

Zentralabitur 2016

Physik Leistungskurs

Aufgaben für Prüflinge



Zentrale schriftliche Abiturprüfung

2016

Physik
Leistungskurs

Aufgabenstellung A

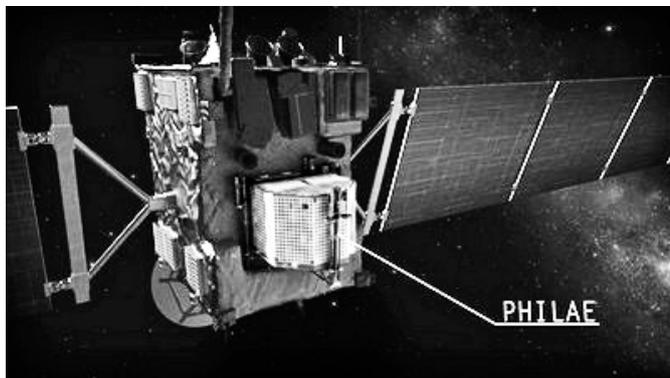
für Prüflinge

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.

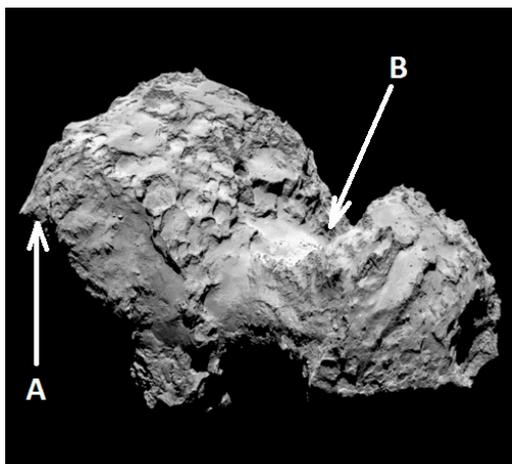


Abbildung 2:
Mögliche Landeplätze auf dem Kometen
Tschurjumow-Gerassimenko

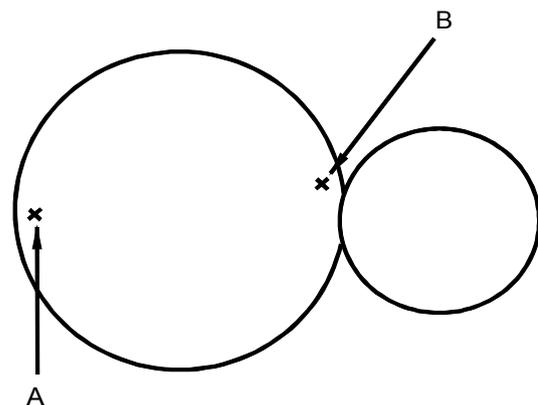


Abbildung 3:
Darstellung der möglichen Landeplätze im
Modell Hantel für den Kometen

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**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 Schülerexperimentes.
- 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.

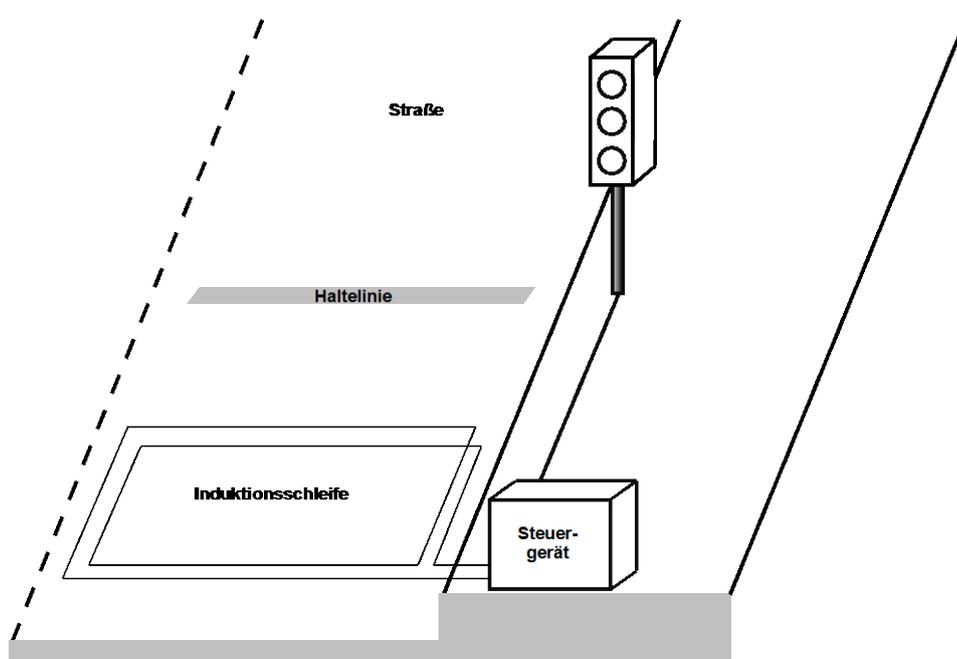


Abbildung 1: Induktionsschleife zum Steuern einer Ampelschaltung

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:

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

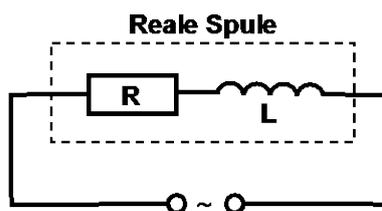


Abbildung 3: Ersatzschaltbild einer realen Spule im Wechselstromkreis

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

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.

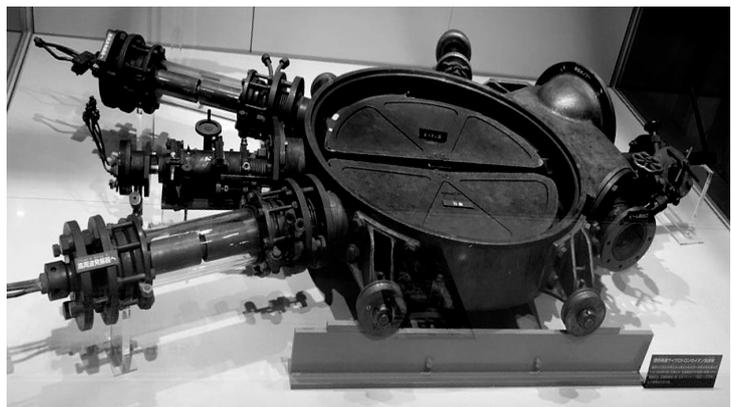


Abbildung 1: Zyklotron ¹

- 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*

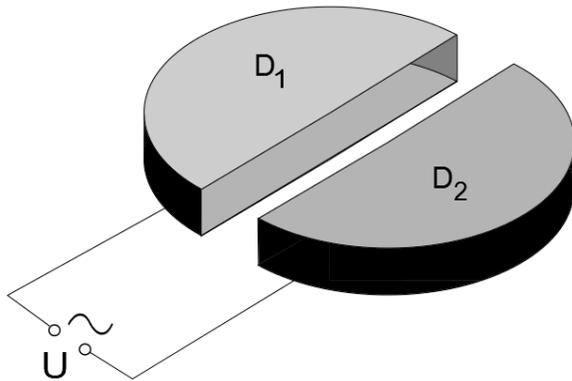


Abbildung 2: Duanten eines Zyklotrons

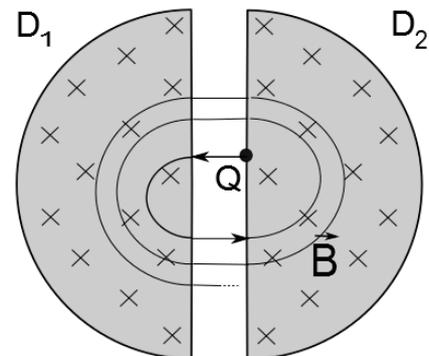


Abbildung 3: Draufsicht mit Beginn der Teilchenbahn

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

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.

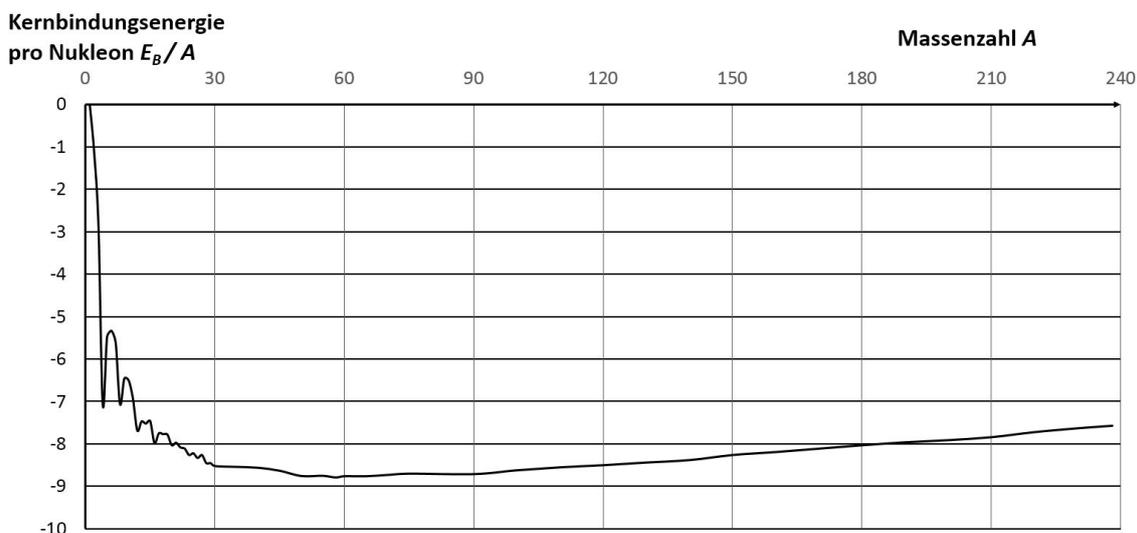


Abbildung 1: Mittlere Bindungsenergie pro Nukleon

Material 3: Daten des Forschungsreaktors ITER

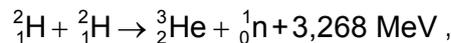
Für den Betrieb ist die Funktion des Reaktors in einzelnen Fusionspulsen geplant.

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

Tabelle 2: Daten des Reaktors ITER

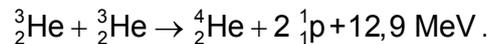
Material 4: Andere Fusionsreaktionen

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)