

Zentralabitur 2015

Physik Leistungskurs

Aufgaben für Prüflinge



Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2015

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung A
für Prüflinge

Inhalt:	Felder
Titel:	Ausschaltverzögerung
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
Experimentiermaterial:	Pro Arbeitsplatz: Netzgerät mit Gleichspannung, Kondensator (z.B. 1000 μF) Widerstände, Amperemeter, Verbindungskabel
Gesamtbearbeitungszeit:	270 Minuten inklusive Lese- und Auswahlzeit
Hinweis:	Es müssen zwei Aufgabenstellungen bearbeitet werden.

Ein einfacher Zeitschalter

Eine Reihe von technischen Geräten haben die Aufgabe, nach einer bestimmten Zeit einen zuvor ausgelösten Vorgang zu beenden. Zum Beispiel soll eine durch einen Bewegungsmelder eingeschaltete Lampe nach einer Minute selbständig ausgehen.

Für das verzögerte Ausschalten der Lampe wird häufig die Entladung eines Kondensators genutzt. Im Folgenden wird untersucht, wie ein einfacher Zeitschalter mit Kondensatoren realisiert werden kann.



Abbildung 1: Bewegungsmelder

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Erläutern Sie, wie der Aufbau eines Kondensators seine Kapazität beeinflusst. **11**
Berechnen Sie für den im Material 1 gegebenen Kondensator die aufgenommene Ladung Q .
- 2** Leiten Sie die Gleichung zur Berechnung der Halbwertszeit t_H her. **8**
Entwickeln Sie einen begründeten Vorschlag dafür, wie die Halbwertszeit verdoppelt werden kann.
- 3** Erläutern Sie den Einfluss der Anfangsspannung U , mit welcher der Kondensator aufgeladen wurde, auf die Stromstärke und die Halbwertszeit beim Entladen des Kondensators. **10**
Berechnen Sie die Widerstände R_1 und R_2 im Material 3 so, dass eine Halbwertszeit zwischen 1 und 10 Minuten eingestellt werden kann.
- 4** Weisen Sie rechnerisch nach, dass die in Material 4 gegebene Schaltung zum verzögerten Ausschalten der Lampe nicht geeignet ist. **6**
- 5 Schülerexperiment** **15**
Bestimmen Sie die Halbwertszeiten beim Entladen eines Kondensators über verschiedene Widerstände.
Bearbeiten Sie dazu die folgenden Aufträge.
- Bauen Sie die in Material 5 vorgegebene Schaltung auf.
 - Messen Sie jeweils die Halbwertszeit für zwei unterschiedliche Widerstände.
 - Vergleichen Sie die gemessenen Halbwertszeiten mit den Halbwertszeiten, die sich aus den Herstellerangaben für den Kondensator und die Widerstände berechnen lassen.
 - Erläutern Sie zwei mögliche Ursachen für Abweichungen der gemessenen von den berechneten Werten.
- Sollten Sie keine verwertbaren Messergebnisse erhalten, können Sie Hilfen oder Ersatzmesswerte anfordern. Den nicht erbrachten Leistungen entsprechend werden Bewertungseinheiten abgezogen.*

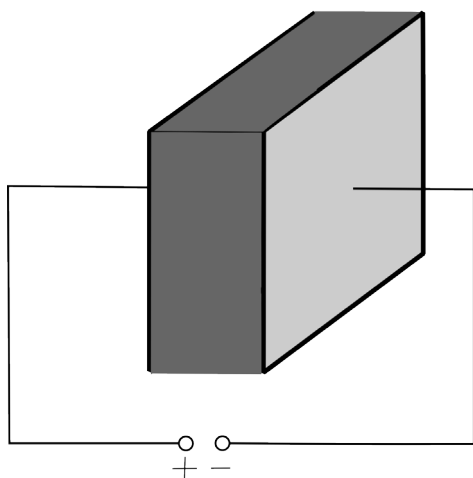
Materialien**Material 1: Plattenkondensator**

Abbildung 2

Daten des PlattenkondensatorsFlächeninhalt: $A = 450 \text{ cm}^2$ Plattenabstand: $d = 12 \text{ mm}$ Dielektrizitätszahl: $\epsilon_r = 16$ Spannung: $U = 10 \text{ V}$ **Material 2: Steuerung des Zeitschalters**

Eine wesentliche Kenngröße bei der Entladung eines Kondensators ist die Halbwertszeit. Sie beschreibt die Zeit, in der sich ein Spannungs- oder Stromstärkewert halbiert. Durch eine geeignete Wahl von Widerständen und Kondensatoren kann die Halbwertszeit, und damit der von ihr gesteuerte Zeitschalter, den Erfordernissen angepasst werden.

Der zeitliche Verlauf der Stromstärke I genügt der Gleichung: $I = I_0 \cdot e^{-\frac{1}{RC} \cdot t}$.

Die Halbwertszeit t_H kann mit Hilfe der Gleichung $t_H = R \cdot C \cdot \ln 2$ berechnet werden.

Material 3: Einstellung der Verzögerung

In der Praxis ändert man die Halbwertszeit durch die Veränderung der Widerstände, über die sich der Kondensator entlädt. Durch eine geeignete Wahl eines Festwiderstandes (hier R_2) und eines verstellbaren Widerstandes (hier R_1) in Reihenschaltung lässt sich die Halbwertszeit auf die gewünschte Dauer einstellen.

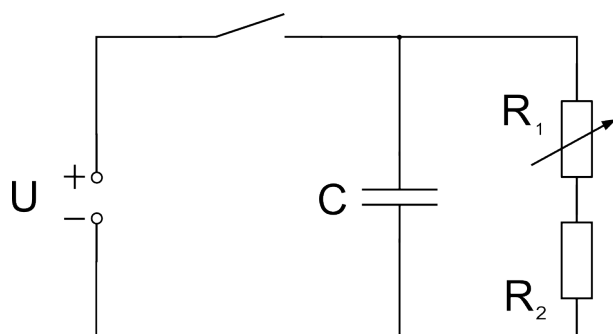


Abbildung 3

Die Kapazität des Kondensators beträgt $C = 3,0 \text{ mF}$.

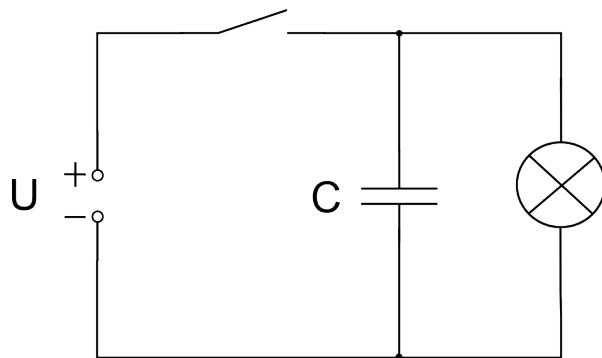
Material 4: Entladung über eine Lampe

Abbildung 4

$$U = 10 \text{ V}$$

$$C = 3,0 \text{ mF}$$

$$P_{\text{Lampe}} = 24 \text{ W}$$

Die elektrische Leistung der Lampe bezieht sich auf eine Spannung von 10 Volt.

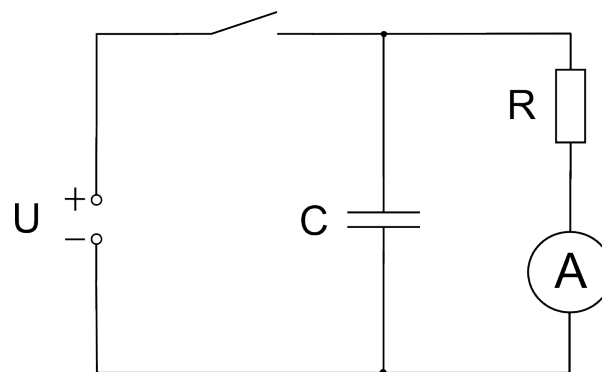
Material 5: Schaltungsaufbau für das Schülerexperiment

Abbildung 5

Fundorte:

- 1 Abbildung 1 : Aufgabenentwickler
- 2 http://www.seidat.de/alte_hp/elektronik_zeitschalter.htm, gesichtet am 28.12.2014
- 3 <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0206115.htm>, gesichtet am 28.12.2014

Zentrale schriftliche Abiturprüfung**2015****Physik**
Leistungskurs**Aufgabenstellung B****für Prüflinge**

Inhalt:	Wechselstromwiderstände
Titel:	Der Hochpassfilter
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.

Der Hochpassfilter

Wichtige Bestandteile moderner Heimkinoanlagen sind Zweiwege – Lautsprecherboxen mit getrennten Lautsprechern. Für einen guten Klang ist es wichtig, dass an die jeweiligen Lautsprecher nur Wechselspannungen mit den Frequenzen gelegt werden, die verarbeitet werden können.

Mithilfe elektrischer Schaltungen von Kondensatoren, Spulen und ohmschen Widerständen können Wechselströme bzw. Wechselspannungen bestimmter Frequenzbereiche entweder gesperrt oder besonders gut durchgelassen werden.

Die folgende Aufgabe beschäftigt sich mit einem solchen Filter, der aus einer Reihenschaltung von Kondensator und ohmschem Widerstand besteht.

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Erläutern Sie das unterschiedliche Verhalten eines Kondensators im Gleich- und im Wechselstromkreis. **12**

Erklären Sie, wie es beim Anlegen einer Wechselspannung an einen Kondensator zur Phasenverschiebung von Stromstärke und Spannung kommt.
 - 2** Stellen Sie die Abhängigkeit des kapazitiven Widerstandes des untersuchten Kondensators von der Frequenz für die gegebenen Messwerte grafisch dar. **15**

Begründen Sie den Kurvenverlauf, indem Sie detailliert auf die Vorgänge im Wechselstromkreis eingehen.

Berechnen Sie die Kapazität des verwendeten Kondensators.
 - 3** Erklären Sie die Wirkungsweise eines Hochpassfilters. **11**

Analysieren Sie dazu das Verhältnis aus Eingangs- und Ausgangsspannung für hohe und tiefe Frequenzen.
 - 4** Leiten Sie die Gleichung für die Trennfrequenz her. **7**

Berechnen Sie die Kapazität des in der Modellschaltung benötigten Kondensators,
 - 5** Begründen Sie einen möglichen Aufbau für eine Tiefpassschaltung **5**

Materialien

Material 1: Aufbau einer Lautsprecherbox

Ein Lautsprecher wandelt elektrische Signale in Töne um. Dazu wird an seine Anschlüsse eine Wechselspannung angelegt. Unterschiedliche Tonhöhen resultieren aus den verschiedenen Frequenzen der angelegten Spannung. Für eine optimale Wiedergabe der unterschiedlichen Frequenzen müssen die einzelnen Lautsprecher unterschiedlich aufgebaut sein. In einer Zweizeige - Lautsprecherbox sind zwei unterschiedliche Lautsprecher eingebaut.

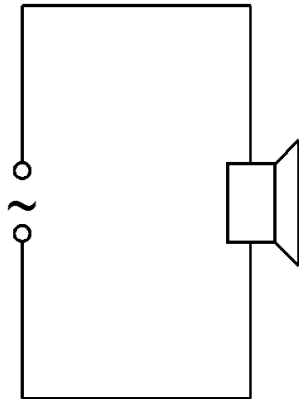


Abbildung 1: Lautsprecher



Abbildung 2: Lautsprecherbox

Material 2: Der Kondensator im Wechselstromkreis

Ein Kondensator besitzt in einem Gleichstromkreis einen unendlich großen Widerstand. Beim Anlegen einer Wechselspannung ist der Widerstand abhängig von der Frequenz und der Kapazität.

kapazitiver Widerstand X_C	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$	f ... Frequenz der Wechselspannung C ... Kapazität des Kondensators
Kreisfrequenz ω	$\omega = 2\pi \cdot f$	<i>Der ohmsche Widerstand des Kondensators wird vernachlässigt.</i>

Untersucht man den zeitlichen Verlauf von Stromstärke und Spannung mit einem Oszilloskop, so stellt man eine Phasenverschiebung fest.

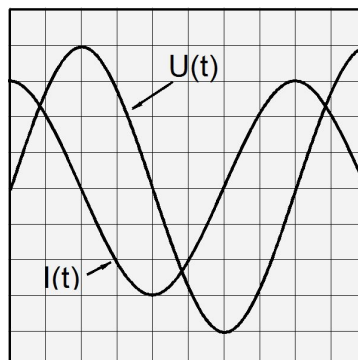


Abbildung 3: Darstellung des zeitlichen Verlaufes von Stromstärke und Spannung an einem Kondensator mit Hilfe eines Oszilloskops

Material 3: Messungen an einem Kondensator

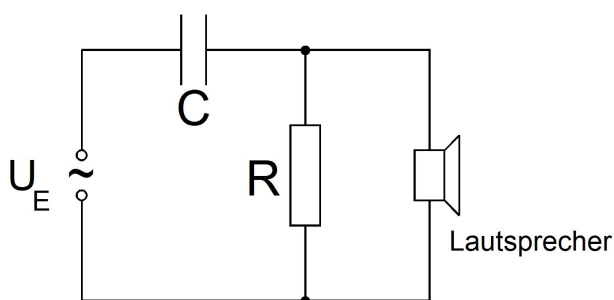
In einem Experiment wurde der Einfluss der Frequenz f der Wechselspannung auf die Stromstärke I_{eff} in einem Kondensator untersucht. Dabei wurde die Höhe der Wechselspannung $U_{eff} = 3,0 \text{ V}$ nicht geändert. Es ergaben sich die in der Tabelle dargestellten Messwerte. Alle Angaben für Spannung und Stromstärke sind Effektivwerte.

f in Hz	10	20	50	100	200	500
I_{eff} in A	0,019	0,038	0,094	0,188	0,375	1

Tabelle 1: Messwerte

Material 4: Der Hochpassfilter

Der Hochpassfilter ist eine in Lautsprechern verwendete Filterschaltung. Bei Anlegen einer Wechselspannung als Eingangsspannung U_E stellt man fest, dass eine am Widerstand abgegriffene Teilspannung als Ausgangsspannung U_A von der Frequenz abhängig ist.



Diese Eigenschaft kann gut durch das Verhältnis der Spannungen beschrieben werden.

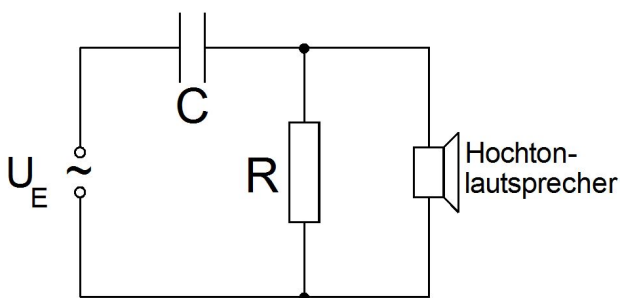
Für einen Hochpassfilter gilt:

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\omega^2 \cdot R^2 \cdot C^2} + 1}}$$

Abbildung 4: Hochpass

Material 5: Frequenztrennung

Wichtig für die Qualität jeder Lautsprecherbox ist die technische Realisierung der sogenannten Trennfrequenz f_T , ab der das Signal überwiegend an den Hochtonlautsprecher geleitet wird. Bei dieser Trennfrequenz $f_T = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$ fällt am Widerstand R die gleiche Spannung ab wie am Kondensator der Kapazität C .



Für einen Hochpass in Lautsprecherboxen wird häufig eine Trennfrequenz von $f_T = 2500 \text{ Hz}$ verwendet.

In dieser Modellschaltung wird ein ohmscher Widerstand $R = 10 \Omega$ verwendet.

Abbildung 5: Hochpass mit Hochtonlautsprecher

Fundorte:

- 1 Rost, A. (1982). Grundlagen der Elektronik, Akademie Verlag
- 2 Passive Frequenzweichen http://www.thomann.de/de/lautsprecher_frequenzweichen.html, gesichtet am 10.05.2014
- 3 Abbildung 2, eigenes Foto

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2015

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung C
für Prüflinge

Inhalt:	Quantenphysik
Titel:	Mikroskopieren mit Photoelektronen
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.

Mikroskopieren mit Photoelektronen

Mit der Photoemissionselektronenmikroskopie (PEEM) können Oberflächen hochempfindlicher Materialien untersucht werden. Dabei werden die zu untersuchenden Proben mit elektromagnetischen Wellen bestrahlt. Die dadurch aus dem Material der Probe austretenden Elektronen werden direkt zur Erzeugung eines Bildes der Oberflächenstruktur verwendet.

In den folgenden Aufgaben wird genauer untersucht, welche Voraussetzungen für die Herstellung hochauflösender Bilder erfüllt sein müssen.

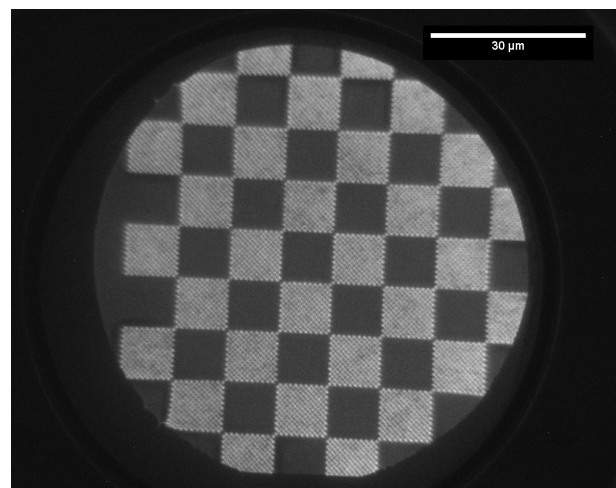


Abbildung 1: PEEM-Aufnahme einer Goldbeschichtung auf Silizium

Foto: M. Bauer (Uni Kiel)

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Erläutern Sie das Photonenmodell des Lichtes. **8**
Erklären Sie mit Hilfe des Photoeffekts, wie bei der PEEM Elektronen aus dem zu untersuchenden Material herausgelöst werden.
- 2** Stellen Sie die Abhängigkeit der maximalen kinetischen Energie der Photoelektronen von der Frequenz des eingestrahlten Lichtes für die Messwerte in Material 2 graphisch dar. **15**
Erläutern Sie, dass bei gleicher Wellenlänge des verwendeten Lichtes nicht alle emittierten Elektronen mit der gleichen Energie aus der Oberfläche des Materials austreten.
Stellen Sie eine begründete Vermutung zu dem verwendeten Material auf.
- 3** Zeigen Sie, dass Licht mit 200 nm Wellenlänge geeignet ist, Gold nachzuweisen. **12**
Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit der Elektronen, die bei dieser Wellenlänge aus der Oberfläche der Goldbeschichtung herausgelöst werden.
- 4** Begründen Sie, dass PEEM-Untersuchungen extrem saubere Proben erfordern. **10**
Diskutieren Sie, wie sich
- eine Erhöhung der Intensität,
 - eine Erhöhung der Frequenz
- des verwendeten Lichtes auf den elektrischen Strom der Photoelektronen und das Bild auswirken.
- 5** Erklären Sie, warum durch die Beleuchtung der Oberfläche in einem besonders kleinen Winkel Oberflächenstrukturen abgebildet werden können. **5**

Materialien

Material 1: Photoemissionselektronenmikroskopie

Photoemissionselektronenmikroskopie (PEEM) eignet sich zur Untersuchung von Oberflächenstrukturen. Bei der PEEM wird die zu untersuchende Probe mit Licht bestrahlt. Die dadurch aus einer Oberfläche emittierten Elektronen werden mittels eines elektrostatischen Linsensystems zwischen Material und Schirm gebündelt und zur Herstellung eines Bildes verwendet. Im einfachsten Fall werden dabei die Elektronen auf einen Schirm gelenkt. Das erzeugte Bild ist umso heller, je mehr Elektronen auf den Schirm auftreffen.

Bei der Bestrahlung der zu untersuchenden Oberfläche werden Photonen verwendet, deren Energie größer ist als die mittlere Austrittsarbeit der Materialien, aus denen die Probenoberfläche besteht. Je größer die Differenz zwischen Photonenenergie und der Austrittsarbeit ist, umso mehr Elektronen können aus der Oberfläche austreten. Der Kontrast des Bildes wird durch die Unterschiede in der Austrittsarbeit der auf der Probe vorhandenen Materialien bestimmt.

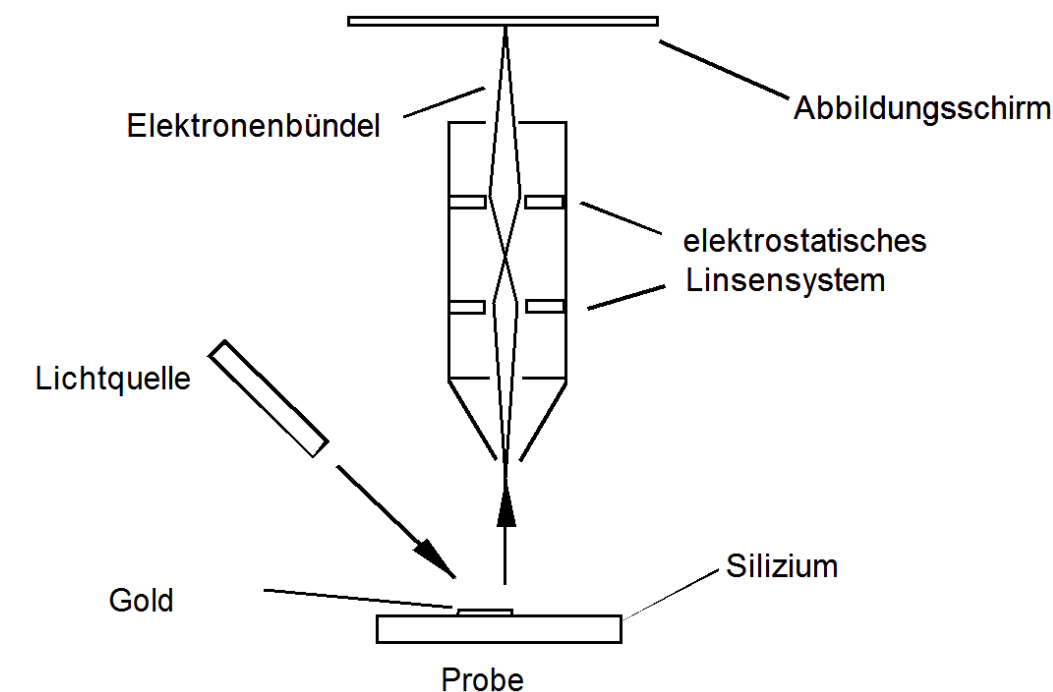


Abbildung 2: Vereinfachter Aufbau eines PEEM

Um Oberflächenstrukturen einer Probe abzubilden, wird die Lichtquelle so angeordnet, dass das Licht schräg, in einem besonders kleinen Winkel auf die abzubildende Oberfläche fällt. Kanten und Vertiefungen werden so sichtbar.

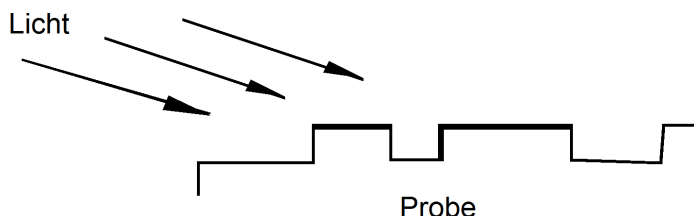


Abbildung 3: Beleuchtung einer Probe zur Untersuchung der Oberflächenstruktur

Material 2: Energie der Photoelektronen bei einer Messung

Grundlage für die PEEM bilden Kenntnisse über den Betrag der Austrittsarbeit des zu untersuchenden Materials. Um die Austrittsarbeit eines bestimmten Stoffes zu bestimmen, wird dieses mit monochromatischem Licht unterschiedlicher Wellenlängen bestrahlt und jeweils die maximale Energie der heraus gelösten Elektronen bestimmt.

Dabei ergeben sich folgende Messwerte:

Wellenlänge λ in nm	maximale kinetische Energie $E_{kin,max}$ in eV
290	0,6
250	1,4
200	2,6
150	4,8

Tabelle 1

Material 3: Austrittsarbeit verschiedener Materialien

Aluminium	4,20 eV	Magnesium	3,70 eV	Wolfram	4,54 eV
Kupfer	4,48 eV	Kalzium	3,20 eV	Gold	4,71 eV

Tabelle 2

Fundorte:

- 1 Foto einer Goldbeschichtung von Silizium: Michael Bauer, Universität Kiel, mit freundlicher Genehmigung des Autors
- 2 Michael Dunin v. Przychowski, Photoemissions-Elektronenmikroskopie an Adsorbatsystemen, Dissertation zur Erlangung des Grades „Doktor der Naturwissenschaften“ am Fachbereich für Physik der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, Zugriff am 05.02. 2014 unter <http://ubm.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2006/917/pdf/diss.pdf>

Zentrale schriftliche Abiturprüfung
2015

Physik

Leistungskurs

Aufgabenstellung D
für Prüflinge

Inhalt:	Kernphysik
Titel:	Radionuklidbatterie der Raumsonde New Horizons
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.

Radionuklidbatterie der Raumsonde New Horizons

In der Raumfahrt wird die Energie radioaktiver Strahlung verwendet. Die im Januar 2006 gestartete Raumsonde New Horizons wird voraussichtlich im Juli 2015 den Zwergplaneten Pluto erreichen. Sie hat eine Radionuklidbatterie an Bord, die die notwendige elektrische Energie bereit stellt.

Auf welche Weise über Jahre hinweg mit Hilfe dieser Radionuklidbatterie Funkgeräte und Messinstrumente mit Energie versorgt werden können, wird in der folgenden Aufgabe thematisiert.



*Abbildung 1: Raumsonde New Horizons
(Bild: NASA)*

- Aufgaben:** **BE**
- 1** Erläutern Sie die in der Radionuklidbatterie auftretenden Energieumwandlungen. **7**
Stellen Sie die Gleichung für die Umwandlung von Pu-238 auf.
Erklären Sie, dass die weitere Umwandlung der zerfallenen Kerne praktisch keine Bedeutung für die Stromversorgung der Raumsonde New Horizons hat.
 - 2** Stellen Sie die elektrische Leistung der Radionuklidbatterie in Abhängigkeit von der Zeit für einen Zeitraum von 50 Jahren in einem Diagramm dar. **9**
Ermitteln Sie, wie lange die Stromversorgung der Sonde bei Normalbetrieb funktionsfähig bleiben könnte.
 - 3** Weisen Sie mit Hilfe des Massendefekts nach, dass bei einer Kernumwandlung von Plutonium eine Energie von etwa $E = 5,6 \text{ MeV}$ frei wird. **17**
Zeigen Sie, dass zum Zeitpunkt des Starts etwa $5,36 \cdot 10^{15}$ Kernzerfälle pro Sekunde stattgefunden haben.
Berechnen Sie die erforderliche Masse an Plutoniumdioxid (PuO_2) zu Beginn der Mission.
 - 4** Begründen Sie die genannten Grundsätze für die Wahl des radioaktiven Materials beim Bau von Radionuklidbatterien. **9**
Zeigen Sie, dass Pu-238 diesen Anforderungen genügt.
 - 5** Diskutieren Sie Vor- und Nachteile des Einsatzes von Radionuklidbatterien. **8**

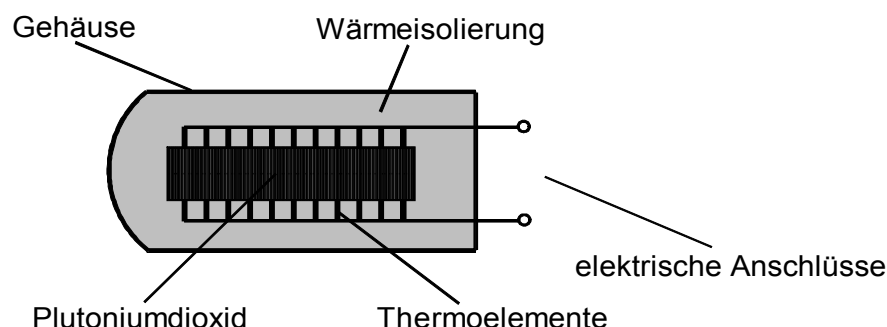
Materialien**Material 1: Radionuklidbatterie der Raumsonde New Horizons**

Abbildung 2: Aufbau einer Radionuklidbatterie

Die am 19.01.2006 gestartete Raumsonde New Horizons wird voraussichtlich im Juli 2015 den Zwergplaneten Pluto und seinen Mond Charon erreichen. Da auf Grund des großen Abstandes zur Sonne die Stromversorgung durch Solarzellen unzureichend ist, wurden Radionuklidbatterien verwendet.

Bei einer Radionuklidbatterie wird die von einem Radionuklid emittierte Strahlung absorbiert. Dies führt zu einer Erwärmung bestimmter Bereiche der Batterie. Die dabei auftretenden Temperaturunterschiede werden in Thermoelementen zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie beträgt bei der für die Raumsonde eingesetzten Batterie nur etwa 5 %.

Bei der Raumsonde New Horizons wurde der α -Strahler Pu-238 in Form von Plutoniumdioxid (PuO_2) verwendet. Zum Zeitpunkt Null des Startes lieferte die Batterie eine elektrische Leistung von $P_{\text{elek}}(0) = 240 \text{ W}$. Für einen normalen Betrieb der Sonde, ist eine Batterieleistung von etwa $P_{\text{elek}} = 180 \text{ W}$ notwendig. Die zeitliche Abnahme der elektrischen Leistung der Radionuklidbatterie lässt sich näherungsweise mit der folgenden Gleichung bestimmen:

$$P_{\text{elek}}(t) = P_{\text{elek}}(0) \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_H} \cdot t}$$

T_H ist die Halbwertszeit des verwendeten Radionuklids.

Material 2: Angaben zu Kernmassen und Halbwertszeiten

Element	Isotop	Kernmasse in u	Strahlung	Halbwertszeit T_H
Plutonium	Pu-238	237,99799	α	87,74 Jahre
Uran	U-234	233,99048	α	245 000 Jahre

Masse α - Teilchen: $m_\alpha = 4,00151 \text{ u}$

Atomare Masseneinheit: $u = 1,660540 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Material 3: Zerfallsgesetz und Aktivität eines Strahlers

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

Material 4: Anforderungen an das radioaktive Material von Radionuklidbatterien

Viele Radionuklide fallen als Abfallprodukte in Kernreaktoren an und sind somit kostengünstig zu bekommen.

Für den Einsatz von Radionuklidbatterien in der Raumfahrt gelten einige Grundsätze für das verwendete Material. Zu diesen zählen u.a.:

- Es sollten Radionuklide verwendet werden, deren Strahlung leicht abschirmbar ist.
- Die Halbwertszeit sollte wesentlich größer als die Betriebszeit, aber auch nicht zu lang sein (bis maximal 500 Jahre).

Fundorte:

- 1 Bild Raumsonde New Horizons: http://www.nasa.gov/mission_pages/newhorizons/main/#.Uwny0_I5OT8 gemeinfrei, gesichert am 27.02.2014
- 2 http://de.wikipedia.org/wiki/New_Horizons, gesichtet am 27.02.2014
- 3 <http://www.bernd-leitenberger.de/cassini-rtg.shtml>, gesichtet am 27.02.2014
- 4 <http://de.wikipedia.org/wiki/Radionuklidbatterie>, gesichtet am 27.02.2014