



Name: _____

Abiturprüfung 2015

Physik, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Aufgabe: Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern

Teilaufgabe 1

Im Jahre 1831 führte Michael Faraday folgendes Experiment an der Waterloo Bridge in London durch. Er ging dabei davon aus, dass sich im strömenden Wasser der darunter fließenden Themse genügend positiv und negativ geladene Ionen befinden, die durch das Erdmagnetfeld so abgelenkt werden, dass zwischen den Flussufern eine elektrische Spannung entstehen müsste. Diese Spannung wollte er mit einem Spannungsmessgerät messen, das er durch zwei Leiter mit den Flussufern verband.

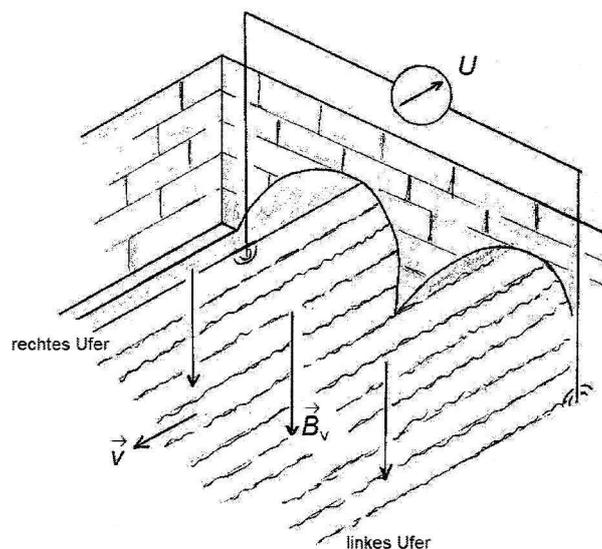


Abbildung 1: Faradays Experiment (nach: <http://www.phy6.org/earthmag/Ddynamos.htm>, verändert)

Die Größen in der Abbildung 1 sind:

\vec{B}_v : Stärke und Richtung der Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes,

\vec{v} : Strömungsgeschwindigkeit der Themse,

U : die von Faraday erwartete Spannung.



Name: _____

a) Erläutern Sie, warum eine Spannung zwischen den Flussufern entsteht, und geben Sie die Polung der Spannung an.

b) Es sei im Folgenden $d = 300 \text{ m}$ die Breite und $v = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ die als einheitlich angenommene Strömungsgeschwindigkeit der Themse. $B_V = 44 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ ist die Stärke der Vertikal-
komponente des Erdmagnetfeldes.

- Leiten Sie die Gleichung $U = d \cdot v \cdot B_V$ für die zu messende Spannung her und erläutern Sie den Ansatz.
- Berechnen Sie die Spannung.

(12 Punkte)

Teilaufgabe 2

Faraday konnte für den in Teilaufgabe 1 beschriebenen Versuch keine Spannung nachweisen, da ihm zu seiner Zeit unter anderem noch kein hinreichend empfindliches Messgerät zur Verfügung stand.

Das Prinzip der Spannungsentstehung wurde jedoch später bei dem so genannten magneto-hydrodynamischen Generator (MHD-Generator) wieder aufgegriffen. Bei einem solchen Generator werden die sich in einem Abgasstrom eines Verbrennungsprozesses bewegenden Ladungsträger genutzt, um eine elektrische Spannung zu erzeugen. Dazu brauchen die Ionen im Abgasstrom nur nach ihrer Ladung getrennt und auf zwei Elektroden gebracht zu werden.

Zunächst soll in einem Vorversuch die Geschwindigkeitsverteilung der geladenen Teilchen in einer Abgasströmung bestimmt werden. Dazu wird der Abgasstrom durch eine Anordnung geschickt, bei der sich ein elektrisches Feld mit der Feldstärke E und ein magnetisches Feld mit der Feldstärke B so überlagern, dass nur Teilchen einer bestimmten Geschwindigkeit geradlinig hindurchfliegen können. (Dazu wird vereinfachend angenommen, dass sich die geladenen und ungeladenen Teilchen frei und voneinander unabhängig bewegen können.)



Name: _____

- a) • Beschreiben Sie einen Versuchsaufbau für einen solchen Geschwindigkeitsfilter (Wien-Filter), ggf. mit Hilfe einer Skizze.
- Leiten Sie eine Beziehung für die Geschwindigkeit v der Teilchen her, die den Filter geradlinig passieren können.

[Zur Kontrolle: $v = \frac{E}{B}$]

- b) Das magnetische Feld des Wien-Filters besitzt eine Stärke von $B = 125 \text{ mT}$. Zur Untersuchung des Abgasstroms wird die elektrische Feldstärke variiert und mit einem Zählrohr wird die Zählrate Z der Ladungsträger hinter dem Geschwindigkeitsfilter gemessen. Die Messergebnisse sind in der Tabelle dargestellt.

$E \text{ in } \frac{\text{V}}{\text{m}}$	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000
$Z \text{ in } \frac{1}{\text{s}}$	5	12	52	84	48	14	6
$v \text{ in } \frac{\text{m}}{\text{s}}$							

Tabelle: Elektrische Feldstärke E , Zählrate Z und Geschwindigkeit v

- Geben Sie für jeden Wert der Feldstärke in der Tabelle die zugehörige Geschwindigkeit v an.
 - Stellen Sie die Zählrate Z in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v in einem Diagramm graphisch dar.
 - Beschreiben Sie das Diagramm.
- c) Der Abgasstrom soll nun in den MHD-Generator geleitet werden, in dem die Ladungsträger getrennt und auf zwei Elektroden gebracht werden. Der prinzipielle Sachverhalt ist in der Abbildung 2 dargestellt. Die elektrischen Anschlüsse des Generators in Form der Kondensatorplatten als Elektroden sind zunächst kurzgeschlossen, d. h. über ihre Anschlusskabel leitend miteinander verbunden.



Name: _____

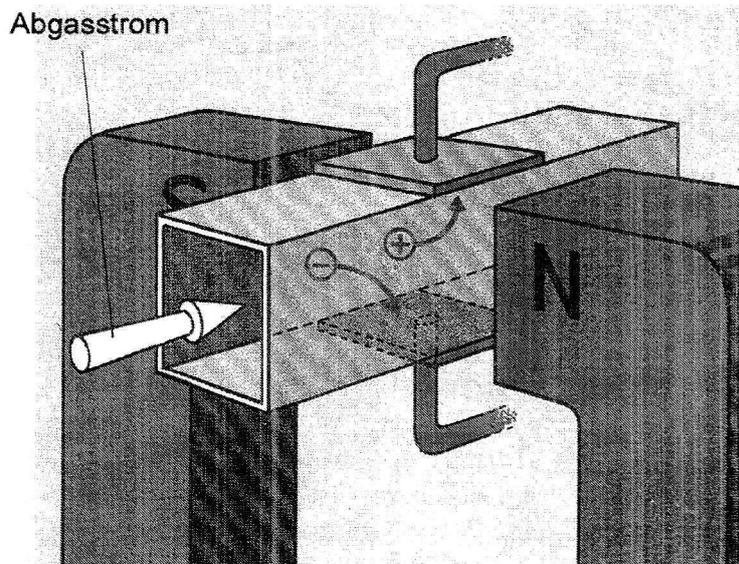


Abbildung 2: MHD-Generator
(aus: Dorn Bader, Physik Oberstufe 12/13, Schroedel 1986, S. 119, verändert)

- Begründen Sie, warum die geladenen Teilchen in die in der Skizze dargestellten Richtungen abgelenkt werden.
- Erläutern Sie, warum sich die geladenen Teilchen in einem homogenen Magnetfeld auf einem Kreisbogen bewegen, wenn sie keine Bewegungskomponente in Magnetfeldrichtung haben.
- Leiten Sie eine Gleichung für den Radius r des Kreisbogens als Funktion der Teilchengeschwindigkeit v her.

[Kontrolllösung: $r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$]

Bei den geladenen Teilchen handelt es sich u. a. um einfach positiv geladene Ionen mit der Masse $m = 1,99 \cdot 10^{-26}$ kg. Die Ionen bewegen sich mit $v = 2,00 \cdot 10^4$ m/s im Magnetfeld mit der Stärke von $B = 10$ mT.

- Berechnen Sie den Radius r der Bahnkurve.

(25 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 3

Um alle Ionen, die sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius $r = 0,25$ m bewegen, aufzufangen, müssen die Kondensatorplatten des MHD-Generators mit dem Abstand $d = 10,0$ cm eine gewisse Länge l besitzen. Die geometrischen Verhältnisse sind in der Abbildung 3 dargestellt. Die Magnetfeldlinien sollen senkrecht zur Abbildungsebene verlaufen. Die elektrischen Anschlüsse sind weiterhin leitend miteinander verbunden.

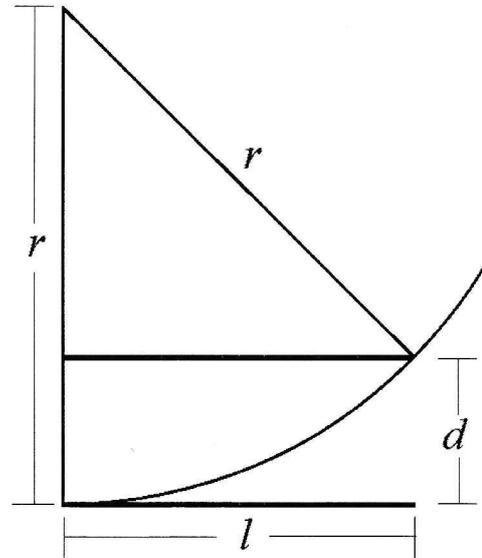


Abbildung 3: Geometrie des Kondensators

- a) • Zeigen Sie, dass der Kondensator mindestens $l = 0,20$ m lang sein muss, damit die Ionen, die auf Höhe der unteren Kondensatorplatte in den Kondensator eintreten, noch gerade auf die obere Kondensatorplatte treffen.
- Erläutern Sie, warum die Kondensatorplatten leitend verbunden sein müssen.
- b) Die leitende Verbindung der Kondensatorplatten im MHD-Generator wird jetzt aufgehoben.
- Berechnen Sie die am Generator entstehende Spannung für die Werte aus Teilaufgabe 2c).
 - Überprüfen Sie, ob die erzeugte Spannung größer wird, wenn die Ionen mehrfach ionisiert sind.
- c) Im elektrischen Feld zwischen den Kondensatorplatten ist elektrische Energie gespeichert. Geben Sie an, woher diese Energie stammt.

(20 Punkte)



Name: _____

Teilaufgabe 4

Wenn man das Prinzip des MHD-Generators umkehrt, erhält man einen „Motor“.
Es gibt bereits Forschungsprojekte, bei denen man versucht, Schiffe mit einem solchen Motor anzutreiben. In einem einfachen Grundversuch werden dafür an der Unterseite des Schiffes zwei Elektroden angebracht, an die eine Gleichspannung gelegt wird. Außerdem wird ein Magnetfeld erzeugt, dessen Feldlinien (weitgehend) senkrecht zu den elektrischen Feldlinien und senkrecht zur Wasseroberfläche verlaufen. Abbildung 4 zeigt die prinzipielle Anordnung für einen solchen Schiffsantrieb.

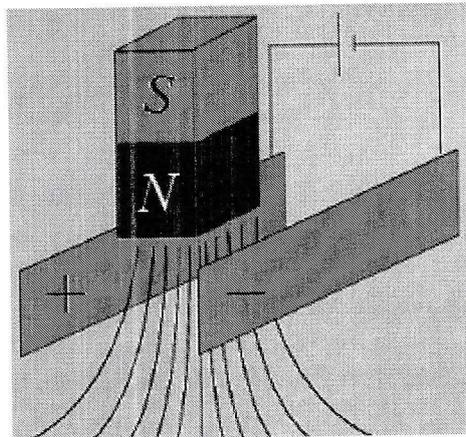


Abbildung 4: Umkehrung des MHD-Generators zu einem Motor
(aus: Ulrich Eichmann, Phy Did B, Frühjahrstagung Münster 2011)

Man kann davon ausgehen, dass sich im Meerwasser frei bewegliche positiv und negativ geladene Ionen befinden.

Erläutern Sie die Funktionsweise des dargestellten Schiffsantriebs, insbesondere auch unter Berücksichtigung des Verhaltens der beiden Ionenarten.

(8 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit, auch mit CAS-Funktionalität)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung