

Zentralabitur 2016

Physik Leistungskurs

Aufgaben Erwartungshorizonte



Zentralabitur 2016

Physik Leistungskurs

Aufgaben Erwartungshorizonte

Zentrale schriftliche Abiturprüfung

2016

Physik
Leistungskurs

Aufgabenstellung A

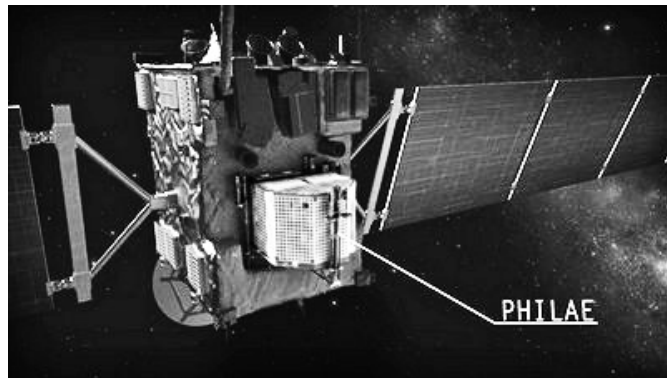
für Prüflinge

Inhalt:	Gravitation
Titel:	Rosetta und Philae: Landung auf einem Kometen
Aufgabenart:	Aufgabe mit Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	270 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Rosetta und Philae: Landung auf einem Kometen

Philae ist der erste und bisher einzige von Menschen gebaute Apparat, der weich auf einem Kometen landete. Die Reise von der Erde bis zum Ziel dauerte mehr als 10 Jahre. Am 2. März 2004 startete die europäische Sonde Rosetta, um den Landeapparat Philae zu dem Kometen 67P/Tschurjumow-Gerassimenko zu transportieren.

In der folgenden Aufgabe werden die Probleme der Landung auf dem Kometen und die Realisierung der Energieversorgung der Sonde Rosetta näher untersucht.



*Abbildung 1:
Sonde Rosetta mit dem Landeapparat Philae
und Solarzellen*

Aufgaben:**BE**

- 1** Berechnen Sie die Gravitationskraft zwischen dem Kometen und der Sonde Rosetta am 12. November 2014. **9**

Erläutern Sie unter Verwendung des Feldlinienbildes Eigenschaften eines radialen Gravitationsfeldes.
- 2** Leiten Sie die Gleichung zur Berechnung der Umlaufzeit eines Satelliten auf einer Kreisbahn um einen Himmelskörper her. **11**

Bestimmen Sie für die Bewegung der Sonde Rosetta um den Kometen am 12. November 2014 Umlaufzeit und Bahngeschwindigkeit.
- 3** Überprüfen Sie mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes die angegebene Geschwindigkeit, mit der Philae auf der Kometenoberfläche auftraf. **16**

Schätzen Sie durch eine Berechnung die Fluchtgeschwindigkeit für eine Sonde von der Oberfläche des Kometen ab.

Begründen Sie, dass die geplanten Sicherungsmaßnahmen für die Landung von Philae auf dem Kometen notwendig waren.
- 4** Begründen Sie, dass für die Beschreibung des Gravitationsfeldes in der näheren Umgebung des Kometen das Modell Radialfeld ungeeignet ist. **8**

Erklären Sie, warum an der in der Abbildung 2 markierten Stelle A Philae stärker vom Kometen angezogen wird als an der Stelle B.
- 5** Berechnen Sie, wie groß die elektrische Leistung der Solarzellen von Rosetta im November 2014 war. **6**

Materialien

Material 1: Modell Radialfeld für das Gravitationsfeld des Kometen

Für die mathematische Beschreibung und die Berechnung der Bewegungen der Raumsonde Rosetta und des Landeapparates Philae um den Kometen Tschurjumow-Gerassimenko wird näherungsweise angenommen, dass der Komet kugelförmig ist und dass das Gravitationsfeld ein Radialfeld ist. Mit diesem Modell kann man ausreichend genaue Daten ermitteln, um die Probleme bei der Landung von Philae zu verdeutlichen.

Material 2: Die Landung von Philae auf dem Kometen

Nach über zehn Jahren war es am 12. November 2014 endlich soweit: Die Sonde Rosetta befand sich auf einer annähernden Kreisbahn um den Kometen mit dem Radius 22,5 km. Um 9.35 Uhr MEZ wurde der Landeapparat Philae von Rosetta weg in Richtung Komet gedrückt.

Die Anfangsgeschwindigkeit von Philae betrug etwa $70 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Beim Fallen von Philae zum Kometen wurde potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Dadurch erhöhte sich bis zum Auftreffen auf dem Kometen die Geschwindigkeit der Landesonde auf etwa $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Um zu

verhindern, dass Philae bei der Landung vom Kometen wieder abprallt und zurück in den Weltraum geschleudert wird, waren verschiedene Sicherungsmaßnahmen geplant. So wurde z. B. versucht beim Aufprall Harpunen abzuschießen, die sich in den Grund bohren sollten, um den Landeapparat mittels Eisschrauben am Kometen festzuhalten. Diese Sicherungsmaßnahmen haben jedoch nicht funktioniert. Beinahe wäre der Landeapparat verloren gewesen. Philae hüpfte einige Male und landete schließlich doch. In den folgenden zwei Tagen übermittelte die Landesonde erfolgreich zahlreiche Messwerte.

Material 3: Modell Hantel für das Gravitationsfeld des Kometen

Für die Auswahl des Landeplatzes an der Oberfläche des Kometen musste unter anderem die Form des Kometen berücksichtigt werden. Eine gute Näherung ist die Annahme, dass der Komet die Form einer Hantel aus zwei ungleich großen Kugeln hat.

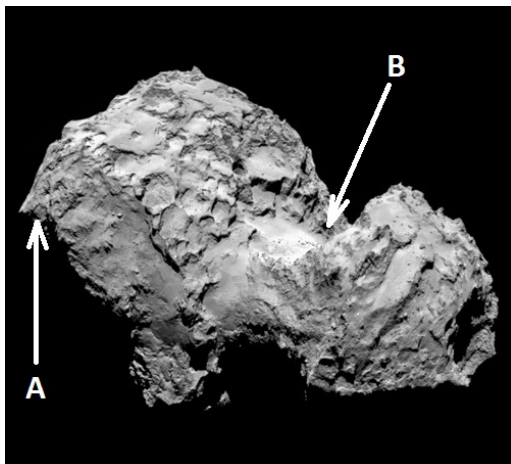


Abbildung 2:
Mögliche Landeplätze auf dem Kometen
Tschurjumow-Gerassimenko

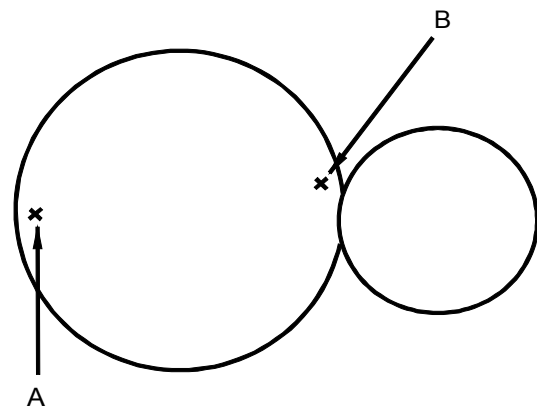


Abbildung 3:
Darstellung der möglichen Landeplätze im
Modell Hantel für den Kometen

Material 4: Energieversorgung durch Solarzellen

Das Aufrechterhalten des Funkkontaktes und das Betreiben der Messinstrumente erfordern Energie. Rosettas Bordnetz wird von Solarzellen mit einer Gesamtfläche von 64 m² gespeist. Die Energieausbeute der senkrecht zur Sonne ausgerichteten Solarzellen ist davon abhängig, wie weit Rosetta von der Sonne entfernt ist. Die Leistung ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung von der Sonne. Im November betrug der Abstand zur Sonne etwa 3,4 AE. In einer Entfernung von 1 AE zur Sonne auf der Erdumlaufbahn zu Beginn der Mission erzeugten die verwendeten Solarzellen eine elektrische Leistung von etwa 9800 W.

Material 5: Daten

Masse des Kometen		1,0 · 10 ¹³ kg
Abmessungen des Kometen	<ul style="list-style-type: none"> • mittlerer Radius • größte Ausdehnung 	2 km 4 km
Radius der Kreisbahn von Rosetta zu Beginn des Landemanövers von Philae		22,5 km
Masse der Sonde Rosetta		3000 kg
Masse des Landeapparates Philae		100 kg
Astronomische Einheit: 1 AE (mittlerer Abstand Sonne-Erde)		1 AE = 149,6 · 10 ⁶ km

Material 6: Wichtige Gleichungen

Alle Gleichungen gelten unter der Annahme, dass das Gravitationsfeld eines Himmelskörpers ein Radialfeld ist.

Potentielle Energie	$E_{pot} = -G \cdot \frac{m \cdot m_{HK}}{r}$	<i>E_{pot}</i> potentielle Energie <i>m</i> Masse des Probekörpers im Feld des Himmelskörpers
Umlaufzeit des Satelliten	$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{r^3}{G \cdot m_{HK}}}$	<i>m_{HK}</i> Masse des Himmelskörpers <i>r</i> Abstand der Massenmittelpunkte <i>T</i> Umlaufzeit
Fluchtgeschwindigkeit (2. kosmische Geschwindigkeit)	$v_{Flucht} = \sqrt{2 \cdot \frac{G \cdot m_{HK}}{r}}$	<i>v_{Flucht}</i> Fluchtgeschwindigkeit <i>G</i> Gravitationskonstante $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg \cdot s^2}$

Quellen:

- 1 Die Rosetta-Kometenmission im Überblick. http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Die_Rosetta-Kometenmission_im_Ueberblick (20.12.2015)
- 2 Tschurjumow-Gerassimenko. <http://de.wikipedia.org/wiki/Tschurjumow-Gerassimenko> (20.12.2015)
- 3 Abbildung 1: http://www.pro-physik.de//SpringboardWebApp/userfiles/prophy/image/140328_RosettaPhilae_DLR_400.jpg (20.12.2015)
- 4 Rosetta. [http://de.wikipedia.org/wiki/Rosetta_\(Sonde\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Rosetta_(Sonde)) (20.12.2015)
- 5 Olaf Fischer: Landung auf einem Kometenkern – etwas Schulphysik. <http://www.wissenschaft-schulen.de/sixcms/media.php/1308/WIS-2014-11MSOS-Philae.pdf.pdf> (20.12.2015)

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2016

Physik

Leistungskurs

Erwartungshorizont A
für Lehrkräfte

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Aufgabenart: Aufgabe mit Materialien

Hilfsmittel: Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Titel: Rosetta und Philae: Landung auf einem Kometen

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
1	<p><i>Kompetenzen: Wiedergeben von einfachen Begriffen und Zusammenhängen sowie deren Erläuterung (Fachkenntnisse), Entnehmen von Informationen aus einfachen Texten, Berechnen von Größen aus Formeln (Fachmethoden)</i></p> <p>Entnehmen der Größen aus dem Material und Anwendung des Gravitationsgesetzes: $F_{\text{Komet - Rosetta}} \approx 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ N}$</p> <p>Darstellung Radialfeld mit Feldlinien Erläuterung der Eigenschaften eines radialen Gravitationsfeldes auf der Grundlage des Feldlinienbildes</p>	4		
2	<p><i>Kompetenzen: Begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines einfachen physikalischen Sachverhaltes (Fachmethoden), Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln (Fachkenntnisse)</i></p> <p>Die Gravitationskraft wirkt als Zentripetalkraft. Dadurch ergibt sich der Ansatz: $\frac{m \cdot v^2}{r} = G \cdot \frac{m \cdot m_{\text{HK}}}{r^2}$, wobei $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$.</p> <p>Umformungen liefern die angegebene Gleichung.</p>		6	

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
	<p>Einsetzen der gegebenen Werte:</p> $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{(22,5 \cdot 10^3 \text{ m})^3}{6,673 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot 10^{13} \text{ kg}}} \approx 821000 \text{ s} \approx 228 \text{ h}$ <p>Mit $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ ergibt sich daraus die Bahngeschwindigkeit.</p> $v = \frac{2\pi \cdot 22,5 \cdot 10^3 \text{ m}}{821000 \text{ s}} \approx 0,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	5		
3	<p><i>Kompetenzen: Mathematisches Beschreiben physikalischer Phänomene (Fachmethoden), Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik (Reflexion)</i></p> <p>Energie beim Auftreffen ist gleich der Energie beim Start.</p> <p>Energie beim Auftreffen: $-G \cdot m_{\text{Komet}} \cdot m_{\text{Philae}} \cdot \frac{1}{r_{\text{Auft}}} + \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Philae}} \cdot v_{\text{Auft}}^2$</p> <p>Energie beim Start: $-G \cdot m_{\text{Komet}} \cdot m_{\text{Philae}} \cdot \frac{1}{r_{\text{Start}}} + \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Philae}} \cdot v_{\text{Start}}^2$</p> <p>Aufstellen und Umformen der Gleichung für die Energiebilanz:</p> $G \cdot m_{\text{Kern}} \cdot m_{\text{Philae}} \cdot \left(\frac{1}{r_{\text{Auft}}} - \frac{1}{r_{\text{Start}}} \right) + \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Phil}} \cdot v_{\text{Start}}^2 = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{Phil}} \cdot v_{\text{Auft}}^2$ <p>Daraus folgt: $v_{\text{Auft}} = \sqrt{2 \cdot G \cdot m_{\text{Kern}} \cdot \left(\frac{1}{r_{\text{Auft}}} - \frac{1}{r_{\text{Start}}} \right) + v_{\text{Start}}^2}$</p> $v_{\text{Auft}} = \sqrt{2 \cdot G \cdot 10^{13} \text{ kg} \cdot \left(\frac{1}{2000 \text{ m}} - \frac{1}{22500 \text{ m}} \right) + \left(0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}$ <p>$v_{\text{Auft}} \approx 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (Dies entspricht der Angabe im Material.)</p> <p>Abschätzung der Fluchtgeschwindigkeit:</p> $v_{\text{Flucht}} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot 10^{13} \text{ kg}}{2000 \text{ m}}} \approx 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ <p>Mögliche Begründung:</p> <p>Die Abschätzung der Fluchtgeschwindigkeit ergibt, dass die Auftreffgeschwindigkeit in derselben Größenordnung wie die Fluchtgeschwindigkeit liegt. Ohne Sicherungsmaßnahmen besteht die Gefahr, dass Philae nach dem Aufprall weit zurück gestoßen wird und vom Gravitationsfeld des Kometen nicht gehalten werden kann.</p>	3	9	4

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
4	<p><i>Kompetenzen: Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik (Reflexion), Adressatengerechtes Darstellen physikalischer Sachverhalte in verständlicher Form (Kommunikation)</i></p> <p>Mögliche Begründung: Der Komet besitzt eine ungleiche Massenverteilung. Die Überlagerung der Felder der Einzelmassen führt deshalb zu einem unregelmäßigen Gravitationsfeld. Dieses lässt sich mit dem Modell Radialfeld nicht beschreiben. Bei B kommt es zu einer Verkleinerung der resultierenden Feldstärke, da die Feldstärkevektoren entgegengesetzte Richtungen haben. An der Stelle A haben die Vektoren die gleiche Richtung. Deshalb wird die resultierende Feldstärke größer. Der Landeapparat wird stärker vom Kometen angezogen. Statt mit dem Begriff Feldstärke kann auch mit dem Begriff Kraft argumentiert werden.</p>		3	
5	<p><i>Kompetenzen: Begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines physikalischen Sachverhaltes (Fachmethoden)</i></p> <p>Aus $P \sim \frac{1}{r^2}$ ergibt sich die Verhältnisgleichung: $\frac{P_{1AE}}{P_{3,4AE}} = \frac{r_{3,4AE}^2}{r_{1AE}^2}$.</p> <p>Daraus folgt:</p> $P_{3,4AE} = \frac{P_{1AE} \cdot r_{1AE}^2}{r_{3,4AE}^2} = \frac{9800 \text{ W} \cdot 1 \text{ AE}^2}{(3,4 \text{ AE})^2} \approx 850 \text{ W}$			6
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	17	27	6
	prozentuale Zusammensetzung	34	54	12
	Summe der BE	50		

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2016

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung B
für Prüflinge

Inhalt:	Schwingkreis und Wechselstromwiderstände
Titel:	Ampelsteuerung durch Induktionsschleifen
Aufgabenart:	Aufgabe mit Schülerexperiment und Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	270 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Experimentiermaterial:	Pro Arbeitsplatz: Stromversorgungsgerät für Gleich- und Wechselspannungen (Frequenz 50 Hz) eine Spule (ohne Eisenkern) ein Spannungsmessgerät ein Stromstärkemessgerät Kabel in ausreichender Anzahl
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Ampelsteuerung durch Induktionsschleifen

Zur Steuerung von Ampeln im Straßenverkehr oder von Schranken in Parkhäusern werden häufig Induktionsschleifen verwendet. Mit Hilfe dieser Induktionsschleifen wird registriert, ob sich Fahrzeuge im Bereich einer Ampel oder einer Schranke befinden. Durch eine mit einem Steuergerät verbundene Induktionsschleife können Ampeln oder Schranken geschaltet werden.

Induktionsschleifen sind Spulen aus Kupferdraht mit nur wenigen Windungen, die in die Fahrbahn eingelassen werden.

In den folgenden Aufgaben wird den Fragen nachgegangen, wie Induktionsschleifen Fahrzeuge erkennen und wie es möglich ist, verschiedene Fahrzeugarten zu unterscheiden.

Aufgaben: **BE**

- 1** Berechnen Sie die Eigenfrequenz f_0 des Schwingkreises, der in der Induktionsschleife verwendet wird. **14**

Beschreiben Sie die Vorgänge in einem Schwingkreis ohne Berücksichtigung der Dämpfung für den Zeitraum einer halben Periode.

Gehen Sie dabei auch auf die Energieumwandlungen ein.

- 2** Berechnen Sie die Eigenfrequenz f_1 des Schwingkreises, wenn die Induktionsschleife von einem PKW überquert wird. **5**

- 3** Erklären Sie die unterschiedliche Verstimmung einer Induktionsschleife durch verschiedene Fahrzeugarten (Tabelle 1 im Material 3). **5**

- 4** Begründen Sie zwei Regeln, die beim Verlegen von Induktionsschleifen zu beachten sind (Material 4). **4**

5 Schülerexperiment – Bestimmen der Induktivität einer Spule **22**

Die Induktivität der in einer Induktionsschleife verwendeten Spule muss bekannt sein, um die Eigenfrequenz des Schwingkreises ermitteln zu können. Da es sich nicht um eine *lange* Spule handelt und der ohmsche Widerstand nicht vernachlässigt werden kann, sind Berechnungen schwierig.

Bestimmen Sie die Induktivität einer mit Luft gefüllten Spule mithilfe eines Schülerexperiments.

Ermitteln Sie hierfür den ohmschen Widerstand der Spule im Gleichstromkreis und ihren Scheinwiderstand im Wechselstromkreis (gesamter Wechselstromwiderstand).

Das Experiment beinhaltet:

- das Anfertigen eines Schaltplans und den Aufbau der Schaltung,
- die Aufnahme von jeweils einem Messwertpaar für die zum Berechnen der Widerstände notwendigen Größen,
- die erforderlichen Berechnungen,
- das Nennen von zwei Ursachen für mögliche Messfehler.

Sollten Sie keine verwertbaren Messergebnisse erhalten, können Sie Hilfen oder Ersatzmesswerte anfordern. Den nicht erbrachten Leistungen entsprechend werden Bewertungseinheiten abgezogen.

Materialien

Material 1: Grundprinzip

Eine Induktionsschleife besteht meist aus einem Kupferdraht, der in Schleifen wenige Zentimeter unter die Fahrbahn verlegt wird. Überquert ein metallisches Fahrzeug die als Spule anzusehende Induktionsschleife, verändert sich ihre Induktivität. Die Induktionsschleife ist mit einem Steuergerät verbunden, welches die Induktivitätsänderung registriert. Dies wird in dem Anwendungsbeispiel zur Steuerung einer Ampel genutzt, welches in Abbildung 1 dargestellt ist.

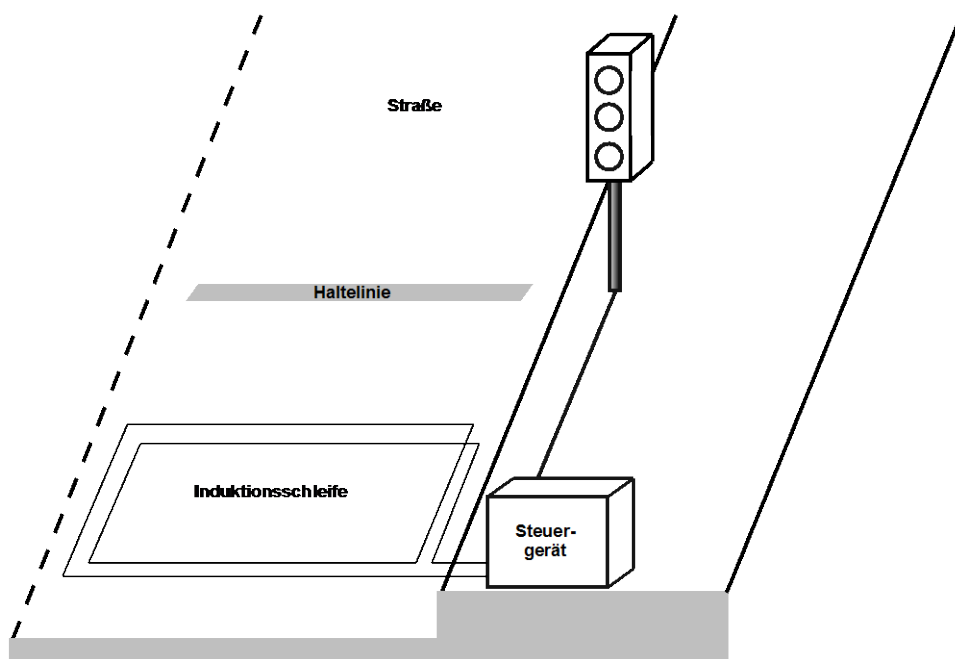


Abbildung 1: Induktionsschleife zum Steuern einer Ampelschaltung

Material 2: Daten der verwendeten Induktionsschleife

In der Variante, die am häufigsten Verwendung findet, enthält das Steuergerät einen Schwingkreis, zu dem die Induktionsschleife gehört.

Die Spule in der Induktionsschleife hat eine Ausgangsinduktivität von $300 \mu\text{H}$. Die Kapazität des Kondensators im Schwingkreis beträgt 55 nF .

Eigenfrequenz eines elektrischen Schwingkreises (ungedämpft): $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$

Material 3: Steuerung und Auswertung

Die Schleife wird von einem Wechselstrom durchflossen, wodurch um sie ein sich periodisch änderndes Magnetfeld entsteht. Durch Fahrzeuge aus Metall, die die Schleife überqueren, vermindert sich die Induktivität L der Schleife. Ursache sind Wirbelströme, die in den aus Metall bestehenden Teilen des Fahrzeugs entstehen. Der Quotient $\frac{\Delta L}{L}$ aus der Änderung der Induktivität ΔL und der ursprünglichen Induktivität L wird als **Verstimmung** der Induktionsschleife bezeichnet.

Überquert ein Fahrzeug die Schleife, ändert sich mit der Induktivität auch die Eigenfrequenz des Schwingkreises. Das Auswerten der Frequenzänderung ist eine Möglichkeit, um das Überqueren der Induktionsschleife durch ein Fahrzeug zu registrieren.

Art des Fahrzeugs	Verstimmung der Induktionsschleife
PKW	– 0,06
LKW	– 0,017
Motorräder	– 0,01
Fahrräder	– 0,0002

Tabelle 1: Beispiele für die Verstimmung einer Induktionsschleife (gerundet)

Material 4: Einige Regeln für das Verlegen von Induktionsschleifen

- (1) Die Induktionsschleife und die Zuleitungen müssen fest in die Fahrbahn eingebettet werden.
- (2) Die Zuleitungen der Schleife müssen bis zum Steuergerät fest verdreht werden (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Verdrehte Zuleitungen

- (3) Es ist auf einen ausreichenden Abstand von beweglichen Metallteilen (z. B. Tore, Schranken) von der Induktionsschleife zu achten. Unbewegliche Metallkörper (z. B. Zäune) haben fast keinen Einfluss auf die Funktion der Schleife.
- (4) An Ampeln und Schranken muss die Haltelinie für Fahrzeuge eine ausreichende Entfernung von der Induktionsschleife haben, damit die Schleife vollständig überfahren werden kann.

Material 5: Reale Spulen

Spulen haben im Wechselstromkreis einen induktiven und einen ohmschen Widerstand. Lässt sich der ohmsche Widerstand nicht vernachlässigen, spricht man von einer realen Spule (siehe Ersatzschaltbild in Abbildung 3).

Für den gesamten Wechselstromwiderstand Z (Scheinwiderstand) der Spule gilt dabei:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (R \dots \text{ohmscher Widerstand, } X_L \dots \text{induktiver Widerstand}).$$

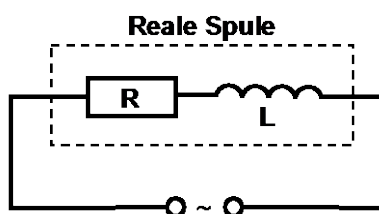


Abbildung 3: Ersatzschaltbild einer realen Spule im Wechselstromkreis

Quellen:

- 1 Professionelle Fahrzeugerfassung. <http://www.elektrobeck.com> (28.12.2015)
- 2 Patent DE4216820A1 25.11.1993: In einer Fahrbahn oder dergleichen angeordnete Induktionsschleife. <http://www.patent-de.com/19931125/DE4216820A1.html> (28.12.2015)

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2016

Physik

Leistungskurs

Erwartungshorizont B
für Lehrkräfte

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Aufgabenart:

Aufgabe mit Schülerexperiment und Materialien

Hilfsmittel:

Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Titel: Ampelsteuerung durch Induktionsschleifen

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
1	<p><i>Kompetenzen: Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln (Fachmethoden), fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen (Fachkenntnisse), Strukturieren und schriftliches oder mündliches Präsentieren komplexerer Sachverhalte (Kommunikation)</i></p> <p>Berechnung:</p> $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{3,0 \cdot 10^{-4} \text{H} \cdot 5,5 \cdot 10^{-8} \text{F}}} \approx 3,9 \cdot 10^4 \text{Hz}$ <p>Vorgänge im Schwingkreis:</p> <p>Sinnvolle Strukturierung der Beschreibung und Beschreiben der Vorgänge im Schwingkreis, Energie, Energieerhaltung und Energieumwandlungen</p> <p>Beispiel, beginnend mit dem vollständig geladenen Kondensator:</p> <p>t_0:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kondensator ist vollständig aufgeladen, die elektrische Energie seines Feldes ist maximal - kein Stromfluss, kein Magnetfeld um die Spule, keine magnetische Energie 	4		

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
	<p>$t_0 + T/8$:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kondensator entlädt sich über die Spule mit steigender Stromstärke, die elektrische Energie seines Feldes sinkt - Selbstinduktion, Lenz'sches Gesetz: Stromstärke steigt nur langsam, magnetische Energie des Spulenfeldes wächst <p>$t_0 + T/4$:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kondensator ist ganz entladen, die elektrische Energie seines Feldes ist null - Entladestrom ist maximal, magnetische Energie des Spulenfeldes ist maximal <p>$t_0 + 3T/8$:</p> <ul style="list-style-type: none"> - infolge der Selbstinduktion nimmt der Strom durch die Spule nur langsam ab, magnetische Energie des Spulenfeldes sinkt - der weiter fließende Strom lädt den Kondensator mit umgekehrter Polung wieder auf, die elektrische Energie seines Feldes steigt <p>$t_0 + T/2$:</p> <ul style="list-style-type: none"> - der Kondensator ist entgegengesetzt aufgeladen, die elektrische Energie seines Feldes ist wieder maximal - kein Stromfluss, kein Magnetfeld um die Spule, keine magnetische Energie <p>Wenn keine Verluste auftreten, gilt stets: $E_{el} + E_{magn} = \text{konstant}$.</p>		10	
2	<p><i>Kompetenzen: Entnehmen von Informationen aus einfachen Texten (Fachkenntnisse), Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln (Fachmethoden)</i></p> <p>Die Induktivität sinkt (vgl. Material 3).</p> <p>Laut Tabelle 1 verringert sie sich beim Überqueren der Induktionsschleife durch einen PKW um ca. 6 %.</p> $L_1 = 0,94 \cdot L_0$ $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,94 \cdot L_0 \cdot C_0}} \approx 4,0 \cdot 10^4 \text{ Hz}$	5		

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
3	<p><i>Kompetenzen: Erklären physikalischer Phänomene komplexer Art aus Natur und Technik (Reflexion)</i></p> <p>Siehe Material 3</p> <p>Die Beeinflussung der Spuleninduktivität hängt von der Stärke der Wirbelströme ab. Motor- und Fahrräder bestehen aus viel weniger metallischen Teilen als ein PKW, was die Hauptursache der geringeren Verstimmung darstellt.</p> <p>Die Beeinflussung der Spuleninduktivität hängt auch von der geometrischen Verteilung des Metalls der Fahrzeuge ab. Ein LKW, der deutlich mehr metallische Teile als ein PKW enthält, verstimmt die Schleife dennoch weniger stark als ein PKW. Der größere Abstand der metallischen Teile untereinander und von der Schleife sind hierfür die Ursache.</p>			5
4	<p><i>Kompetenzen: Einordnen und Erklären von physikalischen Phänomenen aus Natur und Technik (Reflexion)</i></p> <p>Begründen von zwei Regeln, die beim Verlegen von Induktionsschleifen zu beachten sind.</p> <p>Beispiele:</p> <p>Zu (1): Bewegungen der Schleife während des Überquerens führen zur Änderung des Abstandes zwischen der Schleife und dem Fahrzeug und zwischen den einzelnen Windungen. Dies kann eine abweichende Verstimmung zur Folge haben.</p> <p>Zu (2): Wenn die Zuleitungen nicht verdreht wären, könnten sie als Spule wirken, deren Induktivität ebenfalls durch Fahrzeuge beeinflusst werden kann. Außerdem könnte es zur Induktion durch äußere magnetische Felder kommen. Beides würde das Registrieren der eigentlichen, durch Fahrzeuge hervorgerufenen Signale verfälschen.</p> <p>Zu (3): Bewegliche Metallteile rufen wie ein Fahrzeug eine Verstimmung der Induktionsschleife hervor, was Fehlregistrierungen zur Folge haben kann. Feste Metallteile werden beim Kalibrieren der Schleife berücksichtigt.</p> <p>Zu (4): Nur wenn Fahrzeuge die Induktionsschleife vollständig befahren, kommt es zur Verstimmung in einer im Steuergerät gespeicherten Größenordnung. Dies ist Voraussetzung für das Schalten der Ampel.</p>		4	

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
5	<p><i>Kompetenzen: Planen einfacher experimenteller Anordnungen zur Untersuchung vorgegebener Fragestellungen, Selbstständiger Aufbau und Durchführung eines Experiments, Umformen von Gleichungen und Berechnen von Größen aus Formeln, Erörtern von Fehlerquellen und Abschätzen des Fehlers bei Experimenten (Fachmethoden)</i></p> <p>Schaltskizze entwickeln: und Schaltung aufbauen:</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Schaltung aufbauen</p> <p>Messen von Spannung und Stromstärke im Gleich- und Wechselstromkreis</p> <p>Berechnen des ohmschen Widerstands und des Scheinwiderstandes aus $R = \frac{U}{I}$ bzw. $Z = \frac{U}{I}$</p> <p>Induktiver Widerstand: $Z^2 = X_L^2 + R^2 \Rightarrow X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$</p> <p>Berechnen der Induktivität der Spule aus $X_L = 2\pi f \cdot L \Leftrightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f}$</p> <p>Zwei Ursachen für mögliche Messfehler nennen.</p>		3	
			3	
			4	
		4		
		3		
		3		
			2	
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	19	26	5
	prozentuale Zusammensetzung	38	52	10
	Summe der BE	50		

Erwartungshorizont Ersatzaufgabe

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
5	<p>Berechnen des ohmschen Widerstands und des Scheinwiderstandes aus $R = \frac{U}{I} = 12,5 \Omega$ bzw. $Z = \frac{U}{I} \approx 13,6 \Omega$</p> <p>Induktiver Widerstand: $Z^2 = X_L^2 + R^2 \Rightarrow X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \approx 5,4 \Omega$</p> <p>Berechnen der Induktivität der Spule</p> $X_L = 2\pi f \cdot L \Leftrightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} \approx 17\text{mH}$ <p>Zwei Ursachen für mögliche Messfehler nennen</p> <p>Im Gleichstromkreis ändern sich die Messwerte und Berechnungen nicht, da die Frequenzänderung nur den Wechselstromkreis betrifft.</p> <p>Im Wechselstromkreis bleibt die Spannung gleich, die Stromstärke verändert sich (Verringerung bei Vergrößerung von f). Damit ändern sich auch Z und X_L. L bleibt konstant. Detaillierte Begründungen erforderlich.</p>	4		
		3		
		3		
			2	
			10	
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	10	12	0
	Summe der BE	22		

Hinweise für die Hand der Lehrkraft zum Schülerexperiment

Geräte

Die bereitzustellenden Geräte aus der Liste mit dem Experimentiermaterial können hinsichtlich ihrer Daten durch gleichwertige Geräte ersetzt werden. Das Experiment ist vor dem Tag der schriftlichen Prüfung von der prüfenden Lehrkraft durchzuführen. Alle Geräte müssen von der prüfenden Lehrkraft vor der Prüfung auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft werden.

Sicherheitshinweis

Für die Durchführung der Schülerexperimente sind die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) zu beachten.

Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung des Experimentes

Die Spule und die Einstellung der Spannungsquelle sind so zu wählen, dass die für die Spule zulässige Maximalstromstärke nicht überschritten wird.

Die Messgeräte müssen über geeignete Messbereiche zur Messung der Stromstärke und der Spannung verfügen.

Hinweise für den Fall des Misslingens

Die Ursache obliegt höherer Gewalt oder liegt im Verantwortungsbereich der Schule:

Das Ersatzblatt ist im Lehrerheft enthalten und muss in diesem Fall des Misslingens am Tag der Prüfung für die Prüflinge kopiert werden.

Dem Prüfling wird das Ersatzblatt mit den Beobachtungen / Messwerten und der theoretischen Ersatzaufgabe ausgehändigt und mit dem Namen des Prüflings versehen. **Dies ist im Prüfungsprotokoll zu vermerken.**

Die Ursache liegt in der Verantwortung des Prüflings:

Die Prüflinge können für nichterbrachte experimentelle Teilleistungen bei der prüfenden Lehrkraft Zusatzinformationen anfordern. Bei der Anforderung einer oder mehrerer Informationen werden Bewertungseinheiten nicht erteilt. **Der Umfang der Einhilfen ist in geeigneter Art und Weise in den Prüfungsunterlagen zu dokumentieren.**

Zusatzinformation 1: Schaltplan

Es erfolgt ein Punktabzug von **3 BE**, wenn der Plan benötigt wird.

Es erfolgt ein Punktabzug von **bis zu 3 BE**, wenn Hilfen beim Aufbau in Anspruch genommen werden.

Zusatzinformation 2: Ersatzmesswerte für das Schülerexperiment

Es erfolgt ein Punktabzug von **4 BE**, wenn die Werte benötigt werden, jedoch der Aufbau und die Planung des Experiments richtig sind. Es sind weitere **6 BE** abzuziehen (insgesamt 10 BE), wenn die Schaltung nicht entwickelt und aufgebaut werden konnte (siehe Zusatzinformation 1).

In Vorbereitung auf die Prüfung sind vor der Prüfung in ausreichender Anzahl Kopien der Zusatzinformationen anzufertigen. Diese Informationen werden nur auf Anforderung ausgegeben.

Zentrale schriftliche Abiturprüfung

2016

Physik
Leistungskurs

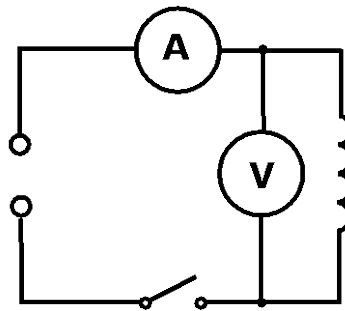
Aufgabenstellung B

für Prüflinge

Nur auf Anforderung

Zusatzinformation 1: Schaltplan

Sollte die Planung eines Versuchsaufbaus nicht gelingen, soll der folgende Schaltplan verwendet werden:



Es erfolgt ein Punktabzug von **3** BE, wenn dieser Plan benötigt wird.

Es erfolgt ein Punktabzug von weiteren bis zu **3** BE, wenn Hilfen beim Aufbau in Anspruch genommen werden.

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2016

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung B
für Prüflinge
Nur auf Anforderung
Zusatzinformation 2: Ersatzmesswerte für das Schülerexperiment

Sollte die Messung nicht gelingen, sollen folgende Werte verwendet werden:

	Gleichstromkreis		Wechselstromkreis	
	elektrische Spannung U_- in V	elektrische Stromstärke I_- in A	elektrische Spannung U_{\sim} in V	elektrische Stromstärke I_{\sim} in A
Windungszahl n der Spule				
1000	3,0	0,24	6,0	0,44

 Es erfolgt ein Punktabzug von **4** BE, wenn diese Werte benötigt werden.

Zentrale schriftliche Abiturprüfung

2016

Physik
Leistungskurs

Aufgabenstellung B

für Prüflinge

Nur im Fall des Misslingens des Experimentes aufgrund höherer Gewalt oder aus Verantwortung der Schule

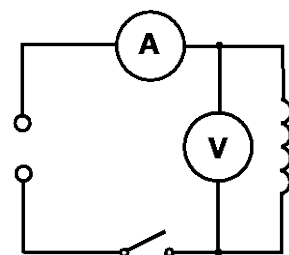
Ersatzblatt

An Ihrer Schule kann das Schülerexperiment nicht durchgeführt werden.

Bearbeiten Sie statt der Aufgabe 5 die folgende Aufgabe:

Ersatzaufgabe für Aufgabe 5 (Schülerexperiment)

Zur Bestimmung der Induktivität einer mit Luft gefüllten Spule wurde ein Experiment durchgeführt. Hierfür wurde der ohmsche Widerstand der Spule im Gleichstromkreis und ihr Scheinwiderstand im Wechselstromkreis (gesamter Wechselstromwiderstand) mithilfe der nebenstehenden Schaltung bestimmt (Frequenz der Wechselspannung: 50 Hz).



Es wurden folgende Messwerte aufgenommen:

	Gleichstromkreis		Wechselstromkreis	
	elektrische Spannung U_{G} in V	elektrische Stromstärke I_{G} in A	elektrische Spannung U_{W} in V	elektrische Stromstärke I_{W} in A
Windungszahl n der Spule				
1000	3,0	0,24	6,0	0,44

Berechnen Sie den ohmschen Widerstand der Spule im Gleichstromkreis und ihren Scheinwiderstand im Wechselstromkreis.

Ermitteln Sie rechnerisch die Induktivität der verwendeten Spule.

Nennen Sie zwei Ursachen für mögliche Messfehler.

Diskutieren Sie, welche Auswirkungen eine Veränderung der Frequenz der Wechselspannung auf die Messergebnisse und die Berechnungen hat.

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2016

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung C
für Prüflinge

Inhalt:	Ladungsträger in Feldern
Titel:	Teilchenbeschleuniger
Aufgabenart:	Aufgabe mit Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	270 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenvorschläge bearbeitet werden.

Teilchenbeschleuniger

Der Teilchenbeschleuniger LHC des Europäischen Kernforschungszentrums CERN in Genf ist eines der teuersten Experimentiergeräte, das die Menschen jemals konstruiert haben. In einem fast 30 km langen Tunnel werden Protonen auf extrem hohe Energien beschleunigt und zur Kollision gebracht. Dadurch ergeben sich völlig neue Beobachtungsmöglichkeiten für die Teilchenphysiker.

Ein kompakter und einfacher Teilchenbeschleuniger, das Zyklotron, wurde bereits 1929 von Ernest Lawrence erfunden.

Wie gelingt es, mit solch einem kompakten Gerät Teilchen auf hohe Energien zu beschleunigen? Warum werden so riesige Beschleuniger wie der LHC gebaut? Diesen Fragen wird in den folgenden Aufgaben nachgegangen.

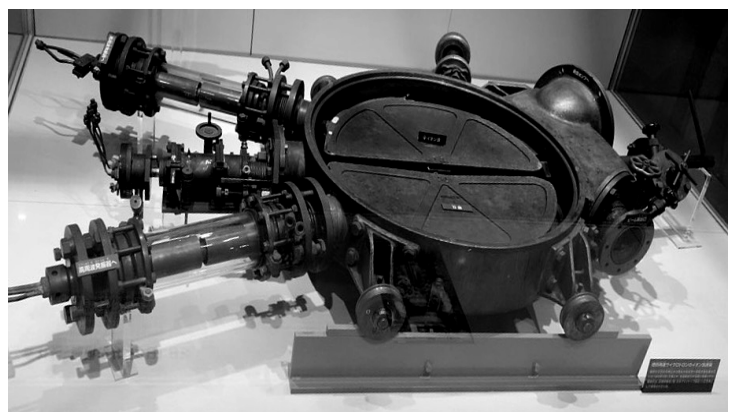


Abbildung 1: Zyklotron ¹

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Beschreiben Sie, welche Kräfte auf die Protonen im Zyklotron zwischen den Duanten und im Inneren der Duanten wirken. **15**

Erläutern Sie jeweils die Auswirkung dieser Kräfte auf die Bewegung der Protonen.

Begründen Sie die Notwendigkeit, die Spannung an den Duanten ständig umzupolen.
 - 2** Berechnen Sie die kinetische Energie und die Geschwindigkeit, die ein zu Beginn noch ruhendes Proton im Zyklotron nach dem erstmaligen Durchlaufen der Spannung U_{\max} erreicht. **13**

Begründen Sie, dass sich nach insgesamt viermaligem Durchlaufen der Beschleunigungsstrecke zwischen den Duanten diese Geschwindigkeit verdoppelt hat.

Erläutern Sie, welchen Einfluss eine Verkleinerung des Maximalwertes U_{\max} der Wechselspannung an den Duanten auf den Beschleunigungsprozess und die beim Verlassen des Zyklotrons erreichte Geschwindigkeit der Protonen hat.
 - 3** Berechnen Sie, welche Endgeschwindigkeit ein Proton im hier betrachteten Zyklotron maximal erreichen kann, wenn die Stärke des Magnetfeldes höchstens auf 1,5 T eingestellt werden kann. **8**
 - 4** Erläutern Sie die beiden wesentlichen Gründe dafür, warum der Teilchenbeschleuniger LHC des CERN so große Abmessungen besitzen muss, um die dort erforderlichen Teilchenenergien erzeugen zu können. **8**
 - 5** Diskutieren Sie, inwiefern der Bau eines weiteren, noch größeren Teilchenbeschleunigers gerechtfertigt ist. **6**

Materialien

Material 1: *Aufbau und Funktionsweise eines Zyklotrons*

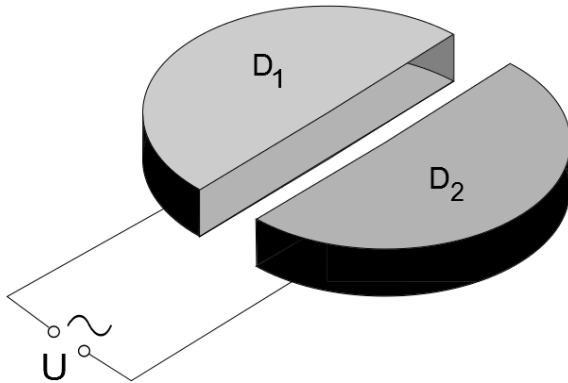


Abbildung 2: Duanten eines Zyklotrons

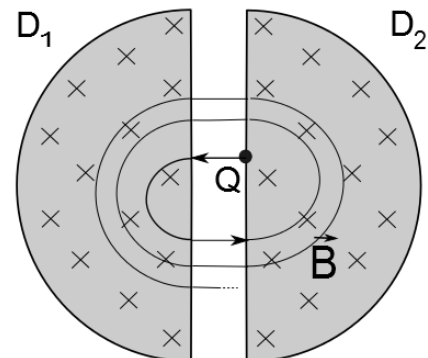


Abbildung 3: Draufsicht mit Beginn der Teilchenbahn

Ausgehend von einer Protonenquelle Q werden die Protonen der Masse $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg im Zyklotron beschleunigt, indem sie die anliegende Beschleunigungsspannung U mehrfach durchlaufen.

Die beiden Elektroden D_1 und D_2 , die sogenannten Duanten, sind wie halbe zylindrische Dosen geformt. Sie sind von einem homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 1,5$ T senkrecht durchsetzt. Das elektrische Feld, das durch die Beschleunigungsspannung U erzeugt wird, wirkt in dem schmalen Spalt zwischen den Duanten. Vereinfachend wird angenommen, dass in diesem Spalt kein magnetisches Feld wirkt. Der gesamte Aufbau befindet sich in Vakuum.

Die Abmessungen des Zyklotrons begrenzen den maximalen Bahnradius der Protonen auf $r_{max} = 0,40$ m. Die Protonen verlassen das Zyklotron, wenn dieser Radius überschritten wird. Der Maximalwert der an den Duanten anliegenden Wechselspannung beträgt $U_{max} = 2,0$ kV.

Die hier auftretenden Geschwindigkeiten sind deutlich kleiner als die Lichtgeschwindigkeit, so dass relativistische Effekte nicht betrachtet werden müssen.

Material 2: *Große Teilchenenergien*

Technisch ist es schwierig, starke Magnetfelder über größere Raumbereiche zu erzeugen. Je schneller ein Teilchen ist, desto stärker muss das ablenkende Magnetfeld sein, um das Teilchen noch auf einer Kreisbahn zu halten. Dabei gilt $v \sim r \cdot B$, wobei v die Teilchengeschwindigkeit, r den Radius der Teilchenbahn und B die Stärke des Magnetfeldes angibt.

Außerdem verlieren die Teilchen auf der Kreisbahn ständig Energie, da beschleunigte geladene Teilchen elektromagnetische Wellen abstrahlen. Diese Energieverluste ΔE steigen für große

Teilchenenergien stark an, es gilt $\Delta E \sim \frac{E^4}{r}$. Dabei ist E die schon erreichte Teilchenenergie und r der Radius der Teilchenbahn.

Material 3: Der Teilchenbeschleuniger LHC des CERN

Der Large Hadron Collider (kurz: LHC) des CERN dient dazu, Teilchen auf extrem hohe Energien zu beschleunigen. Die Vorgänge beim Zusammenprall der hochenergetischen Protonen erlaubt Einblicke in sonst verborgene Bereiche der Elementarteilchenphysik. Zudem erhofft man sich Rückschlüsse auf die Zustände von Materie und Raum kurz nach dem Urknall.

Im LHC bewegen sich die Protonen auf einer festen, nahezu kreisförmigen Ringbahn von etwa 30 km Länge. Wie im Zyklotron werden die Teilchen durch Magnetfelder abgelenkt und von elektrischen Feldern immer wieder beschleunigt.

Um die Teilchen auf der Bahn zu halten, werden speziell angefertigte Elektromagnete mit supraleitenden Spulen verwendet, die Magnetfelder der Stärke von bis zu 8,3 T erzeugen können.

Die Kosten für den LHC und die dabei zum Einsatz kommenden Detektoren liegen über 5 Milliarden Euro. Beim Betrieb liegt die benötigte elektrische Leistung bei 120 MW, was etwa dem Bedarf einer Kleinstadt entspricht.

Quellen:

- 1 Foto: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RIKEN_cyclotron_accelerator,_3rd_version,_December_1952_-_National_Museum_of_Nature_and_Science,_Tokyo_-_DSC07803.JPG?uselang=de (3.12.2014); bearbeitet, gemeinfrei
- 2 The Large Hadron Collider. <http://home.cern/topics/large-hadron-collider> (28.12.2015)
- 3 Large Hadron Collider – LHC. www.weltderphysik.de/thema/lhc (3.12.2014)

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2016

Physik

Leistungskurs

Erwartungshorizont C
für Lehrkräfte

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Aufgabenart: Aufgabe mit Materialien

Hilfsmittel: Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Titel: Teilchenbeschleuniger

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
1	<p><i>Kompetenzen: Entnehmen von Informationen aus einfachen Texten, Wiedergeben von einfachen Gesetzen sowie deren Erläuterung (Fachkenntnisse)</i></p> <p>Zwischen den Duanten bewirkt das elektrische Feld eine elektrische Kraft in Bewegungsrichtung der Protonen. Sie bewirkt bei passender Polung eine Erhöhung der Geschwindigkeit der Protonen.</p> <p>Im Inneren der Duanten wirkt durch das Magnetfeld auf die bewegten Protonen die Lorentzkraft. Sie lenkt die Protonen auf eine Kreisbahn, da sie senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkt.</p> <p>Damit die Protonen schneller werden, muss das elektrische Feld immer in die richtige Richtung weisen, also die Polung der Duanten ständig wechseln.</p>	5		
2	<p><i>Kompetenzen: Begründetes Herleiten der mathematischen Beschreibung eines einfachen physikalischen Sachverhaltes (Fachmethoden), präzises Kommunizieren einfacher Argumente (Kommunikation)</i></p> <p>Es gilt $E_{kin} = U_0 \cdot q = 2 \text{ keV} = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ J}$.</p> <p>Aus $\frac{1}{2}mv^2 = E_{kin}$ folgt $v = \sqrt{\frac{2E_{kin}}{m}} = 6,2 \cdot 10^5 \frac{m}{s}$ nach einem Durchlauf.</p> <p>Nach viermaligem Durchlaufen der Spannung ist die Energie viermal so hoch, aufgrund der Wurzel im Berechnungsterm also die Geschwindigkeit verdoppelt.</p> <p>Eine Verkleinerung von U_{max} bewirkt eine geringere Beschleunigung</p>		5	4

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
	pro Durchlauf der Spannung und führt dazu, dass die Geschwindigkeit beim Austritt erst nach einer größeren Zahl von Umläufen erreicht wird. Diese Endgeschwindigkeit ist jedoch von der Spannung unabhängig.		4	
3	<p><i>Kompetenzen: Auswählen und Verknüpfen von Daten, Fakten und Methoden (Fachkenntnisse)</i></p> <p>Die Lorentzkraft wirkt als Zentripetalkraft, daher gilt $qvB = mv^2 / r$ und so $v = \frac{qBr}{m}$, wobei q und m die festen Kenngrößen des Protons sind. Für die maximale Geschwindigkeit müssen also B und r so groß wie möglich sein, daher erhält man:</p> $v_{\max} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,5 \text{ T} \cdot 0,4 \text{ m}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 5,7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$			8
4	<p><i>Kompetenzen: Auffinden der relevanten physikalischen Variablen eines Vorgangs (Fachmethoden)</i></p> <p>Erläuterung zweier Gründe: Es müssen große Teilchengeschwindigkeiten erreicht werden. Da sich nicht beliebig starke Magnetfelder erzeugen lassen, müssen nach $v \sim r \cdot B$ (bzw. Aufgabe 3) große Radien der Kreisbahn ermöglicht werden. Ein großer Radius ist mit entsprechend großen Abmessungen verbunden. Die Energieverluste nehmen mit steigender Teilchenenergie stark zu, auch hier ist wegen $\Delta E \sim \frac{E^4}{r}$ ein möglichst großer Bahnradius günstig.</p>		5 3	
5	<p><i>Kompetenzen: Einordnen von Sachverhalten in gesellschaftliche Bezüge (Reflexion), Beziehen einer Position zu einem physikalischen Sachverhalt (Kommunikation)</i></p> <p>Abwägung der hohen Kosten gegenüber den zu erwartenden Fortschritten, die überwiegend Grundlagenforschung fördern. Eine begründete Positionierung wird erwartet.</p>		6	
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	15	27	8
	prozentuale Zusammensetzung	30	54	16
	Summe der BE	50		

Zentrale schriftliche Abiturprüfung**2016****Physik**
Leistungskurs**Aufgabenstellung D****für Prüflinge**

Inhalt:	Atomkern
Titel:	Kernfusion im Reaktor ITER
Aufgabenart:	Aufgabe mit Materialien
Hilfsmittel:	Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung
Gesamtbearbeitungszeit:	270 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenvorschläge bearbeitet werden.

Kernfusion im Reaktor ITER

Ressourcenknappheit und steigender Energiebedarf sind zwei aktuelle globale Probleme. Die Suche nach neuen, zukunftsträchtigen und wirtschaftlichen Energiequellen ist deswegen eine der zurzeit bedeutendsten Aufgaben der Wissenschaftler.

Eine Möglichkeit der Energiegewinnung sehen viele Wissenschaftler in der Fusion von leichten Atomkernen zu schwereren Atomkernen in riesigen Fusionskraftwerken. An einer technischen Realisierung einer solchen Kernfusion zur Energiegewinnung wird intensiv gearbeitet. Der internationale Forschungsreaktor ITER in Frankreich soll ab 2027 bei Fusionsbrenndauern von bis zu einer Stunde erstmals mehr Energie erzeugen als benötigen.

Die folgende Aufgabe beschäftigt sich mit der Idee der Kernfusion und der Frage, ob die hohen Kosten für die Erforschung der Kernfusion gerechtfertigt sind.

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Beschreiben Sie den Aufbau eines Deuterium- und eines Tritiumkerns. **10**

Erläutern Sie die in einem Heliumkern zwischen den Nukleonen auftretenden Kräfte und ihre Wirkungen.

Begründen Sie, weshalb die Kernfusion im Innern eines Reaktors bei sehr hohen Temperaturen stattfindet.
 - 2** Erläutern Sie den Begriff der Kernbindungsenergie. **10**

Begründen Sie unter Verwendung von Abbildung 1, dass sowohl bei den Energieumwandlungen der Kernfusion als auch bei denen der Kernspaltung Energie frei wird.
 - 3** Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Deuterium-Tritium-Reaktion auf. **14**

Weisen Sie rechnerisch nach, dass pro Fusionsreaktion eine Energiemenge von 17,6 MeV frei wird.

Berechnen Sie die für einen Fusionspuls benötigten Massen an Deuterium und Tritium.
 - 4** Vergleichen Sie die im Material 4 dargestellten Fusionsreaktionen. **7**

Begründen Sie die Entscheidung der Forschungsgemeinschaft, die Fusion im ITER - Reaktor mit der Deuterium - Tritium - Reaktion durchzuführen.
 - 5** Beurteilen Sie, ob die gewaltigen Kosten für die Erforschung der Kernfusion gerechtfertigt sind. **9**

Erläutern Sie dazu mindestens zwei Argumente pro und contra Kernfusion.

Materialien

Material 1: Die Deuterium - Tritium - Reaktion

Bei dieser im Forschungsreaktor ITER stattfindenden Fusionsreaktion verschmelzen die beiden Isotope des Wasserstoffs, Deuterium und Tritium, zu einem Heliumatom und einem Neutron, dabei wird eine Energiemenge von 17,6 MeV frei. Damit es zu dieser Kernfusion kommt, müssen Deuterium und Tritium zu einem Plasma extrem hoher Temperatur verdichtet werden.

Name	Isotopschreibweise	Masse in u
Deuterium	${}^2_1\text{H}$	2,01355317
Tritium	${}^3_1\text{H}$	3,01550069
Helium	${}^4_2\text{He}$	4,00150608
Neutron	${}^1_0\text{n}$	1,0086649

Tabelle 1: Massen verschiedener Atomkerne und Nukleonen

$1 \text{ u} = 1,6605389 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Material 2: Kernbindungsenergie

Teilt man die gesamte Kernbindungsenergie durch die Anzahl der Nukleonen, so erhält man die mittlere Kernbindungsenergie pro Nukleon.

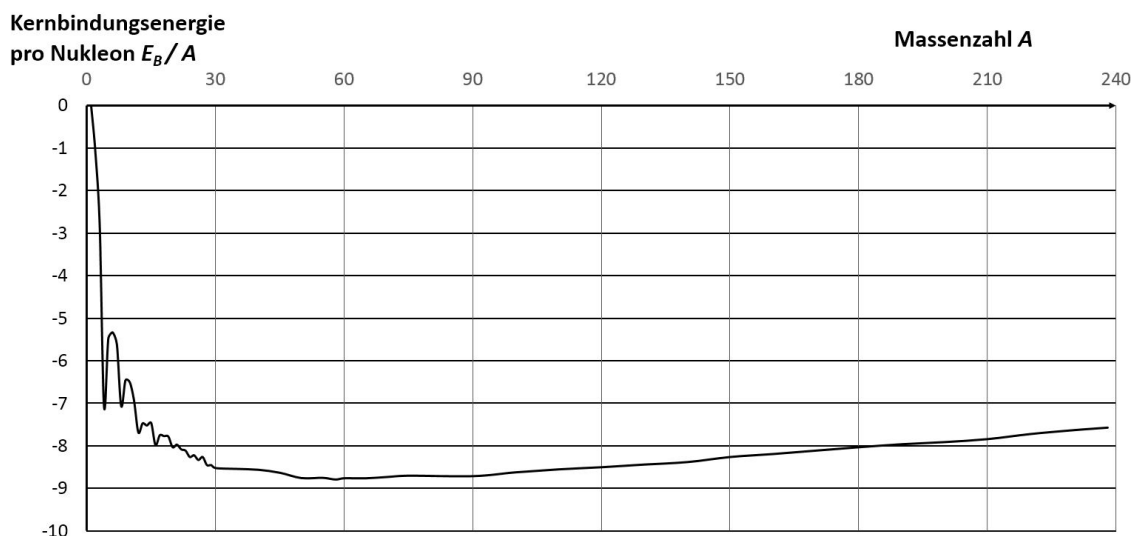


Abbildung 1: Mittlere Bindungsenergie pro Nukleon

Material 3: Daten des Forschungsreaktors ITER

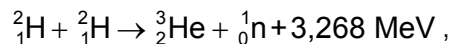
Für den Betrieb ist die Funktion des Reaktors in einzelnen Fusionspulsen geplant.

Gesamtleistung eines Fusionspulses	500 Megawatt
Mittlere Temperatur	ca. 10^8 Kelvin
Brenndauer eines Fusionspulses	ca. 400 Sekunden

Tabelle 2: Daten des Reaktors ITER

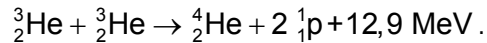
Material 4: Andere Fusionsreaktionen

Eine weitere Fusionsreaktion ist die sogenannte Deuterium - Deuterium - Reaktion



diese erfordert einen längeren Plasmaeinschluss als die Deuterium - Tritium - Reaktion.

Mit dem auf der Erde sehr seltenen Helium-3 - Isotop konnte bereits die folgende Reaktion durchgeführt werden:



Für diese Reaktion ist eine sehr viel höhere Plasmatemperatur als für die Deuterium-Tritium-Reaktion notwendig.

Material 5: Zukunftsperspektiven

Den Vorteilen der Kernfusion stehen auch enorme Probleme entgegen. So erweist sich die Durchführung bereits in den Forschungsreaktoren als extrem schwierig und kostenintensiv, eine wirtschaftlich tragbare Nutzung ist noch weit entfernt.

Prof. Hasinger, Direktor am Max-Planck-Institut für Plasmaforschung in Garching:

"Da gibt's natürlich die wichtigen regenerativen Energien also Wasser, Wind und Sonne - die sind sehr vielversprechend aber sie sind alle so dünn gesät. Die Energiedichte ist im Vergleich zu einem Fusionskraftwerk so gering, dass sie eben einen extremen Landverbrauch haben oder sie müssen eben den Strom aus der Wüste holen und genau an der Stelle ist eben die Frage, ob das Ganze im System funktioniert."⁴

Quellen:

- 1 ITER. <http://de.wikipedia.org/wiki/ITER> (21.10.2014)
- 2 Wolfgang Bauer: Kernfusion. www.pa.msu.edu/~bauer/Energie/PDFs/Kernfusion.pdf (28.12.2015)
- 3 Tobias Macha: Kernfusion. www.physik.uni-mainz.de/F-Praktikum/SS2010/TobiasMacha.pdf (21.10.2014)
- 4 Fusionskraftwerke als Lösung der Energiefrage. Interview mit Günther Hasinger. <http://www.mpg.de/575006/pressemitteilung200906222> (28.12.2015)

Zentrale schriftliche Abiturprüfung

2016

Physik

Leistungskurs

Erwartungshorizont D

für Lehrkräfte

Bitte kontrollieren Sie vor Beginn der Arbeit die Vollständigkeit der Aufgabensätze für die Prüflinge.

Aufgabenart: Aufgabe mit Materialien
Hilfsmittel: Nachschlagewerk zur Rechtschreibung der deutschen Sprache, an der Schule eingeführter und im Unterricht eingesetzter Taschenrechner, an der Schule eingeführtes Tafelwerk bzw. Formelsammlung

Titel: Kernfusion im Reaktor ITER

Die Beschreibungen der erwarteten Schülerleistungen enthalten keine vollständigen Lösungen, sondern nur kurze Angaben. Hier nicht genannte, aber gleichwertige Lösungswege sind gleichberechtigt.

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
1	<p><i>Kompetenzen: fachsprachlich korrektes Fassen einfacher Sachverhalte (Kommunikation), Wiedergeben von einfachen Daten und Fakten sowie von Begriffen, Größen und Einheiten und deren Definition, fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen (Fachkenntnisse)</i></p> <p>Strukturierte und fachsprachlich korrekte Beschreibung des Aufbaus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deuterium: Isotop des Wasserstoffs mit einem Proton und einem Neutron im Kern • Tritium: Isotop des Wasserstoffs mit einem Proton und zwei Neutronen im Kern <p>Strukturierte Erläuterung der auftretenden Kräfte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abstoßung der Protonen untereinander • Zusammenhalt der Nukleonen untereinander nur durch in unmittelbarer Nachbarschaft wirkende Kräfte (starke Wechselwirkung bzw. Kernkraft), diese ist notwendig, um die coulombschen Abstoßungskräfte zu überwinden. <p>Zur Überwindung der starken elektrostatischen Abstoßung ist eine sehr hohe kinetische Energie der Teilchen notwendig, diese wird durch die hohen Temperaturen erreicht.</p>	8	2	

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
2	<p><i>Kompetenzen: fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen (Fachkenntnisse), präzises Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen (Kommunikation), Auffinden der relevanten physikalischen Variablen eines Vorgangs (Fachmethoden)</i></p> <p>Erwartet wird eine zusammenhängende Erläuterung: Die Bindungsenergie ist die für die vollständige Zerlegung des Kerns benötigte Energie.</p> <p>Begründung der freiwerdenden Energie bei Kernreaktionen an Hand der Abbildung sowohl für die Spaltung schwerer Kerne als auch für die Fusion leichter Kerne.</p>		<p>4</p> <p>6</p>	
3	<p><i>Kompetenzen: Auswählen und Verknüpfen von Daten, Fakten und Methoden, Entnehmen von Informationen aus komplexen Texten (Fachkenntnisse), präzises Kommunizieren naturwissenschaftlicher Argumentationsketten (Kommunikation)</i></p> <p>Angabe der Reaktionsgleichung: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$</p> <p>Berechnung der Massendifferenz $\Delta m = 5,02905386 \text{ u} - 5,01017098 \text{ u} = 0,01888288 \text{ u}$ und Berechnung der Energiemenge $\Delta E = 0,01888288 \cdot 931,494 \text{ MeV} = 17,6 \text{ MeV}$</p> <p>Berechnungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - der Energiemenge pro Puls $E = 5 \cdot 10^8 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 400 \text{ s} \approx 1,25 \cdot 10^{30} \text{ eV}$ - der Anzahl der Kernreaktionen $N = \frac{1,248 \cdot 10^{30} \text{ eV}}{17,6 \cdot 10^6 \text{ eV}} \approx 7,1 \cdot 10^{22}$ - der benötigten Massen: <p>$m({}^2_1\text{H}) \approx 3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot N \approx 2,37 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$</p> <p>$m({}^3_1\text{H}) \approx 5,01 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot N \approx 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$</p>		<p>2</p> <p>4</p>	8
4	<p><i>Kompetenzen: Entnehmen von Informationen aus einfachen Texten, Wiedergeben von einfachen Daten und Fakten sowie von Begriffen, Größen und Einheiten und deren Definitionen (Fachkenntnisse); Kommunizieren einfacher Argumente und Beschreibungen . (Kommunikation)</i></p> <p>Bei der DD-Reaktion ist die Energieausbeute pro Kernreaktion geringer und es ist eine längere Einschusszeit erforderlich.</p> <p>Bei der Helium - 3 + Helium - 3-Reaktion muss bei ungefähr gleicher Energieausbeute pro Kernreaktion eine höhere Plasmatemperatur realisiert werden.</p> <p>Abgeben einer schlüssigen Begründung, dass die DT-Reaktion die momentan am besten geeignete Variante für die Kernfusion ist.</p>		<p>4</p> <p>3</p>	

Teilaufgaben	Beschreibung der erwarteten Leistung	AFB		
		I	II	III
5	<p><i>Kompetenzen: Einordnen von Sachverhalten in historische und gesellschaftliche Bezüge (Reflexion); fachgerechtes Wiedergeben von komplexeren Zusammenhängen (Fachkenntnisse)</i></p> <p>Erwartet wird das Beziehen einer begründeten eigenen Position hinsichtlich der Fragestellung.</p> <p>Erwartet wird die Erläuterung von jeweils zwei Argumente pro und contra Kernfusion, z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • geringer Bedarf an Rohstoffen, im Vergleich geringe Mengen radioaktiver Abfall mit niedrigen Halbwertszeiten, geringe Umweltbelastung durch Abgase, hohe Energieausbeute • hohe Kosten in Forschung und Entwicklung, nicht ganz ohne radioaktive Abfälle, Unfallgefahr in den Reaktoren 		4	
	Summe der BE in den Anforderungsbereichen	15	27	8
	prozentuale Zusammensetzung	30	54	16
	Summe der BE	50		