

Zentralabitur 2017

Physik Leistungskurs

Aufgaben für Prüflinge



Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2017

Physik

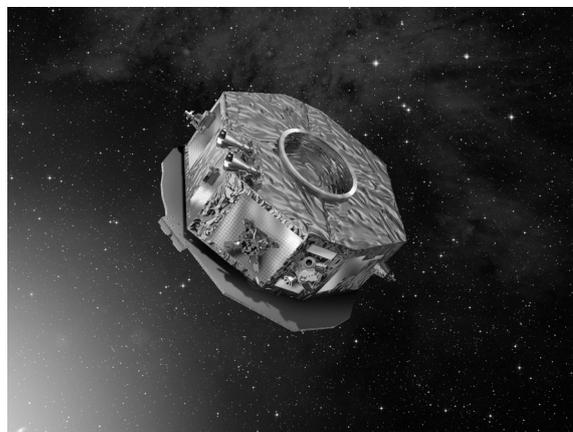
Leistungskurs

Aufgabenstellung A
für Prüflinge

Inhalt:	Gravitation
Titel:	Erforschung der Gravitation mit LISA Pathfinder
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.

Erforschung der Gravitation mit LISA Pathfinder

Werden Massen beschleunigt, beispielsweise wenn ein Stern explodiert oder schwarze Löcher verschmelzen, können Gravitationswellen erzeugt werden. Diese Wellen wurden von Albert Einstein 1915 vorausgesagt und 2016 entdeckt. Um neue noch leistungsfähigere Instrumente für die Beobachtung dieser Wellen zu erproben, wurde die Raumsonde LISA Pathfinder gestartet. Diese Raumsonde wurde an einen Ort in unserem Sonnensystem gebracht, an dem möglichst wenige Störungen durch andere Einflüsse auftreten. In den folgenden Aufgaben wird der Frage nachgegangen, wie es gelingen kann, mit Raumsonden die Bedingungen für die Erforschung der Gravitation zu erfüllen.


Abbildung 1: Sonde Lisa Pathfinder

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Erläutern Sie, welche Informationen sich aus dem Feldlinienbild des Systems Erde-Sonne entnehmen lassen. **16**

Beschreiben Sie, wie sich die auf die Sonde wirkenden Gravitationskräfte verändern, wenn sie sich von der Erde aus in Richtung Sonne bewegt.

Bestätigen Sie die Angabe im Materialteil zu der resultierenden Gravitationsfeldstärke im Zielpunkt L.
 - 2** Leiten Sie die Gleichung zur Berechnung der Bahngeschwindigkeit von LISA Pathfinder auf der Parkbahn um die Erde her. Begründen Sie, dass für diese Herleitung die Annahme des Modells Radialfeld angemessen ist. **13**

Geben Sie Bahngeschwindigkeit und Umlaufzeit von LISA Pathfinder auf der Parkbahn an.
 - 3** Erläutern Sie die im Material 5 angegebene Gleichung zur Berechnung der potentiellen Energie im System Erde-Sonne. **10**

Berechnen Sie die zu verrichtende Hubarbeit an LISA Pathfinder, um von der Erde zum Zielpunkt L zu kommen.
 - 4** Berechnen Sie die Gravitationskraft zwischen den beiden frei schwebenden Würfeln. **6**

Begründen Sie die Notwendigkeit der Maßnahme zur Beseitigung der elektrostatischen Aufladung.
 - 5** Erklären Sie, dass sich LISA Pathfinder auf einer kreisförmigen Umlaufbahn um den Zielpunkt L ohne Antrieb bewegen kann. **5**

Material 1: Gravitationsfeld des Systems Erde-Sonne

Die Raumsonde LISA Pathfinder wurde zu einem Punkt L in Richtung Sonne gebracht. In diesem Punkt beträgt die resultierende Gravitationsfeldstärke von Sonne und Erde nur noch etwa $6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Während des Fluges zum Punkt L befand sich LISA Pathfinder sowohl im Gravitationsfeld der Erde als auch in dem der Sonne. Das resultierende Feldlinienbild des Systems Erde-Sonne ist hier stark vereinfacht und nicht maßstabsgetreu dargestellt.

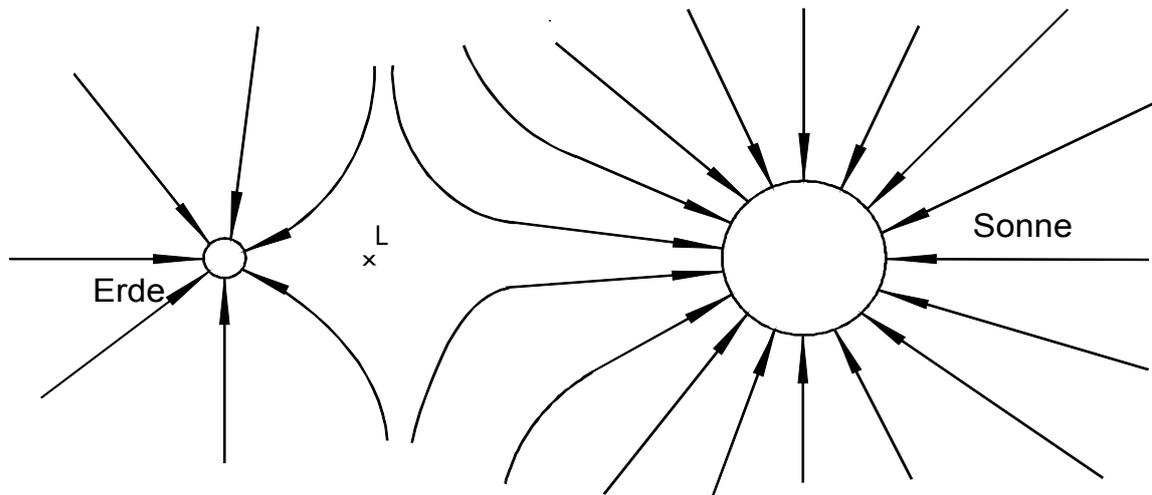


Abbildung 2: Stark vereinfachtes Feldlinienbild des Systems Erde-Sonne

Material 2: Verlauf der LISA Pathfinder Mission

Nach ihrem Start wurde LISA Pathfinder zunächst einmal in eine kreisförmige Parkbahn gebracht, auf der sie die Erde in einer Höhe von 300 km umrundete.

Danach wurde die Umlaufbahn in mehreren Phasen angehoben, bis ihre zweimonatige Reise zum Punkt L in $1,5 \cdot 10^6$ km Entfernung von der Erde in Richtung Sonne begann.

Material 3: Flugbahn von LISA um den Punkt L

Um die Messungen möglichst ungestört durchzuführen, umkreiste LISA Pathfinder den Punkt L senkrecht zu der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde, so wie in der Abbildung skizziert.

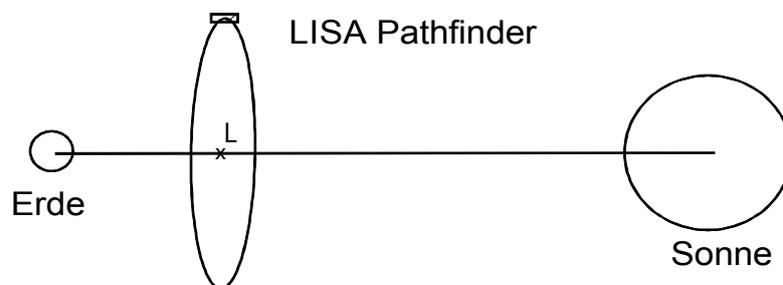


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der Flugbahn der Sonde um L

Material 4: Erprobung des Messinstrumentes

Das Messinstrument für die Gravitationswellen besteht im Wesentlichen aus zwei Testmassen und einem Vermessungssystem.

Die in einem Spezialbehälter frei schwebenden verwendeten Testmassen sind zwei identische aus einer Gold-Platin-Legierung bestehende Würfel mit einer Masse von jeweils 2 kg. Diese werden in einen Abstand von 38 cm gebracht und mit Beginn der Messung von Störeinflüssen abgeschirmt. Der Abstand der beiden Würfel wird mit Lasern fortlaufend gemessen. Das Ziel des Versuchs besteht darin, zu erproben, wie man die Würfel frei schwebend und möglichst störungsfrei in der Raumsonde so lagern kann, dass sich ihre Abstände sowie ihre Bewegung zueinander mit höchster Genauigkeit messen lassen.

Durch die Strahlung der Sonne kann es zu unerwünschten elektrostatischen Aufladungen der Testmassen kommen. Diese müssen sofort beseitigt werden.

Material 5: Ausgewählte Gleichungen

Gravitationsfeldstärke im Radialfeld	$g(r) = G \cdot \frac{m}{r^2}$	$r \dots$ Abstand vom Massenmittelpunkt
Bahngeschwindigkeit einer Sonde bei der Bewegung um die Erde	$v = \sqrt{\frac{G \cdot m_{\text{Erde}}}{r}}$	$m \dots$ Masse des felderzeugenden Körpers $g \dots$ Gravitationsfeldstärke $G \dots$ Gravitationskonstante
Energie der Sonde im Gravitationsfeld der Erde	$E_{\text{pot},E} = -G \cdot m_{\text{LISA}} \cdot \frac{m_{\text{Erde}}}{r_1}$	$r_1 \dots$ Abstand der Sonde vom Mittelpunkt der Erde
Energie der Sonde im Gravitationsfeld des Systems Erde-Sonne	$E_{\text{pot},E-\text{So}} = -G \cdot m_{\text{LISA}} \cdot \left(\frac{m_{\text{Erde}}}{r_1} + \frac{m_{\text{Sonne}}}{r_2} \right)$	$r_2 \dots$ Abstand der Sonde vom Mittelpunkt der Sonne

Material 6: Wichtige Größen und Daten

Masse der Erde	$5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Erdradius	6371 km
Gravitationskonstante	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Masse der Sonne	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
mittlerer Abstand Erde-Sonne	$149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$
Masse der Sonde LISA Pathfinder	etwa 500 kg

Quellen:

- [1] Abbildung1: Sonde LISA Pathfinder
http://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2013/11/artist_s_impression_of_lisa_pathfinder2/13399455-2-eng-GB/Artist_s_impression_of_LISA_Pathfinder.jpg (06.01.2016)
- [2] Den Weg für ELISA ebnen. http://www.aei.mpg.de/179191/02_LISA_Pathfinder (03.01.2016)
- [3] LISA Pathfinder gestartet. http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/LISA_Pathfinder_gestartet (03.01.2016)

Zentrale schriftliche Abiturprüfung**2017****Physik**
Leistungskurs**Aufgabenstellung B****für Prüflinge**

Inhalt:	Wechselstromwiderstände
Titel:	Elektrische Messungen in der Sportmedizin
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: Netzgerät mit Wechselspannung (50 Hz) ein Kondensator (z. B. 1 μF) ein ohmscher Widerstand (z. B. 1000 Ω) ein Spannungsmessgerät ein Stromstärkemessgerät Verbindungskabel in ausreichender Anzahl
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Elektrische Messungen in der Sportmedizin

Um den Fitnesszustand von Sportlerinnen und Sportlern zu beurteilen, gibt es verschiedene Verfahren. Eine Möglichkeit ist die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA). Das sind Messungen des Wechselstromwiderstandes und der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke am Körper eines Sportlers oder einer Sportlerin. Veränderungen im Fitnesszustand führen zu Veränderungen der Messwerte.

In den folgenden Aufgaben wird betrachtet, wie die Fitness eines Fußballspielers mit der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) gemessen wurde. Dieses Messprinzip setzt man in abgewandelter Form in Körperfettwaagen für den Hausgebrauch ein. Es wird der Frage nachgegangen, ob auch mit diesen Waagen zuverlässige Daten über den Fitnesszustand eines Menschen gewonnen werden können.

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Beschreiben Sie die Vorgänge in einem Stromkreis mit einem Kondensator beim Anlegen einer Wechselspannung. Berücksichtigen Sie auch die auftretende Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke. **6**
- 2** Berechnen Sie die Spannung, die erforderlich ist, um im untrainierten Zustand des Fußballspielers die für die Messung notwendige Stromstärke von 0,8 mA zu erreichen. **5**
- 3** Erläutern Sie den Einfluss der Kapazität eines Kondensators auf den Gesamtwiderstand Z und die Phasenverschiebung φ in einer Reihenschaltung aus Kondensator und ohmschem Widerstand. **12**
- Untersuchen Sie, wie sich die Kapazität und die Phasenverschiebung bei dem untersuchten Fußballspieler durch das Aufbautraining verändert haben.
- 4** Beurteilen Sie, ob mit einer einfachen Körperfettwaage aussagekräftige Messwerte gewonnen werden können. Erläutern Sie mindestens zwei Argumente, die Ihr Urteil stützen. **7**
- 5 Experiment** **20**
- Eine für die bioelektrische Impedanzanalyse typische Messung ist die Bestimmung des Gesamtwiderstandes Z . Die Genauigkeit einer solchen Messung soll in einem Modellexperiment untersucht werden, in dem die Messung mit einer Berechnung aus den Herstellerangaben verglichen wird.
- Vergleichen Sie für eine Reihenschaltung aus Kondensator und ohmschem Widerstand in einem Wechselstromkreis den experimentell bestimmten Gesamtwiderstand Z mit dem aus den Herstellerangaben für Kondensator und ohmschen Widerstand berechneten Wert des Gesamtwiderstandes Z .
- Ermitteln Sie dazu bei einer Frequenz von 50 Hz ein Messwertpaar für Spannung und Stromstärke.
- Die Planung, die Durchführung und die Auswertung des Experimentes beinhalten
- den Entwurf eines Schaltplans,
 - den Aufbau des Versuches und das Aufnehmen der Messwerte,
 - die Berechnung des Gesamtwiderstandes aus den Messwerten,
 - die Berechnung des Gesamtwiderstandes aus den Herstellerangaben sowie
 - den Vergleich und eine Erläuterung von zwei Ursachen für mögliche Abweichungen.
- Sollten Sie keine verwertbaren Messergebnisse erhalten, können Sie Hilfen oder Ersatzmesswerte anfordern. Den nicht erbrachten Leistungen entsprechend werden Bewertungseinheiten abgezogen.*

Material 1: Ein einfaches bioelektrisches Modell eines Menschen

Stark vereinfacht kann ein Mensch als eine Schaltung aus Kondensatoren und ohmschen Widerständen betrachtet werden. Die Zellen des Körpers mit ihren Zellmembranen sind Kondensatoren. Vereinfacht werden alle Zellen zu einem Kondensator mit dem kapazitiven Widerstand X_C zusammengefasst. Die Körperflüssigkeit hat einen ohmschen Widerstand R . Der Gesamtwiderstand des Körpers Z ergibt sich aus der Reihenschaltung von R und X_C (s. Abbildung 1).

Ein hoher kapazitiver Widerstand X_C ist ein Hinweis auf intakte Zellen und somit auf einen guten Fitnesszustand. Ein hoher ohmscher Widerstand R deutet auf einen hohen Fettanteil im Körper und somit auf einen schlechten Fitnesszustand hin.

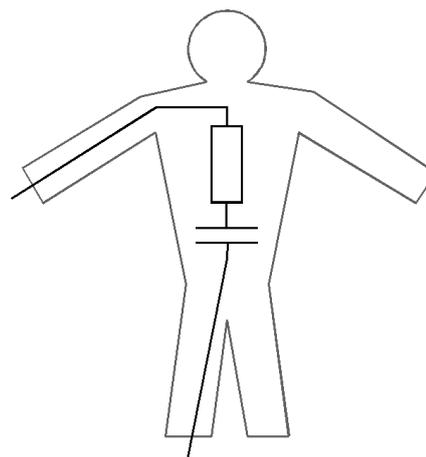


Abbildung 1: Einfaches bioelektrisches Modell eines Menschen

Material 2: Messverfahren für die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

An den rechten Fuß und an die rechte Hand der zu untersuchenden Person werden Elektroden angeschlossen. Es wird eine sehr kleine Wechselspannung der Frequenz 50 kHz so eingestellt, dass ein Wechselstrom der Stärke 0,80 mA durch den Körper des Menschen fließt. Dadurch können der Gesamtwiderstand (die Impedanz) vom Fuß bis zur Hand und die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke erfasst werden.

Um möglichst genaue Messwerte zu erhalten, sind eine Reihe von Bedingungen einzuhalten, so z. B. die folgenden:

- Die zu untersuchende Person darf ca. vier bis fünf Stunden nicht gegessen und nicht getrunken haben.
- Die Messungen zwischen Hand und Fuß sollten immer auf der dominanten, also in den meisten Fällen rechten Seite des Körpers erfolgen.
- Die Elektroden müssen an genau definierten Stellen der Hand und des Fußes aufgeklebt werden. Die Haut an diesen Stellen muss vorher mit Alkohol gereinigt werden.

Material 3: Messungen an einem Fußballspieler

Fußballspieler (24 Jahre; 1,79 m; 75 kg)	X_C in Ω	R in Ω
– untrainiert nach langer Verletzung	50	460
– im Topzustand nach 3 Monaten Aufbautraining	68	538

Tabelle 1: Daten aus PÖTTGEN [3]

Material 4: Einfache Körperfettwaagen für den Hausgebrauch

Für den privaten Gebrauch werden einfache Körperfettwaagen verkauft. Das sind Personenwaagen, welche eine Elektronik zur Messung des Körperfettanteils enthalten.

Das Grundprinzip beruht ähnlich wie bei der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) auf der Messung des Wechselstromwiderstandes. Der Widerstand wird zwischen den beiden Füßen der Person gemessen. Auf der Standfläche der Waage befinden sich Elektroden, so dass die Person mit den Füßen auf diesen Elektroden steht. Unter der Berücksichtigung weiterer Informationen (Alter, Geschlecht, Körpergröße) werden die Messwerte in der Waage analysiert und Daten, wie z. B. die Anteile an Muskelmasse und Körperfett, angezeigt.



Abbildung 2: Messung mit einer einfachen Körperfettwaage

Material 5: Phasenverschiebung im Zeigerdiagramm

In einer Reihenschaltung aus Kondensator und ohmschem Widerstand kann die Phasenverschiebung φ zwischen Spannung und Stromstärke mit Hilfe von Zeigerdiagrammen dargestellt werden.

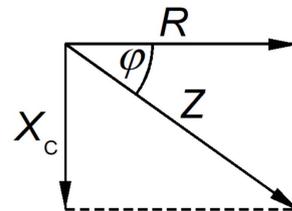


Abbildung 3: Zeigerdiagramm für den kapazitiven Widerstand X_C und den ohmschen Widerstand R

Material 6: Wichtige Gleichungen

Wechselstromwiderstand Z einer Reihenschaltung aus Kondensator und ohmschem Widerstand	$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	$Z \dots$ Gesamtwiderstand (Impedanz) $R \dots$ ohmscher Widerstand $X_C \dots$ kapazitiver Widerstand
kapazitiver Widerstand	$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$	$f \dots$ Frequenz $C \dots$ Kapazität des Kondensators

Quellen:

- [1] Tomczak Jörg. Körperanalysen: Die bioelektrische Impedanzanalyse BIA. In: F.I.T. Wissenschaftsmagazin der Deutschen Sporthochschule Köln. 1, Nr. (8. Jahrgang), ALPHA Informationsgesellschaft mbH, 2003 ;34-40.
- [2] Nutribox. Gebrauchsanleitung.
Fundstelle: www.data-input.de/media/pdf_deutsch_2014/data-input-gebrauchsanleitung-nutribox.pdf, gesichtet am 10.3.2015
- [3] BIA Messung im Fußball. Fallbeispiele im Bundesligakader. Dr. Klaus Pöttgen.
Fundstelle: <http://www.medicalsportsnetwork.de/archive/833595/BIA-Messung-im-Fussball.htm>, gesichtet am 10.3.2015
- [4] Foto: Aufgabenentwickler

Zentrale schriftliche Abiturprüfung**2017**

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung C**für Prüflinge**

Inhalt:	Photoeffekt
Titel:	Sonnenbrand
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.

Sonnenbrand

Die Bestrahlung menschlicher Haut mit Sonnenlicht kann zur Bräunung und leider auch zu Sonnenbrand führen. In dieser Aufgabe wird die Analogie der Vorgänge beim Sonnenbaden mit dem Photoeffekt betrachtet. Eine einfache Variante des Hallwachs-Versuchs soll dabei genutzt werden, um UV-Strahlung nachzuweisen und Sonnencremes auf ihre Schutzfunktion zu testen.

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Erläutern Sie, was man unter dem äußeren Photoeffekt versteht. Gehen Sie dabei auch auf den Begriff der Grenzfrequenz ein. **11**
- Erklären Sie die Beobachtungen beim Hallwachs-Versuch mit Hilfe des Photonenmodells.
- 2** Vergleichen Sie die Bräunung von Haut im Sonnenlicht mit dem Hallwachs-Versuch. **9**
- Begründen Sie, warum die Gefährdung der Haut durch UV-Strahlung an einem wolkenfreien Mittag im Sommer besonders hoch ist.
- 3** Zeigen Sie, dass Zink bei dem einfachen UV-B-Tester kein optimal geeignetes Material für die Platte ist. **15**
- Beurteilen Sie die Eignung der Platten P1 und P2 für den UV-B-Tester.
- 4** Schätzen Sie durch eine Berechnung ab, wie lange die Entladung des UV-B - Testers dauert, wenn man davon ausgeht, dass von 2000 Photonen im Durchschnitt eines ein Elektron auslösen kann. **8**
- 5** Erläutern Sie, wie eine Untersuchung der Stärke des Schutzes von verschiedenen Sonnencremes mit dem Tester erfolgen kann. **7**
- Begründen Sie die Notwendigkeit, weiterhin Testverfahren mit menschlicher Haut durchzuführen.

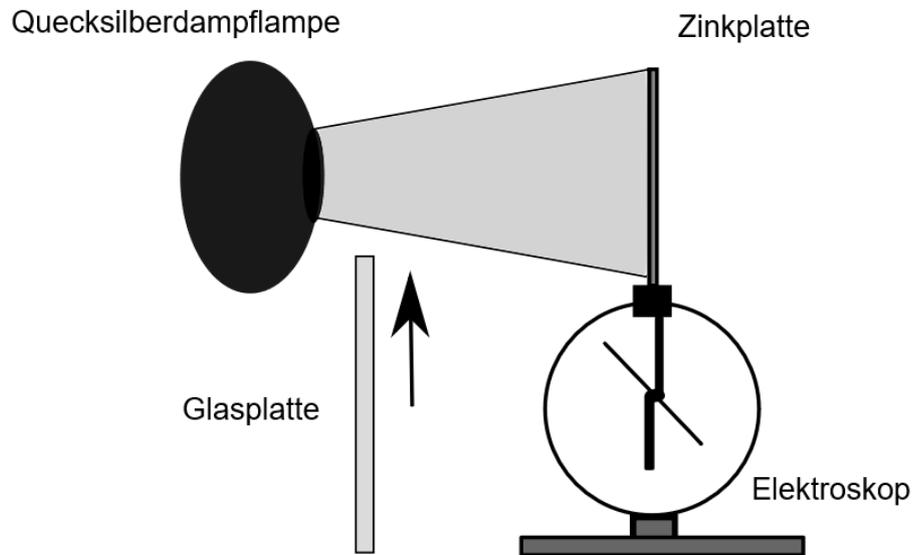
Material 1: Der Hallwachs-Versuch

Abbildung 1: Hallwachs-Versuch

Eine Zinkplatte wird auf ein Elektroskop gesteckt und negativ aufgeladen. Wird die Platte mit dem Licht einer Quecksilberdampfampe beleuchtet, das einen hohen Anteil an UV-Strahlung enthält, so entlädt sich das Elektroskop. Eine Glasplatte aus Fensterglas zwischen der Quecksilberlampe und der Zinkplatte führt dazu, dass sich das Elektroskop nicht entlädt, obwohl die sichtbare Helligkeit der Bestrahlung praktisch unverändert bleibt. Ist die Glasplatte aus Quarzglas, so entlädt sich das Elektroskop.

Material 2: Reaktion der menschlichen Haut im Sonnenlicht

Wird die menschliche Haut von Sonnenlicht beschienen, so kommt es durch den in der Strahlung enthaltenen Ultraviolettanteil (UV-Licht) zu einer Erhöhung der Produktion von Melanin, das für die Bräunung der Haut verantwortlich ist. Gleichzeitig kommt es auch zu Schädigungen von Hautzellen, bei denen entzündliche Stoffe freigesetzt werden, die zur Hautrötung und somit zum Sonnenbrand führen können.

Eine Bestrahlung mit einer sehr hellen Lampe, die ausschließlich sichtbares Licht aussendet, zeigt keine derartige biochemische Wirkung.

Material 3: UV-Anteil des Sonnenlichtes

Das Sonnenlicht enthält neben dem sichtbaren Licht auch infrarote und ultraviolette Anteile. Der hauptsächlich für die Schädigung der Haut verantwortliche Anteil der UV-Strahlung des Sonnenlichtes mit Wellenlängen von 320 nm bis 280 nm wird UV-B-Strahlung genannt. Diese Strahlung wird auf ihrem Weg durch die Atmosphäre und durch die Ozonschicht abgeschwächt. Daher ist die Intensität der UV-B-Strahlung, welche die Erdoberfläche erreicht, nicht nur von der Bewölkung, sondern auch stark von der Jahreszeit und der Tageszeit abhängig. Die UV-B-Strahlung erreicht in Berlin im Sommer zur Mittagszeit eine Strahlungsleistung pro Fläche von bis zu $2,5 \text{ W/m}^2$.

Material 4: Einfacher UV-B-Tester

Im Rahmen einer Schülerarbeit zur fünften Prüfungskomponente hat eine Schülerin angelehnt an das Hallwachs-Experiment ein einfaches Nachweisgerät für UV-B-Strahlung entwickelt. Dabei verwendet sie eine Metallplatte der Größe 100 cm^2 , die auf ein Elektroskop aufgesetzt ist. Über eine Hochspannungsquelle werden die Platte und das Elektroskop negativ aufgeladen. Dieser UV-B-Tester trägt dann eine Ladung von $Q = 9,5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$.

Als Metallplatten stehen neben einer Zinkplatte noch zwei weitere Platten gleicher Größe (P1 und P2) zur Verfügung, die mit verschiedenen Metalllegierungen beschichtet sind.

Um die Eignung der Platten zu prüfen, wurden in Vorversuchen einige Werte bestimmt:

Zinkplatte	Die Austrittsarbeit von Elektronen aus Zink beträgt $W_A = 4,27 \text{ eV}$.
Platte P1	Auslösen von Elektronen ist durch Licht mit Wellenlängen von höchstens $\lambda = 530 \text{ nm}$ möglich
Platte P2	Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 290 \text{ nm}$ löst Elektronen aus, deren maximale kinetische Energie bei $0,40 \text{ eV}$ liegt.

Zum Einsatz kommt der Tester an einem wolkenfreien Mittag im Sommer in Berlin.

Material 5: Überprüfung der Wirkung von Sonnencreme

Sonnencreme soll die Haut vor UV-Strahlung weitgehend schützen. Tatsächlich gelingt es mit den meisten Cremes, 90% und mehr von der UV-Strahlung aufzuhalten. Bevor die Sonnencreme auf den Markt gebracht werden darf, sind Testreihen auf menschlicher Haut vorgeschrieben.

Die Schülerin hat nun folgende Idee: Um die Schutzwirkung mit dem UV-B-Tester zu prüfen, wird die Sonnencreme dünn auf eine Quarzglasplatte aufgetragen und zwischen die Sonne und die Platte des Testers gebracht.

Quellen:

- [1] Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung“ Sonnenstrahlung
http://osiris22.pi-consult.de/userdata/l_20/p_84/library/data/fs-06-130-2-aknir_sonnenstrahlung.pdf (14.11.2015)
- [2] Tag des Sonnenschutzes. http://www.sonnenschutz-sonnenklar.info/images/2015-03-06_Hintergrundinfo_TdS.pdf (14.11.2015)

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2017

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung D
für Prüflinge

Inhalt:	Kernphysik
Titel:	Neutronenaktivierungsanalyse
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.

Neutronenaktivierungsanalyse

Der französische Kaiser Napoleon Bonaparte (1769-1821) starb im Alter von 51 Jahren auf der Insel St. Helena. Obwohl die meisten Analysen zu dem Schluss kamen, dass eine Magenblutung die unmittelbare Todesursache war, hält sich bis heute das Gerücht, Napoleon sei an einer Arsenvergiftung gestorben. In verschiedenen Haarproben Napoleons konnten ungewöhnlich hohe Arsenkonzentrationen nachgewiesen werden.

Der Nachweis lässt sich beispielsweise durch die sogenannte Neutronenaktivierungsanalyse führen. Diese Methode wird in der Aufgabe genauer betrachtet. Die Messergebnisse einer Haarprobe aus dem Jahre 1814 werden ausgewertet. Lässt sich damit die Vergiftungstheorie bestätigen?



*Abbildung 1:
Napoleon im Arbeitszimmer mit Hand in der Weste
(Gemälde von Jacques-Louis David, 1812)¹*

Aufgaben: **BE**

- 1** Beschreiben Sie jeweils die im Kern stattfindenden Prozesse beim Beta-Minus- und beim Gammazerfall. **10**

Nennen Sie für jede der beiden bei einer Neutronenaktivierungsanalyse auftretenden Strahlungsarten zwei Eigenschaften.

- 2** Geben Sie die Kernreaktionsgleichungen für das Aktivieren und für den Beta-Minus-Zerfall bei der Neutronenaktivierungsanalyse von Arsen-75 an. **4**

- 3** Zeigen Sie mithilfe geeigneter Rechnungen, dass mit den Methoden 1 und 2 die Existenz von Arsen-75 in der Haarprobe aus dem Jahre 1814 nachgewiesen werden kann. **16**

- 4** Berechnen Sie die Anzahl der Arsen-76-Kerne, die im untersuchten Haar unmittelbar nach der Aktivierung vorliegen. **13**

$$[\text{Vergleichsergebnis: } N_0 \approx 8,5 \cdot 10^{15}]$$

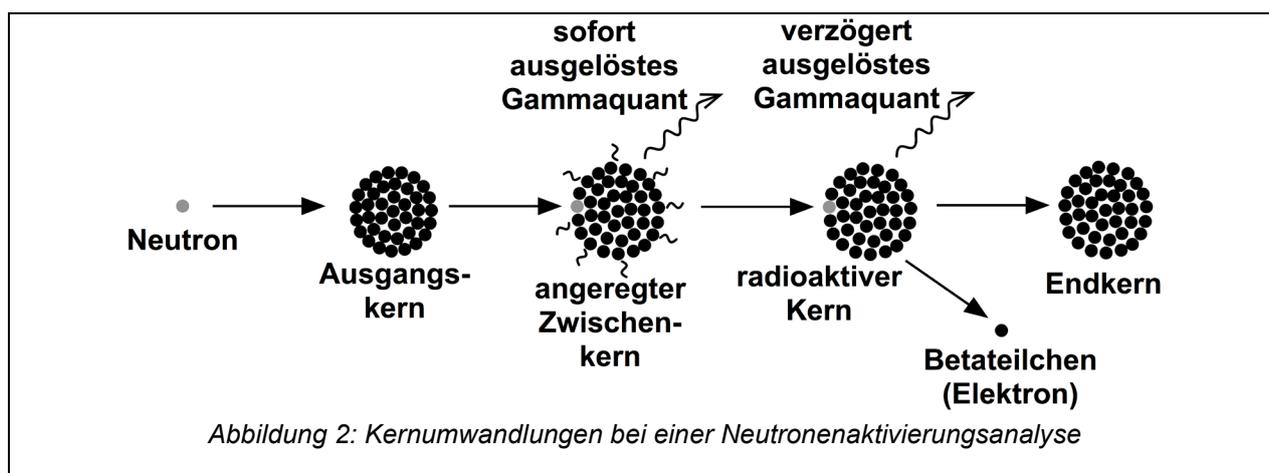
Berechnen Sie daraus die Arsen-75-Konzentration im Haar vor der Aktivierung der Probe in mg pro kg.

- 5** Nennen Sie zwei Gründe dafür, dass die Neutronenaktivierungsanalyse eine beliebte Methode zur Analyse der Element- und Isotopenzusammensetzung von historischen und wertvollen Proben ist. **7**

Diskutieren Sie, ob sich aus Ihren Berechnungen zur Haarprobe aus dem Jahre 1814 und aus den gemessenen Arsenkonzentrationen in weiteren Haarproben (Material 3) schlussfolgern lässt, dass Napoleons Todesursache eine Arsenvergiftung war.

Material 1: Prinzip der Neutronenaktivierungsanalyse

Für die Neutronenaktivierungsanalyse benötigt man nur geringe Mengen des zu untersuchenden Gegenstands, nachfolgend als Probe bezeichnet. Zunächst wird die Probe aktiviert. Das bedeutet, dass aus stabilen Kernen radioaktive Kerne gemacht werden. Um dies zu erreichen, wird die Probe mit Neutronen beschossen. Gelangt ein Neutron in einen stabilen Kern (Ausgangskern), entsteht ein angeregter Zwischenkern. Dieser Zwischenkern gibt ein Gammaquant ab (sofort ausgelöstes Gammaquant). Der so entstandene Kern ist meist instabil, also radioaktiv. Er weist einen der Energie des Gammaquants entsprechenden Massendefekt gegenüber dem angeregten Zwischenkern auf. Beim Beta-Minus-Zerfall dieses radioaktiven Kerns werden ein Elektron und ein verzögert ausgelöstes Gammaquant frei.



Um festzustellen, welche Elemente in der Probe enthalten sind, kommen verschiedene Methoden zur Anwendung. Die Methode 1 ermöglicht die gleichzeitige Untersuchung auf mehrere, verschiedene Elemente.

Methode 1: Die Energie des sofort ausgelösten Gammaquants wird gemessen. Diese Energie wird mit der Energie, die bei dem Übergang des angeregten Zwischenkerns des nachzuweisenden Elementes in den radioaktiven Kern frei werden müsste, verglichen.

Methode 2: Aus den Aktivitäten der erzeugten radioaktiven Kerne zu verschiedenen Zeitpunkten wird die Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls bestimmt. Diese wird mit der Halbwertszeit des radioaktiven Isotops des nachzuweisenden Elementes verglichen.

Material 2: Nachweis von Arsen-75 in einer Haarprobe Napoleons aus dem Jahre 1814

Im Jahre 2003 veröffentlichten Wissenschaftler des Hahn-Meitner-Instituts Berlin (heute Helmholtz-Zentrum) und des Instituts für Radiochemie der Technischen Universität München die Ergebnisse einer Analyse, die sie im Auftrag des ZDF durchführten.

Dabei wurde neben anderen Haarproben Napoleons auch eine Haarlocke aus dem Jahre 1814 untersucht. Diese Haarlocke stammt von einem sieben Jahre vor Napoleons Tod durchgeführten Haarschnitt. Sie wurde als Erinnerung von Napoleons Lieblingsschwester Pauline Borghese aufbewahrt.

Für ein Haar der Locke ermittelte man mittels Neutronenaktivierungsanalyse den Gehalt an Arsen-75. Dazu wurde das Haar mit thermischen Neutronen ($E < 1$ eV) im Forschungsreaktor BER II des Hahn-Meitner-Instituts Berlin bestrahlt.

Daten des untersuchten Haars und Messergebnisse:

Masse des Haars	$m_{\text{Haar}} = 318 \text{ mg}$
Messung der Energie eines sofort ausgelösten Gammaquants	$E_{\gamma} = 7,3 \text{ MeV}$
Aktivitätsmessungen (vom Nulleffekt bereinigt)	
... unmittelbar nach der Aktivierung	$A(0) = 6,2 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
... 12 Stunden nach der Aktivierung	$A(12 \text{ h}) = 4,52 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
Nach erfolgreichem Nachweis des Arsens wurde ermittelt, dass 10 % des vorhandenen As-75 aktiviert wurden.	

Tabellenwerte für Kernmassen, Halbwertszeiten und Energien:

Arsen-75	$m(\text{As-75}) = 74,90349378 \text{ u}$	
Arsen-76	$m(\text{As-76}) = 75,90429089 \text{ u}$	Beta-Minus-Strahler mit der Halbwertszeit $T_h = 26,3 \text{ h}$
Neutron	$m(n) = 1,0086649 \text{ u}$	
Atomare Masseinheit	$1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	

Material 3: Arsenkonzentration in weiteren Haarproben Napoleons

Die Wissenschaftler des Hahn-Meitner-Instituts Berlin und der Technischen Universität München bestimmten auch die Arsen-75-Konzentration in weiteren Haarproben Napoleons.

Art der Probe	Arsen-75-Konzentration
weitere Haarprobe aus dem Jahr 1814:	33,4 mg pro kg
Haarprobe 1, entnommen kurz nach Napoleons Tod:	1,85 mg pro kg
Haarprobe 2, entnommen kurz nach Napoleons Tod:	3,05 mg pro kg

Im **Normalfall** liegt die Arsen-75-Konzentration weit unter 1 mg pro kg.

Material 4: Wichtige Gleichungen

Zerfallsgesetz	$N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_h} \cdot t}$	$N(t)$ Anzahl der Atomkerne eines radioaktiven Isotops zum Zeitpunkt t N_0 Anzahl der Atomkerne des radioaktiven Isotops zum Zeitpunkt $t = 0$ T_h Halbwertszeit
Aktivität	$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln(2)}{T_h} \cdot t}$ $A(t) = \frac{\ln(2)}{T_h} \cdot N(t)$	$A(t)$ Aktivität eines radioaktiven Strahlers, beschreibt die Anzahl der Kernzerfälle pro Sekunde in dem Strahler A_0 Aktivität des Strahlers zum Zeitpunkt $t = 0$

Quellen:

- [1] Abb. 1: Jacques-Louis David - The Emperor Napoleon in His Study at the Tuileries - Google Art Project.jpg (gemeinfrei)
- [2] <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/anwendungen-der-kernphysik/lb/radioaktive-strahlung-der-technik> vom 22.06.2016.
- [3] Freistaat Bayern: Schriftliches Abitur im Leistungskursfach Chemie 2011 (G9), Aufgabe A1.
- [4] Lin, X.; Henkelmann, R.: Contents of arsenic, mercury and other trace elements in Napoleon's Hair determined by INAA using the k_0 -method, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Vol.257, No.3 (2003), S. 615 – 620.