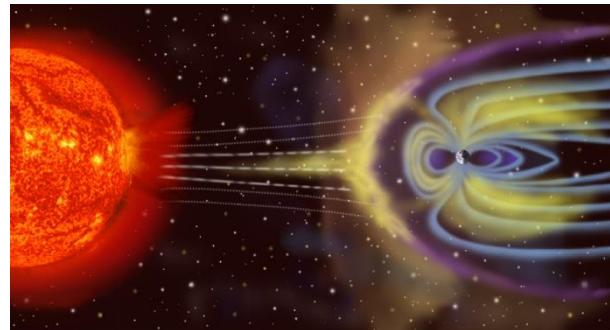


## 1. Aufgabe – Anwendungen der Lorentz-Kraft (30/40 Punkte)

Während elektrische Felder auf Ladungen immer wirken – unabhängig ob in Ruhe oder in Bewegung – ist die Lorentzkraft nur bei Bewegung der geladenen Teilchen in einem Magnetfeld vorhanden.

Der **Van-Allen-Strahlungsgürtel** ist ein Ring energiereicher geladener Teilchen, die durch das magnetische Feld der Erde eingefangen werden. Obwohl auch andere Planeten von ähnlichen Gürteln umgeben sind, bezieht sich der Begriff *Van-Allen-Gürtel* speziell auf den Strahlungsgürtel um die Erde.



Der Gürtel besteht im Wesentlichen aus zwei Strahlungszonen:

- Die innere Zone erstreckt sich in niedrigen geografischen Breiten, d.h. in der Nähe des Äquators, in einem Bereich von etwa 700 bis 6.000 Kilometer über der Erdoberfläche und besteht hauptsächlich aus hochenergetischen Protonen.
- Die äußere Zone befindet sich in etwa 15.000 bis 25.000 Kilometer Höhe und enthält vorwiegend Elektronen.

Die geladenen kosmischen Teilchen werden im Van-Allen-Gürtel durch das Magnetfeld der Erde infolge der Lorentzkraft abgelenkt, in einer magnetischen Flasche eingeschlossen und schwingen so zwischen den Polen der Erde mit einer Schwingungsdauer von etwa einer Sekunde hin und her, wodurch unter bestimmten Umständen das Polarlicht entsteht. (Quelle: Wikipedia)

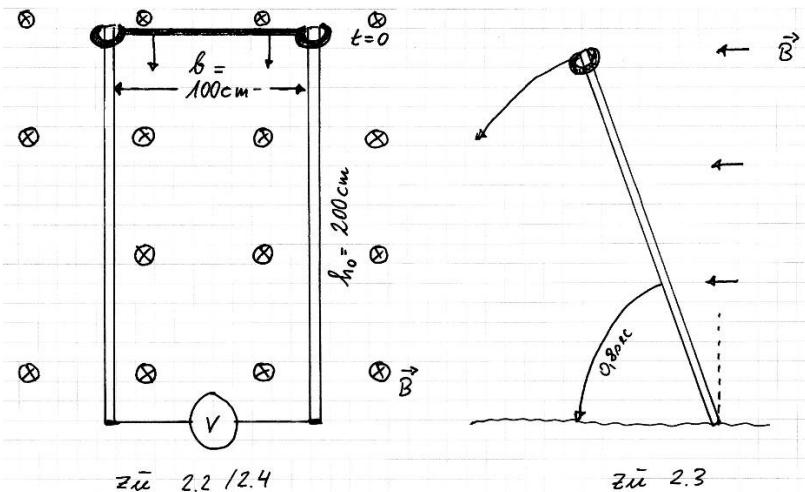
1. **GK:** Berechne die Geschwindigkeit von Elektronen, welche eine kinetische Energie von  $E_{\text{kin}}=10\text{keV}$  haben. (5P)
2. **LK:** Berechne die Geschwindigkeit und die dynamische Masse von Elektronen, welche eine relativistisch hohe kinetische Energie von  $E_{\text{kin}}=2\text{MeV}$  haben. (5P)
3. Berechne die **maximale** Lorentzkraft  $F_L$  sowie den dabei resultierenden Bahnradius  $r$  und die Umlauffrequenz  $f$  von Elektronen, die mit einer Geschwindigkeit von
  - GK:**  $v=60.000 \text{ km/sec}$  in ein Magnetfeld der Stärke  $B=1\mu\text{T}$  geraten (12P)
  - LK:**  $v=95\% c$  in ein Magnetfeld der Stärke  $B=1\mu\text{T}$  geraten. (12P)
4. Begründe, dass die Lorentzkraft geladene Teilchen beschleunigt, ohne dabei den Betrag der Geschwindigkeit zu verändern. (5P)
5. Beschreibe anhand einer geeigneten Skizze, wie man die Elektronen aus Aufgabe 1.3a mittels eines elektrischen Feldes auf eine gerade Bahn bringen kann und berechne dieses unter kommentierter Umformung der Einheiten. (8P)
6. **LK:** Beschreibe anhand einer geeigneten Skizze und berechne mit den Werten aus Aufgabe 1.3a die resultierende Teilchenbahn, wenn die Elektronen unter einem Winkel von  $45^\circ$  zum Magnetfeld in dieses eintreten. (10P)

## 2. Aufgabe – Induktion (30/40 Punkte)

Unter **elektromagnetischer Induktion** versteht man das Entstehen eines elektrischen Feldes durch zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte. In vielen Fällen lässt sich das elektrische Feld durch Messung einer elektrischen Spannung direkt nachweisen.

Die elektromagnetische Induktion wurde 1831 von Michael Faraday bei dem Bemühen entdeckt, die Funktionsweise eines Elektromagneten („Strom erzeugt Magnetfeld“) umzukehren („Magnetfeld erzeugt Strom“). Die Induktionswirkung wird technisch vor allem bei elektrischen Maschinen wie Generatoren, Elektromotoren und Transformatoren genutzt. Bei diesen Anwendungen treten stets Wechselspannungen auf. (Quelle: Wikipedia)

1. Nenne und erläutere das Induktionsgesetz in seiner allgemeinen Form, d.h. unter der Annahme, dass sowohl Feldstärke als auch Flächeninhalt und Winkel zeitlich variieren können. (10P)
2. Betrachte folgenden Aufbau, bei welchem sich eine durch Metallstangen geführte Metallstange in freiem Fall in einem homogenen, zeitlich konstanten Magnetfeld der Stärke  $B=100\text{mT}$  nach unten bewegt. Das magnetische Feld steht dabei orthogonal auf der Fläche. Zum Zeitpunkt  $t=0$  wird die Stange los gelassen. Zeichne den Betrag der entstehenden induzierten Spannung  $|U_{\text{ind}}|$  gegen die Fallzeit  $t$ . Benenne „Plus“ und „Minus“ und begründe Deine Antwort. (8P)



3. Durch ungeschicktes experimentelles Verhalten rutscht bei obigem Experiment nun nicht die geführte Metallstange nach unten, sondern der Aufbau kippt „vor dem Loslassen“ ganz einfach um... Gehe dabei davon aus, dass die Geschwindigkeit  $\omega$  dabei **konstant** ist und das „Umkippen“ 0,8 sec dauert. Zeichne für diesen Vorgang  $|U_{\text{ind}}(t)|$ . Tipp: Das Umkippen entspricht einem Viertelkreis... (6P)
4. Betrachte noch einmal den Aufbau nach 2.2. Das Voltmeter soll dabei aber durch einen Kurzschluss überbrückt werden. Die Metallstangen haben nur einen kleinen ohmschen Widerstand. Erläutere, was passieren wird. (6P)
5. **LK:** Ein Hubschrauber fliegt mit horizontal gestellten Rotoren (Länge  $l=5\text{m}$ , Frequenz  $f=4\text{Hz}$ ) im Erdmagnetfeld ( $B=60\mu\text{T}$ , Inklinationswinkel  $65^\circ$  gegen die Horizontale). Berechne kommentiert und unter vollständiger Umformung der Einheiten die entstehende Spannung zwischen den Rotor spitzen und der Drehachse. (10P)