



Name: _____

Abiturprüfung 2009

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe 1: Induktionsspannungen an einer im Magnetfeld schwingenden Leiterschaukel

Ein Kupferstab der Länge $L = 14 \text{ cm}$ hängt wie in Abbildung 1 dargestellt an zwei sehr dünnen langen Kupferdrähten. Diese Leiterschaukel schwingt in einem homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$. Die Längsachse des Kupferstabes steht stets senkrecht zu \vec{B} und zum Geschwindigkeitsvektor \vec{v} . Außerdem gilt (in guter Näherung) $\vec{v} \perp \vec{B}$.

Der Versuch zeigt, dass zwischen den Enden des Kupferstabes eine Spannung auftritt. Diese Spannung wird nach Vorverstärkung durch einen Mikrovoltverstärker mit einem Digitalspeicheroszilloskop oder einem Messwerterfassungssystem aufgezeichnet. Die in den Abbildungen 2 und 3 dargestellten Graphen geben den zeitlichen Verlauf der auftretenden Spannung $U(t)$ wieder.



Name: _____

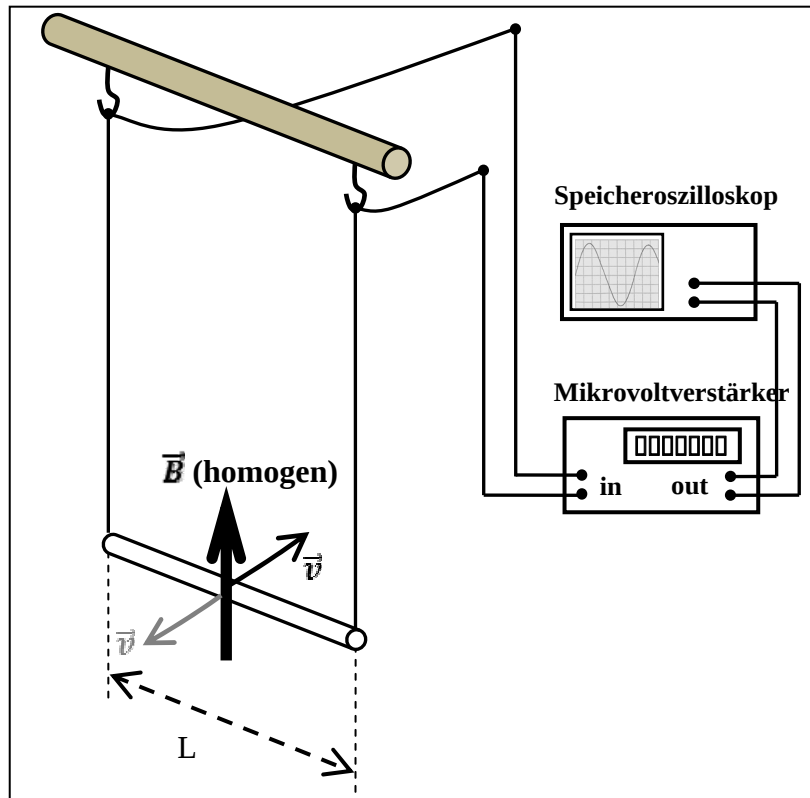


Abbildung 1: Versuchsaufbau, Leiterschaukel im homogenen B-Feld

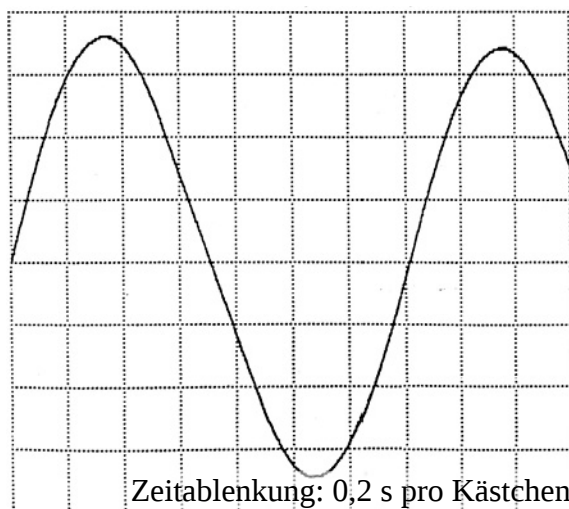


Abbildung 2: Messdiagramm 1

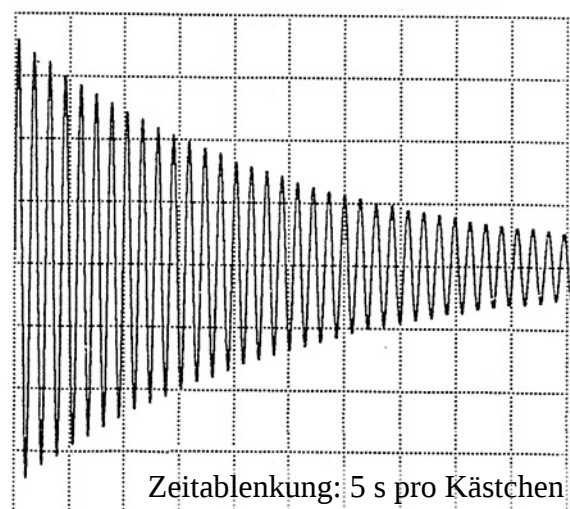


Abbildung 3: Messdiagramm 2

Für beide Diagramme gilt:

Verstärkungsfaktor (Oszilloskop): 2 Volt pro Kästchen

Vorverstärkung (Mikrovoltverstärker): 10^4



Name: _____

- a)
- Skizzieren Sie einen im Magnetfeld bewegten Leiter, indem Sie Abbildung 1 vereinfachen (zweidimensionale Prinzipskizze).
 - Erläutern Sie, wieso bei diesem Versuch eine Spannung $U(t)$ zwischen den Enden des Leiters auftritt.
 - Leiten Sie (gegebenenfalls durch Ergänzung Ihrer Skizze) die hier gültige Beziehung $U(t) = L \cdot v(t) \cdot B$ her.

(L bezeichnet die Länge des Kupferstabes.)

(13 Punkte)

- b) Sieht man zunächst noch von der Dämpfung ab, so verläuft $U(t)$ in guter Näherung sinusförmig (siehe Abbildung 2). Bei der Bearbeitung der folgenden Aufgabe darf daher zunächst von einem rein sinusförmigen Verlauf von $U(t)$ ausgegangen werden.

- Bestimmen Sie aus dem Messdiagramm 1 (Abbildung 2) die Periodendauer T des Spannungssignals $U(t)$.
- Bestimmen Sie aus dem Messdiagramm 1 (Abbildung 2) die Höhe der (ersten) Amplitude U_0 des Spannungssignals $U(t)$.
- Geben Sie einen allgemeinen Funktionsterm für $U(t)$ an.
- Geben Sie den Funktionsterm für $U(t)$ mit den konkreten Größen für den hier vorliegenden Fall an.
- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit v_0 , mit der die Leiterschaukel durch die Ruhelage, also durch den tiefsten Punkt der Bewegung schwingt.

($L = 14 \text{ cm}$, $|\vec{B}| = 2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$)

(13 Punkte)



Name: _____

c) Das Oszillogramm in Abbildung 3 zeigt, dass die reale Schwingung gedämpft ist. Die Amplituden nehmen mit fortschreitender Zeit ab. Diese gedämpfte Schwingung kann durch eine Funktion der Form

$$U(t) = U_A \cdot e^{-kt} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot t\right)$$

beschrieben werden.

- Beschreiben Sie (rein qualitativ) ein Verfahren, mit dem Sie nachweisen könnten, dass die Abnahme der Amplituden exponentiell erfolgt.

Hinweis: Die Anwendung des beschriebenen Verfahrens ist nicht verlangt.

Annahme: Die Amplitudenabnahme erfolgt exponentiell, das Zeit-Spannungs-Diagramm wird also durch einen Funktionsterm der oben genannten Form beschrieben.

- Leiten Sie mit der genannten Annahme einen Term zur Bestimmung des Dämpfungsfaktors k her.
- Bestimmen Sie einen Wert für k .

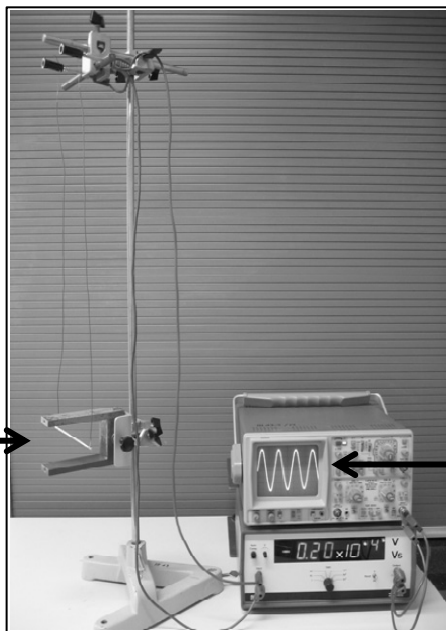
Hinweis:

Der Vorfaktor U_A ist *nicht* bekannt, er entspricht auch *nicht* der Höhe der 1. Amplitude. (Kontrollergebnis: $k \approx 0,04 \text{ s}^{-1}$)

(14 Punkte)

Name: _____

d)



Wie in Abbildung 4a dargestellt, soll der Kupferstab im Magnetfeld eines großen Hufeisenmagneten schwingen. **Dabei befindet sich der Leiter zunächst im Raumgebiet zwischen den beiden Schenkeln des Magneten.** Das Oszilloskop zeigt den in Abbildung 4b wiedergegebenen Spannungsverlauf.

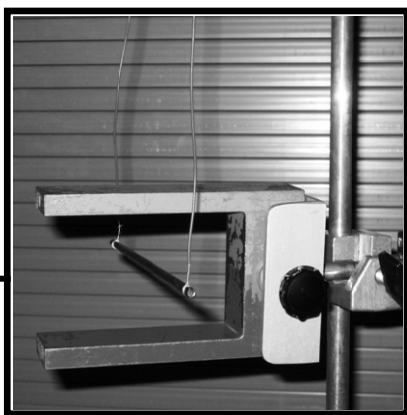


Abbildung 4a:
Versuchsaufbau mit Hufeisenmagnet, der Kupferstab befindet sich in der Ruhelage

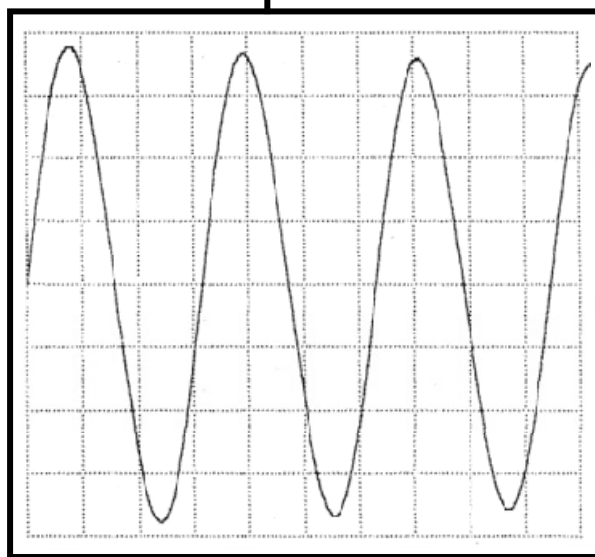


Abbildung 4b:
Zeitlicher Verlauf der Induktionsspannung

Die Leiterschaukel und der Magnet werden neu ausgerichtet. Wenn der Kupferstab **durch die Ruhelage schwingt, befindet er sich gerade noch zwischen den Schenkeln des Hufeisenmagneten (siehe Abbildung 5a).** Das Oszilloskop zeigt nun den in Abbildung 5b wiedergegebenen zeitlichen Verlauf der Spannung an.



Name: _____



Abbildung 5a:
Versuchsaufbau mit Hufeisenmagnet,
der Kupferstab befindet sich in der
Ruhelage

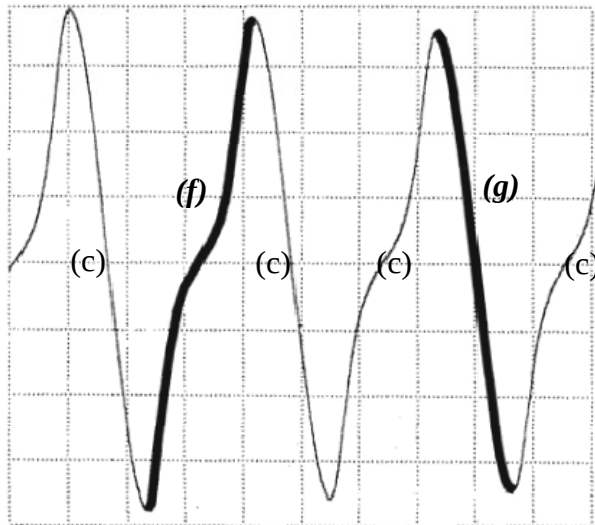


Abbildung 5b:
Zeitlicher Verlauf der Induktionsspannung

- Erklären Sie, warum das Zeit-Spannungs-Diagramm im zweiten Fall (Abbildung 5b) gegenüber dem Kurvenverlauf im ersten Fall (Abbildung 4b) deutlich „verzerrt“ ist.
 - Erklären Sie, an welchen Stellen (seiner Bahnkurve) sich der Leiter jeweils im Magnetfeld befunden haben muss, als die Nulldurchgänge (c) geschrieben wurden.
 - Erläutern Sie, wie sich der Leiter (relativ zum Magneten) bewegt haben muss, damit die mit (f) bzw. (g) benannten und „fett“ markierten Kurvenabschnitte des Zeit-Spannungs-Diagramms geschrieben werden konnten. (11 Punkte)
- e) Werden die beiden Aufhängungsdrähte der Leiterschaukel nicht mit dem (hochohmigen) Messgerät, sondern einfach mit einem Kabel (also Leiter) miteinander verbunden, wirkt auf die Leiterschaukel außer der Rückstellkraft und von der Aufhängung und dem Luftwiderstand verursachten Dämpfungskräften auch noch eine weitere Kraft
- $$F_x = \frac{L^2 \cdot B^2}{R_{LS}} \cdot v(t).$$
- Dabei ist R_{LS} der elektrische Widerstand der Leiterschaukel, bestehend aus dem Kupferstab und den beiden Aufhängerdrähten sowie dem Verbindungskabel.
- Erläutern Sie Ursache, Richtung und Wirkung dieser Kraft.
 - Leiten Sie den angegebenen Term her. (13 Punkte)



Name: _____

Aufgabe 2: Radioaktiver Zerfall von Uran und das Alter der Erde

In dieser Aufgabe geht es um die Bestimmung des Alters der Erde mit der Uran-Blei-Methode.

a) Allgemeines zum radioaktiven Zerfall

Das natürlich vorkommende Uran-Isotop U-238 zerfällt über mehrere Zwischenprodukte in das stabile Blei-Isotop Pb-206. Uran-238 zerfällt in einem α -Zerfall, das erste Tochterelement zerfällt in einem β^- -Zerfall.

- Beschreiben Sie die beim α -Zerfall und β^- -Zerfall im Atomkern stattfindenden Umwandlungsprozesse.
- Geben Sie die Umwandlungsgleichungen für den Zerfall von U-238 und den Zerfall des ersten Tochterelements an.
- Geben Sie an, wie viele α -Zerfälle in der Zerfallsreihe von ${}^{238}_{92}\text{U}$ bis ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ stattfinden, und bestimmen Sie dann die Anzahl der β^- -Zerfälle.
- Begründen Sie jeweils die Anzahl der Zerfälle. (14 Punkte)

b) Ein vereinfachtes Modell für den Zerfall von U-238 in Pb-206

Bei der Bestimmung des Alters der Erde geht man von einem vereinfachten Modell aus, in dem diese Zerfallsreihe durch einen einzigen Zerfall vom Mutterelement U-238 in das Tochterelement Pb-206 mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9$ a beschrieben wird.

- Begründen Sie anhand der Tabelle 1, dass dieses Modell zulässig ist. (4 Punkte)

Tabelle 1: Halbwertszeiten $T_{1/2}$ der Nuklide in der Zerfallsreihe von U-238 in Pb-206

Nuklid	Mutternuklid U-238	Nuklid 2	Nuklid 3	Nuklid 4	Nuklid 5	Nuklid 6	Nuklid 7	
$T_{1/2}$	$4,47 \cdot 10^9$ a	24,10 d	6,7 h	$2,46 \cdot 10^5$ a	$7,54 \cdot 10^4$ a	$1,60 \cdot 10^3$ a	3,83 d	
Nuklid	Nuklid 8	Nuklid 9	Nuklid 10	Nuklid 11	Nuklid 12	Nuklid 13	Nuklid 14	Endnuklid Pb-206
$T_{1/2}$	3,05 m	26,8 m	19,9 m	0,2 s	22,3 a	5,01 d	138 d	stabil

a: Jahre, d: Tage, m: Minuten, s: Sekunden



Name: _____

c) Grafische Darstellung des Zerfalls im vereinfachten Modell

- Stellen Sie in einem Diagramm den Graphen $N_M(t)$, d. h. die Anzahl der Mutterkerne U-238 in Abhängigkeit von der Zeit dar, wenn zum Zeitpunkt $t = 0$ die Anzahl N_{M_0} vorliegt.
- Begründen Sie Ihr Vorgehen.
- Zeichnen Sie zusätzlich in dieses Diagramm den Graphen für $N_T(t)$, d. h. die Anzahl der Tochterkerne Pb-206 in Abhängigkeit von der Zeit unter der Voraussetzung ein, dass zum Zeitpunkt $t = 0$ keine Tochterkerne vorhanden waren.
- Begründen Sie Ihr Vorgehen. (9 Punkte)

d) Verfahren zur Berechnung des Alters der Erde

Gehen Sie bei der Bearbeitung dieser Aufgabe davon aus, dass bei der Bildung der festen Erdkruste Gesteine entstanden, die Uran, aber kein Blei enthielten.

Man kann die seit dem Zeitpunkt der Entstehung der Gesteine ($t = 0$) vergangene Zeit, d. h. das Alter der Gesteinsprobe, dann aus dem Verhältnis der Kerne U-238 und Pb-206 in Proben dieser Gesteine ermitteln.

Die Anzahl der Kerne des Mutterelements Uran nimmt ab nach der Beziehung:

$$N_M(t) = N_{M_0} \cdot e^{-\lambda t},$$

wobei λ die Zerfallskonstante ist.

- Leiten Sie daraus folgende Gleichung für das Alter der Gesteinsprobe her.

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \cdot \ln\left(1 + \frac{N_T(t)}{N_M(t)}\right)$$

Das Alter der ältesten gefundenen Gesteinsprobe kann man in etwa mit dem Alter der Erde gleichsetzen. In einer solchen Probe wurde für das Verhältnis der Anzahl der Kerne

von Pb-206 und U-238 der Wert $\frac{N_{\text{Pb-206}}}{N_{\text{U-238}}} = 1,02$ bestimmt.

- Berechnen Sie das Alter der Erde. (9 Punkte)



Name: _____

e) Prüfung, ob eine Probe verunreinigt ist

Eine sehr große Fehlerquelle bei der Altersbestimmung ist die „Verunreinigung“ der Proben durch Blei, sobald man sie Umwelteinflüssen aussetzt.

- Erläutern Sie, warum das Hinzukommen von Blei aus der Umwelt zu einem Fehler bei der Altersbestimmung führt.
- Begründen Sie, ob die Probe dadurch älter oder jünger erscheint, als sie tatsächlich ist. Das in der Umwelt vorkommende Blei besteht aus mehreren Isotopen, unter anderen aus Pb-206 und Pb-204. Diese beiden Isotope treten stets etwa im gleichen Verhältnis (17 : 1) auf.

Um herauszufinden, ob eine Probe verunreinigt ist, analysiert man, ob die Probe das Isotop Pb-204 enthält, da dieses in der Zerfallsreihe von U-238 nicht vorkommt.

- Beschreiben Sie den Rechenweg, wie man das Alter eines uranhaltigen Gesteins möglichst genau bestimmen kann, auch wenn man eine bestimmte Menge Pb-204 in der untersuchten Probe gefunden hat. (9 Punkte)



Name: _____

f) Bestimmung der Halbwertszeit von sehr langlebigen Nukliden

Es soll die Halbwertszeit eines Nuklids bestimmt werden, die im Bereich von sehr vielen Jahren liegt. Die experimentelle Bestimmung ist auf der Grundlage der Beziehung $A(t) = \lambda \cdot N(t)$ möglich, wobei $A(t)$ die Aktivität zum Zeitpunkt t bedeutet.

- Leiten Sie die Beziehung für die Aktivität $A(t) = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N(t)$ aus dem Zerfallsgesetz begründet her.

Eine Probe besteht nur aus Mutter- und Tochterelement. Zur Ermittlung von $N(t)$ – d. h. der Anzahl der noch nicht zerfallenen Mutterkerne – wird ein kleiner Teil der Probe mit Hilfe eines Massenspektrometers analysiert. Zusätzlich steht eine Präzisionswaage zur Verfügung.

- Beschreiben Sie, wie man dadurch zu einem Wert für $N(t)$ der Probe gelangt.

Mit einem Zählrohr wird für eine radioaktive Probe eine bestimmte Zählrate ermittelt.

- Begründen Sie, warum über diese Zählrate die Aktivität nicht unmittelbar nur durch Anwendung der angegebenen Beziehung bestimmt werden kann.
- Geben Sie drei Faktoren an, die man berücksichtigen muss, wenn man aus der Zählrate die Aktivität bestimmen will. (15 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung
- Nuklidkarte (Auszug)