Zählraten für das aktivierte Vanadiumisotop

Begründen Sie mathematisch, warum sich bei dieser Darstellung als Ausgleichskurve in guter Näherung eine Gerade ergibt.

Begründen Sie zusätzlich die Streuung der Messwerte um diese Ausgleichsgerade.

(22 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3: Der Zerfall der zwei radioaktiven Silberisotope

Abbildung 3 zeigt für das Gemisch der beiden aktivierten Silberisotope die natürlichen Logarithmen der bereits um den Nulleffekt bereinigten gemessenen zeitabhängigen Zählraten.

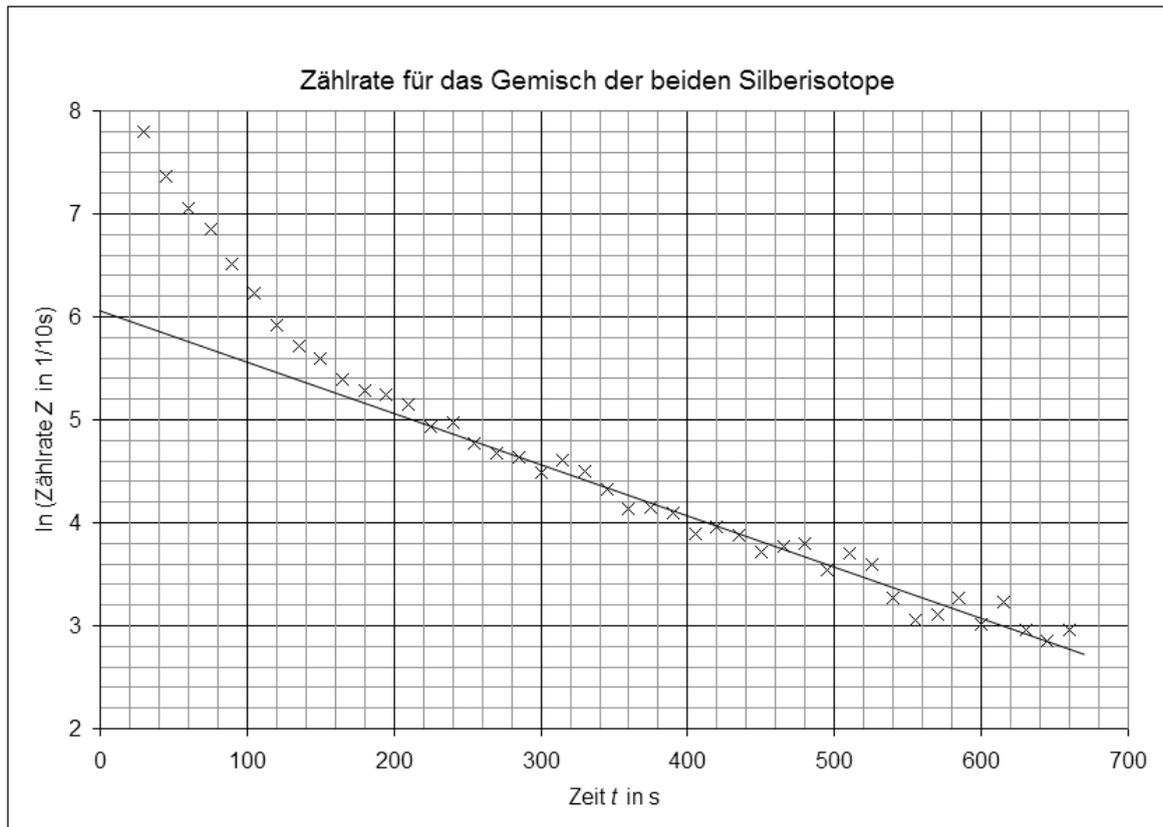


Abbildung 3: Logarithmische Darstellung der Zählrate für das Gemisch der beiden Silberisotope

Abbildung 3 zeigt, dass der Kurvenverlauf ab ca. $t = 200$ s annähernd geradlinig verläuft. Für diesen Bereich wurde die beste Gerade bereits ermittelt und zu kleinen Zeiten hin extrapoliert.

- Ordnen Sie die Silberisotope (in Bezug auf ihre Lang- bzw. Kurzlebigkeit) den Kurvenabschnitten zu.
- Erläutern Sie anhand des Kurvenverlaufs in Abbildung 3, warum nach ca. $3\frac{1}{2}$ Minuten praktisch nur noch eines der beiden Silberisotope vorhanden ist.



Name: _____

- c) Berechnen Sie für $t = 60\text{ s}$ und für $t = 135\text{ s}$ mit Hilfe der in Abbildung 3 ablesbaren Ordinatenwerte die beiden in der folgenden Tabelle noch fehlenden Gesamtzählraten für das Isotopengemisch sowie für die beiden zum langlebigen und zum kurzlebigen Isotop gehörenden Zählraten.

Tabelle: Zählraten in Abhängigkeit von der Zeit

Zeit in s	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210
Gesamtzählrate in 1/10 s	2451	1576		952	677	511	378		274	227	205	195	178
Zählrate für das langlebige Isotop in 1/10 s	361	336		290	269	250	232		201	186	173	161	150
Zählrate für das kurzlebige Isotop in 1/10 s	2090	1240		662	408	261	146		73	41	32	34	28

- d) Zeichnen Sie die Logarithmen aller zum kurzlebigen Isotop gehörenden Zählraten (aus der Tabelle) in das Diagramm in Abbildung 3 ein.
- e) Bestimmen Sie anhand des vervollständigten Diagramms in Abbildung 3 die Halbwertszeiten der beiden Silberisotope.

(20 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4: Der Vorgang der Aktivierung der Atome der Ausgangsisotope

Die Neutronenquelle liefert pro Zeiteinheit eine konstante Anzahl M Neutronen, von denen ein praktisch konstanter Prozentsatz μ Atome der Ausgangsisotope aktiviert. Mit $N(t)$ werde die Zahl der aktivierten Atome als Funktion der Zeit bezeichnet.

- a) Bereits mit dem Beginn der Bestrahlungszeit zerfallen erzeugte radioaktive Atome des Folgeisotops gemäß ihrer Zerfallskonstanten λ .

Begründen Sie damit die Gültigkeit der Gleichung $\dot{N}(t) = +\mu \cdot M - \lambda \cdot N(t)$ für den gesamten Zeitraum der Bestrahlung.

- b) Erläutern Sie, unter welcher Bedingung der Prozentsatz μ als praktisch konstant angenommen werden darf.

- c) Zeigen Sie, dass $N(t) = \frac{\mu}{\lambda} \cdot M \cdot (1 - e^{-\lambda t})$ eine Lösung der Differentialgleichung aus Aufgabenteil a) ist.

- d) Abbildung 4 stellt den zeitlichen Verlauf der Funktion $N(t)$ grafisch dar.

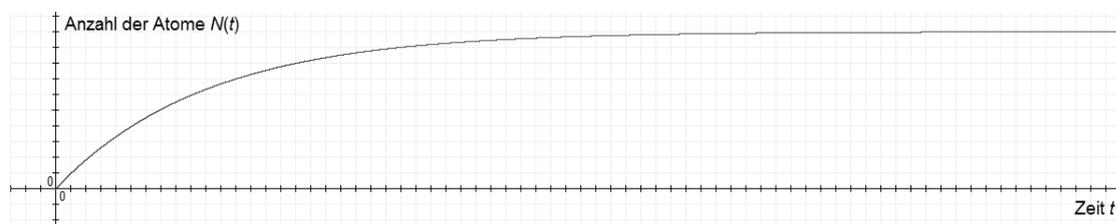


Abbildung 4: Skizzierte grafische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der oben genannten Funktion $N(t)$.

Interpretieren Sie den Kurvenverlauf.

- e) Begründen Sie qualitativ, welches der beiden radioaktiven Silberisotope (bei einer hinreichend langen Aktivierungszeit) schneller einem „Gleichgewichtszustand“ näherkommt.

(15 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2013

Physik, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Aufgabe: Anregung von Vanadium und Silber durch Neutronen (65 Punkte)

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

3. Materialgrundlage

- entfällt

4. Bezüge zu den Vorgaben 2013

1. *Inhaltliche Schwerpunkte*

- Atom- und Kernphysik
 - Radioaktiver Zerfall (Halbwertszeitmessung, Reichweite von Gammastrahlung, Absorption von Gammastrahlung)

2. *Medien/Materialien*

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

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

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

6.1 Modelllösungen

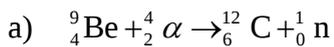
Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modelllösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

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

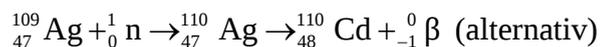
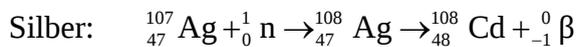
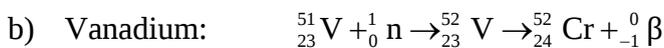
Modelllösungen Aufgabe: Anregung von Vanadium und Silber durch Neutronen

Teilaufgabe 1: Die Aktivierung von Vanadium und Silber mit Hilfe einer Neutronenquelle



Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Ggf. abweichende, im Unterricht verwendete Notationen sind ebenso zulässig.

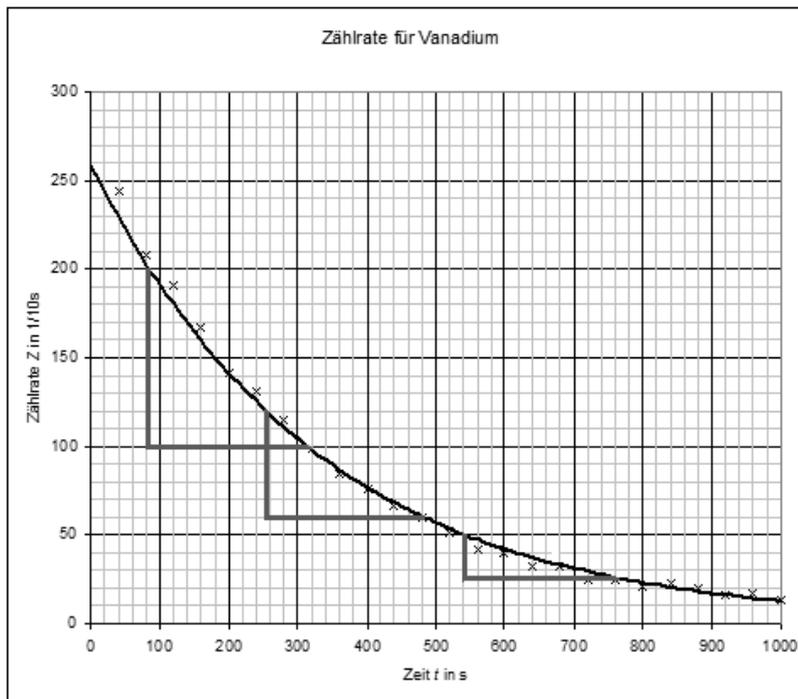


Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Ggf. abweichende, im Unterricht verwendete Notationen sind ebenso zulässig.
Neutrinos brauchen nicht genannt zu werden.

Teilaufgabe 2: Der Zerfall des radioaktiven Vanadiumisotops

a)



Die drei exemplarisch in der vorstehenden Abbildung eingezeichneten Zeitspannen für jeweilige Halbierung der Zählraten sind praktisch gleich groß. Man erhält aus ihnen:

$$T_{1/2V} \approx 225 \text{ s.}$$

[Zur Information: Literaturwert $T_{1/2V} = 3,743 \text{ min} \approx 225 \text{ s}$]

b) Begründung des Vorgehens:

Die Halbwertszeit eines radioaktiven Isotops kann in einer $N(t)$ - bzw. in einer $\dot{N}(t)$ -Kurve ermittelt werden (da beide Größen proportional zueinander sind: $\dot{N}(t) \sim N(t)$). Da die von einem Detektor registrierte Zählrate $Z(t)$ – als ein fester Bruchteil der Aktivität – proportional zur Aktivität $A(t)$ ist, ist die Halbwertszeit für die Zählrate gleich der Halbwertszeit des Vanadiums.

c) Definitionsgemäß versteht man unter der Halbwertszeit diejenige Zeit, die vergeht, bis (beginnend bei einem beliebigen Zeitpunkt) nur noch die Hälfte des ursprünglich vorhandenen Isotops eines Stoffes vorhanden ist. Es ist also diejenige Zeitspanne $T_{1/2}$ zu

$$\text{berechnen, für die gilt: } N(t + T_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot N(t).$$

Da $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ ist, ergibt sich:

$$N(t + T_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda(t+T_{1/2})} = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \cdot e^{-\lambda T_{1/2}} = N(t) \cdot e^{-\lambda T_{1/2}}.$$

Mit $N(t + T_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot N(t)$ folgt: $\frac{1}{2} \cdot N(t) = N(t) \cdot e^{-\lambda T_{1/2}}$, also $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$, woraus sich

$$-\lambda \cdot T_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right) \text{ bzw. } T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \text{ ergibt.}$$

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Es genügt für das Erreichen der vollen Punktzahl, wenn der Prüfling bei der Ermittlung der Gleichung $T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ von $t = 0$, also vom Ansatz $N(T_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot N(0)$ ausgeht.

- d) Bedeutung der Konstanten λ : λ gibt als Zerfallskonstante denjenigen Anteil an, der von einer gegebenen Stoffmenge innerhalb der nächsten Zeiteinheit zerfällt.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die physikalische Interpretation als Zerfallswahrscheinlichkeit wird nicht explizit verlangt.

Für Vanadium erhält man mit dem oben ermittelten Wert $T_{1/2V} \approx 225$ s:

$$\lambda_V = \frac{\ln(2)}{T_{1/2V}} \approx 0,0031 \frac{1}{s}.$$

- e) Begründung der linearen Ausgleichskurve:

Abbildung 2 entsteht, indem man die natürlichen Logarithmen (prinzipiell auch möglich: die Logarithmen zu einer beliebigen Basis) der Zahlenwerte der Zählraten gegen die Zeit aufträgt.

Es ist $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$, also ist

$\ln(N(t)) = \ln(N_0 \cdot e^{-\lambda t}) = \ln(N_0) + \ln(e^{-\lambda t}) = \ln(N_0) - \lambda \cdot t$. Es liegt daher ein linearer Zusammenhang zwischen $\ln(N(t))$ und t vor, also im Graphen eine Gerade.

Begründung der Streuung:

Die Streuung der real gemessenen Zählraten ist dadurch bedingt, dass es sich beim radioaktiven Zerfall um einen Zufallsprozess handelt.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die alleinige Begründung der Streuung mit der „Ungenauigkeit“ von Messwerten genügt nicht den Anforderungen.

Teilaufgabe 3: Der Zerfall der zwei radioaktiven Silberisotope

- a) Kurvenabschnitt von 0 s bis ca. 180 s: Beide Silberisotope sind erkennbar vorhanden.
 Kurvenabschnitt ab ca. 180 s: Nur noch das langlebige Silberisotop ist vorhanden, das kurzlebige ist offenbar bereits (fast) vollständig zerfallen.

- b) Für Zeiten nach ungefähr 200 s zeigt die Kurve, in der die Logarithmen der Zählratenwerte aufgetragen sind, einen geradlinigen Verlauf. Also liegt dort eine rein exponentielle Abnahme vor, woraus man auf den Zerfall eines alleinigen radioaktiven Isotops schließen kann.

Denn läge dort noch der voneinander unabhängige Zerfall zweier Isotope vor, wäre der Logarithmus der dann relevanten Summe nicht linear:

$$\begin{aligned} \ln(N_{0A} \cdot e^{-\lambda_1 t} + N_{0B} \cdot e^{-\lambda_2 t}) &\neq \ln(N_{0A} \cdot e^{-\lambda_1 t}) + \ln(N_{0B} \cdot e^{-\lambda_2 t}) \\ &= \ln(N_{0A}) + \ln(N_{0B}) - \lambda_1 \cdot t - \lambda_2 \cdot t = a - c \cdot t \end{aligned}$$

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die letztgenannte formale Begründung wird vom Prüfling nicht explizit verlangt.

- c) Für das *Isotopengemisch*:

Ablesung für Gesamtzählrate bei $t = 60$ s :

$$\ln(Z_{t=60\text{s}}) \approx 7,05, \text{ also } Z_{t=60\text{s}} \approx e^{7,05} \approx 1153 \text{ (Originalmesswert: 1166)}$$

Ablesung für Gesamtzählrate bei $t = 135$ s :

$$\ln(Z_{t=135\text{s}}) \approx 5,7, \text{ also } Z_{t=135\text{s}} \approx e^{5,7} \approx 299 \text{ (Originalmesswert: 309)}$$

Für das *langlebige Isotop*:

Ablesung für Zählrate für das langlebige Isotop bei $t = 60$ s :

$$\ln(Z_{\text{lang } t=60\text{s}}) \approx 5,75, \text{ also } Z_{t=60\text{s}} \approx e^{5,75} \approx 314$$

Ablesung für Zählrate für das langlebige Isotop bei $t = 135$ s :

$$\ln(Z_{\text{lang } t=135\text{s}}) \approx 5,35, \text{ also } Z_{t=135\text{s}} \approx e^{5,35} \approx 211$$

Für das *kurzlebige Isotop*:

Zählrate für das kurzlebige Isotop bei $t = 60$ s :

$$Z_{\text{kurz } t=60\text{s}} = Z_{t=60\text{s}} - Z_{\text{lang } t=60\text{s}} \approx 1153 - 314 = 839$$

Zählrate für das kurzlebige Isotop bei $t = 135$ s :

$$Z_{\text{kurz } t=135\text{s}} = Z_{t=135\text{s}} - Z_{\text{lang } t=135\text{s}} \approx 299 - 211 = 88$$

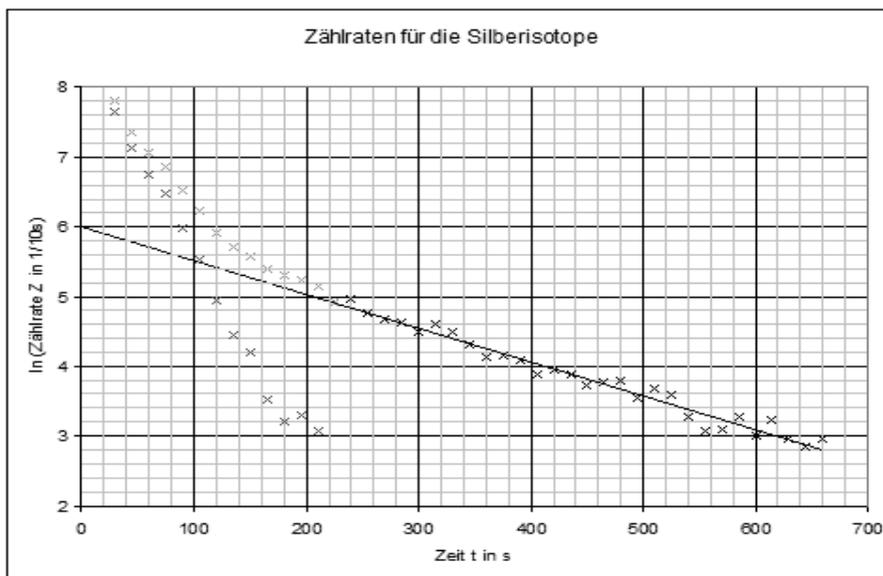
Die vervollständigte Tabelle lautet:

Zeit in s	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210
Gesamtzählrate in 1/10 s	2451	1576	1153	952	677	511	378	299	274	227	205	195	178
Zählrate für das langlebige Isotop in 1/10 s	361	336	314	290	269	250	232	211	201	186	173	161	150
Zählrate für das kurzlebige Isotop in 1/10 s	2090	1240	839	662	408	261	146	88	73	41	32	34	28

Hinweise für die korrigierende Lehrkraft:

- Es genügt, wenn die Prüflinge die Rechnungen mit den reinen Zahlenwerten ausführen.
- Es sind angemessen große Abweichungen von den o. g. Werten wegen der aus den Ableseungenauigkeiten folgenden Schwankungen (Exponentiation) zuzulassen.

d) Die nachfolgende Abbildung zeigt die eingetragenen Werte:

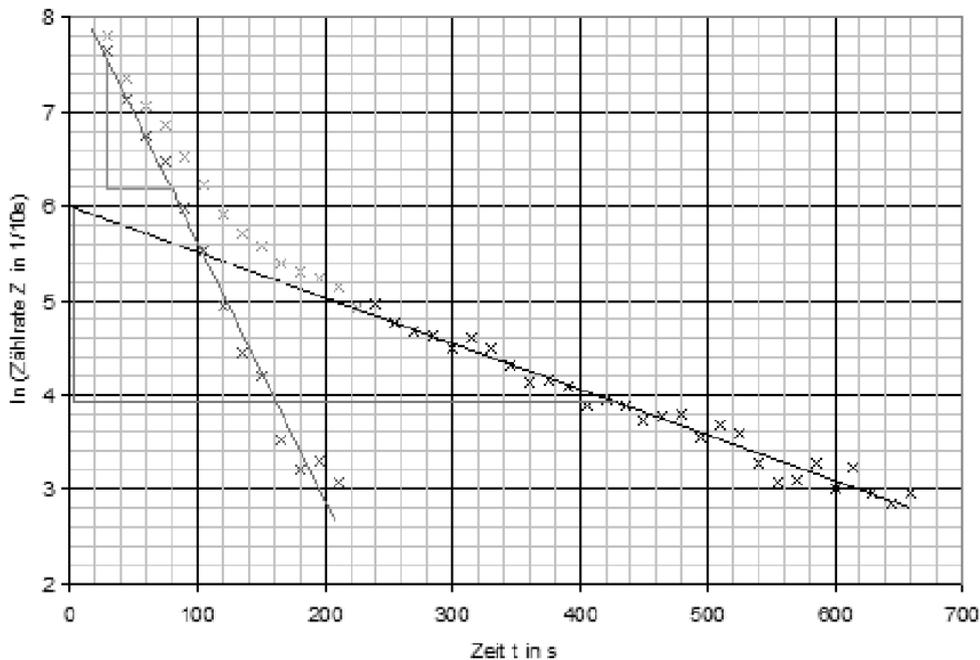


Hinweise für die korrigierende Lehrkraft:

- Hier sind Abweichungen der Prüflinge in angemessener Weise zuzulassen. (Die in der Tabelle genannten Werte sind u. a. anhand der rechnerischen Ermittlung der besten Geraden berechnet worden.)
- Hat ein Prüfling in Aufgabenteil c) die Zählrate für das kurzlebige Isotop nicht bestimmt, so ist dennoch die angemessene Punktzahl zuzuerkennen, wenn er anhand der in der Tabelle gegebenen Werte die Zählraten für das kurzlebige Isotop einträgt.

e) Hilfsweise Eintragung der sich ergebenden Geraden für das kurzlebige Silberisotop:

Zählraten für die Silberisotope



Unter Ausnutzung der im vorstehenden Diagramm eingetragenen Ausgleichsgeraden für das kurzlebige und das langlebige Silberisotop erhält man als Halbwertszeiten:

Für das kurzlebige Silberisotop:

Abnahme für (beispielsweise) zwei Halbwertszeiten von $N = 2000$ auf $N = 500$, also von $7,6 \approx \ln(2000)$ auf $6,2 \approx \ln(500)$ (s. eingezeichnetes „kleines“ Steigungsdreieck):

$$2 \cdot T_{1/2 \text{ Ag kurz}} (N = 2000 \text{ auf } N = 500) \approx 80 \text{ s} - 30 \text{ s} = 50 \text{ s}, \text{ also } T_{1/2 \text{ Ag kurz}} \approx 25 \text{ s}.$$

[Zur Information: Literaturwert $T_{1/2}^{110\text{Ag}} = 24,6 \text{ s}$]

Für das langlebige Silberisotop:

Abnahme für (beispielsweise) drei Halbwertszeiten von $N = 400$ auf $N = 50$, also von $6,0 \approx \ln(400)$ auf $3,9 \approx \ln(50)$ (siehe eingezeichnetes „großes“ Steigungsdreieck):

$$3 \cdot T_{1/2 \text{ Ag lang}} (N = 400 \text{ auf } N = 50) \approx 425 \text{ s} - 5 \text{ s} = 420 \text{ s}, \text{ also } T_{1/2 \text{ Ag lang}} \approx 140 \text{ s}.$$

[Zur Information: Literaturwert $T_{1/2}^{108\text{Ag}} = 2,37 \text{ min} \approx 142 \text{ s}$]

Hinweise für die korrigierende Lehrkraft:

- Andere richtige Auswertungsmethoden, die das vervollständigte Diagramm berücksichtigen, sind ebenso zu akzeptieren.
- Hat ein Prüfling in Aufgabenteil c) die Zählrate für das kurzlebige Isotop nicht bestimmt, so ist dennoch die angemessene Punktzahl zuzuerkennen, wenn er anhand der in der Tabelle gegebenen Werte die Halbwertszeit für das kurzlebige Isotop bestimmt.

Teilaufgabe 4: Der Vorgang der Aktivierung der Atome der Ausgangsisotope

a) Der zeitlich konstanten Zunahmerate der aktivierten Atome $\dot{N}_{\text{Zunahme}}(t) = +\mu \cdot M$ wirkt die von ihrer Anzahl abhängige Abnahmerate $\dot{N}_{\text{Abnahme}}(t) = -\lambda \cdot N(t)$ infolge radioaktiven Zerfalls entgegen, was durch die benannte Differenz $\dot{N}(t) = +\mu \cdot M - \lambda \cdot N(t)$ ausgedrückt wird.

b) Der Prozentsatz μ ist dann praktisch konstant, wenn für den konstanten Neutronenfluss (M Neutronen pro Zeiteinheit) praktisch immer dieselbe Anzahl von aktivierbaren Atomen des Ausgangsisotops zur Verfügung steht. D. h.: Die Anzahl der bereits aktivierten Atome des Ausgangsisotops muss im Vergleich zur Gesamtzahl der aktivierbaren Atome des Ausgangsisotops verschwindend gering sein/bleiben.

c) Gegeben ist: $N(t) = \frac{\mu}{\lambda} \cdot M \cdot (1 - e^{-\lambda t})$. Für die zeitliche Ableitung ergibt sich:

$$\dot{N}(t) = \mu \cdot M \cdot e^{-\lambda t}.$$

Man erhält dann:

$$+\mu \cdot M - \lambda \cdot N(t) = +\mu \cdot M - \lambda \cdot \frac{\mu}{\lambda} \cdot M \cdot (1 - e^{-\lambda t}) = +\mu \cdot M - \mu \cdot M \cdot (1 - e^{-\lambda t}) = +\mu \cdot M \cdot e^{-\lambda t} = \dot{N}(t),$$

also die angegebene Differentialgleichung $\dot{N}(t) = +\mu \cdot M - \lambda \cdot N(t)$.

d) Interpretation des Kurvenverlaufs:

Anfangs sind überhaupt keine aktivierten Silberatome vorhanden. Nach dem Beginn der Bestrahlung nimmt ihre Anzahl zu, strebt aber einem endlichen Sättigungswert zu.

e) Das Silberisotop mit der kleineren Halbwertszeit (also mit der größeren Zerfallskonstanten) kommt (bei einer hinreichend langen Aktivierungszeit) schneller einem „Gleichgewichtszustand“ entgegen.

Qualitative Begründung: Je kleiner die Halbwertszeit, desto schneller macht sich der Zerfall der aktivierten Kerne gegenüber der zeitlich konstanten Neubildung durch den Neutronenbeschuss bemerkbar. Oder andersherum: Wenn die Halbwertszeit sehr groß wäre, dann würden zunächst über einen großen Zeitraum immer mehr aktivierte Kerne entstehen, bis sich erst später deren Zerfall anteilmäßig signifikant bemerkbar machen würde.

Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Auch eine Argumentation über den Einfluss von λ in der im Aufgabenteil c) gegebenen Gleichung ist zugelassen.

6.2 Teilleistungen – Kriterien

Aufgabe: Anregung von Vanadium und Silber durch Neutronen

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	gibt die Kernumwandlungsgleichung für den Be-Kern an.	2
b1)	gibt die Kernumwandlungsgleichung für Vanadium an.	3
b2)	gibt die Kernumwandlungsgleichung für eines der Silberisotope an.	3

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	zeichnet eine Ausgleichskurve ein und ermittelt die Halbwertszeit für die Zählrate.	4
b)	begründet die Gleichheit der Halbwertszeiten.	3
c)	leitet die Gleichung $T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ für die Halbwertszeit her.	4
d1)	gibt die Bedeutung der Konstanten λ an.	2
d2)	ermittelt den Wert der Konstanten λ für Vanadium.	3
e1)	begründet mathematisch, warum sich bei der Darstellung als Ausgleichskurve eine Gerade ergibt.	4
e2)	begründet die Streuung der Messwerte.	2

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	ordnet die Silberisotope den Kurvenabschnitten zu.	3
b)	erläutert anhand des Kurvenverlaufs, inwiefern nach ca. 3½ Minuten praktisch nur noch das langlebige Silberisotop vorhanden ist.	3
c1)	berechnet die beiden fehlenden Gesamtzählraten für das Isotopengemisch.	3
c2)	berechnet die beiden fehlenden Zählraten für das langlebige Isotop.	3
c3)	berechnet die beiden fehlenden Zählraten für das kurzlebige Isotop.	2
d)	zeichnet die Logarithmen der ermittelten Zählraten zum kurzlebigen Isotop in das Diagramm ein.	2
e)	bestimmt die Halbwertszeiten der beiden Silberisotope.	4

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
a)	begründet die Gültigkeit der Gleichung $\dot{N}(t) = +\mu \cdot M - \lambda \cdot N(t)$.	4
b)	erläutert die Bedingung für die Konstanz des Prozentsatzes μ .	2
c)	zeigt, dass $N(t) = \frac{\mu}{\lambda} \cdot M \cdot (1 - e^{-\lambda t})$ die Differentialgleichung löst.	3
d)	interpretiert den zeitlichen Verlauf von $N(t)$.	3
e)	begründet qualitativ, welches der beiden Silberisotope schneller einem „Gleichgewichtszustand“ näherkommt.	3

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Aufgabe: Anregung von Vanadium und Silber durch Neutronen**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	gibt die Kernumwandlungsgleichung ...	2			
b1)	gibt die Kernumwandlungsgleichung ...	3			
b2)	gibt die Kernumwandlungsgleichung ...	3			
	Summe Teilaufgabe 1	8			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	zeichnet eine Ausgleichskurve ...	4			
b)	begründet die Gleichheit ...	3			
c)	leitet die Gleichung ...	4			
d1)	gibt die Bedeutung ...	2			
d2)	ermittelt den Wert ...	3			
c1)	begründet mathematisch, warum ...	4			
c2)	begründet die Streuung ...	2			
	Summe Teilaufgabe 2	22			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	ordnet die Silberisotope ...	3			
b)	erläutert anhand des ...	3			
c1)	berechnet die beiden ...	3			
c2)	berechnet die beiden ...	3			
c3)	berechnet die beiden ...	2			
d)	zeichnet die Logarithmen ...	2			
e)	bestimmt die Halbwertszeiten ...	4			
	Summe Teilaufgabe 3	20			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
a)	begründet die Gültigkeit ...	4			
b)	erläutert die Bedingung ...	2			
c)	zeigt, dass $N(t) = \frac{\mu}{\lambda} \cdot M \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \dots$	3			
d)	interpretiert den zeitlichen ...	3			
e)	begründet qualitativ, welches ...	3			
	Summe Teilaufgabe 4	15			

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

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

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

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

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

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

Unterschrift, Datum

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

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

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