

## Die elektromagnetische Induktion

Die Vorgänge bei der Elektrizitätsströmung in metallischen Leitern lassen sich mit Hilfe der Wechselwirkung der elektrischen Elementarladung der Elektronen, mit den Atomen der Metalle erklären. Man nimmt an, daß das Elektron kugelförmige Gestalt besitzt.

Als Beispiel für den metallischen Leiter soll Kupfer gewählt werden, das praktisch den am meisten verwendeten Elektrizitätsleiter darstellt, Kupfer besitzt eine kristalline Struktur (Abb.1); der Atomkern des Kupfers trägt 29 positive Elementarladungen, die von 29 negativ geladenen Elektronen neutralisiert werden. Das 29. Elektron ist nur ganz locker an den Atomkern gebunden. Da bereits bei Zimmertemperatur die Wärmeenergie groß genug ist, um die Kupferatome Schwingungen um ihre Ruhelage im Kristallgitter ausführen zu lassen, werden dabei diese locker gebundenen Elektronen gewissermaßen abgeschüttelt und stehen als freie negative Ladungsträger für die Elektrizitätsleitung zur Verfügung. Sie sind quasi - frei, d.h., sie werden hin und wieder eingefangen, aber auch wieder freigemacht. Sie verhalten sich im Kristallgitter wie ein Gas in einem Behälter; man spricht daher auch vom "Elektronengas" (Abb.2). Beim Anlegen einer Spannung bewegen sich die Elektronen von negativen zum positiven Pol (Abb.3).

Der Elektronenstrom verläuft entgegen der als positiven definierter Stromrichtung, die als eine Strömung positiver Ladungsträger betrachtet wird; dies ist stets zu beachten. Das Verhalten eines Elektronenstroms im Magnetfeld wird gezeigt durch das Benehmen, einen einzelnen Elektron, der ein konstantes Magnetfeld durchquert. Die Überlagerung dieses Feldes mit dem, des Elektrons, führt einerseits der Elektronenbahn zu einer Vergrößerung, andererseits zu einer Verringerung der magnetischen Feldstärke. Das Feldstärkegefälle führt zu einer Krümmung der Elektronenbahn. Innerhalb eines Metalls tritt dadurch eine Spannungsdifferenz zwischen oberer und unterer Kante auf (Abb.4). Man bezeichnet diese Erscheinung nach ihrem Entdecker als Hall-Effekt.

Mittels der Elektronentheorie der metallischen Leitfähigkeit ergibt sich auch eine anschauliche Erklärung der Induktion. Man versteht darunter das Auftreten elektrischer Spannungen und Ströme durch mechanische Bewegungen von Leitern im Magnetfeld.

Stellen wir uns ein Metallstück als einen mit Elektronengas gefüllten Behälter vor, den wir durch ein konstantes Magnetfeld bewegen. Dabei wird sich die Elektronenkonzentration am unteren Ende gegenüber der am oberen erhöhen und damit eine Induktionsspannungsdifferenz mit dem negativen Wert am unteren Ende auftreten, weil die Elektronen – mechanisch mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt nach unten gekrümmte Bahnen einschlagen. Verbindet man die Enden des Metallstückes durch einen Stromleiter, der weit außerhalb des Magnetfeldes verläuft, so fließt in diesen, solange das Metallstück durch das Magnetfeld bewegt wird, ein Induktionsstrom. Er fließt, solange der magnetische Fluss durch die Stromkreisfläche sich ändert. Man kann den Magnetfluss durch Änderung der durchflossenen Fläche (Anwendung beim elektrischen Generator) oder durch Änderung der magnetischen Feldstärke variieren. Auf dieser Weise erhält man den Wechselstrom in die Kraftwerke.

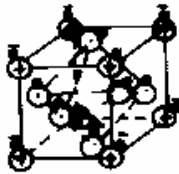


Abb1. Die kristalline Struktur des Kupfers .

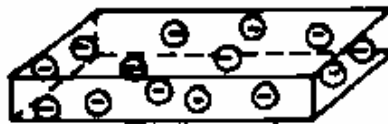


Abb.2 Elektronengas.

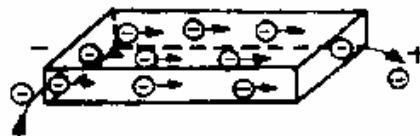


Abb.3 Elektronenströmung.

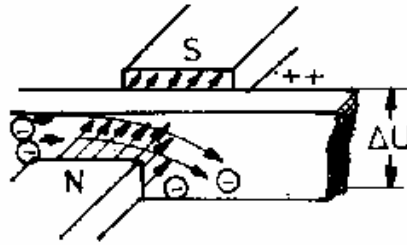


Abb. 4 Der Hall - Effekt.

### Wortschatz

Elementarladung, - en, f	sarcină elementară
Gestalt, -, f	formă, aparență
Kristallgitter, -, n	rețea cristalină
locker	slab legat, relaxat
quasi - frei	cvasi - liber
einfangen	a prinde, capta, agăța
freimachen	a elibera
durchqueren	a traversa
Feldstärke, - n, f	intensitatea câmpului
Krümmung, - en, f	curbură
Leitfähigkeit, - en, f	conductibilitate
Magnetfeld, - er, n	câmp magnetic
Durchfluss, - üsse, m	trecere, curgere prin

### Hausaufgaben

#### Übersetzen Sie ins Rumänische:

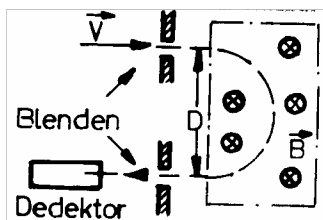
Die auf einen senkrecht, zu den Kraftlinien eines homogenen Magnetfeldes, verlaufenden Leiter ausgeübte Kraft  $\vec{K}$  ist gleich dem Produkt aus der magnetischen Induktion  $\vec{B}$ , der Stromstärke  $I$  und der Länge des Leiters  $\vec{l}$ :  $\vec{K} = I(\vec{l} \times \vec{B})$ . Parallele Leiter mit gleichgerichteten Strömen ziehen sich an, parallele Leiter mit entgegengesetzten Ströme stoßen sich ab. Unter der relativen Permeabilität  $\mu_0$  eines Stoffes verstehen wir die Zahl, die angibt, um wie viel der betreffende Stoff die magnetische Induktion eines magnetischen Feldes gegenüber dem Vakuum vervielfacht

### Übersetzen Sie ins Deutsche:

Conductibilitatea electrică în metale este asigurată de electronii liberi din rețeaua cristalină. Sensul tehnic al curentului electric este de la polul pozitiv la cel negativ, în timp ce sensul real al purtătorilor de sarcină – electronii – este exact invers. Traectoria purtătorilor de sarcină se curbează, atunci când aceștia se deplasează într-o zonă din spațiu în care se află câmp magnetic. Dacă purtătorii de sarcină se află într-o piesă metalică, fețele acesteia, perpendiculare pe liniile de câmp magnetic, se vor polariza. Acest fenomen este cunoscut sub numele de “Efectul Hall”.

### Lösen Sie

1. Ionisierte Teilchen (Masse  $m$ , Ladung  $Q$ ) werden mit einer Spannung  $U$



beschleunigt (Geschwindigkeit  $\vec{v}$ ) und treten dann in ein Gebiet ein, in dem ein Magnetfeld  $\vec{B}$  senkrecht zur Geschwindigkeit  $\vec{v}$  steht (Skizze)

- a) Aus dem gemessenen Blendenabstand  $D$  kann man bei bekanntem  $U$  und  $\vec{B}$  die spez. Ladung  $Q/m$

bestimmen. Man gebe den Zusammenhang an.

- b) Man gebe einen Ausdruck für die Selektivität  $dD/dm$  an.

2. Ein Proton (Masse  $m_p$ , Ladung  $e$ ) wird mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}_0$  in eine Blaskammer mit einem senkrecht zu  $\vec{v}_0$  stehenden Magnetfeld  $\vec{B}$  geschossen. Durch Ionisationsprozesse wird eine abbremsende Kraft  $\vec{F}_R(t) = -k * \vec{v}(t)$  wirksam, die zu einer spiralförmigen Teilchenbahn führt.

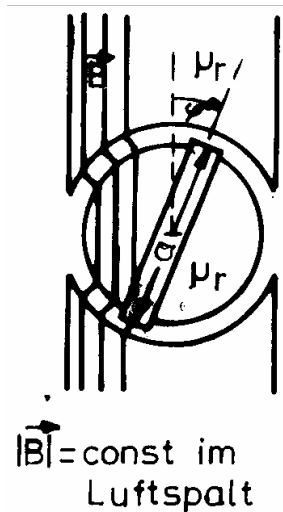
- a) Man stelle eine Differentialgleichung für  $v(t)$  auf und berechne  $v(t)$  mit der Anfangsbedingung  $v(t=0) = v_0$ .

- b) An jedem Punkt der Spiralbahn lässt sich ein Krümmungskreis legen. Man berechne den Krümmungskreis  $r(t)$  als Funktion der Zeit  $t$ .

3. In einem homogenen Magnetfeld  $B = 1 \text{Vs/m}^2$  entsteht durch radioaktiven Zerfall ein Elektron, dessen Geschwindigkeit  $v = 2,8 \cdot 10^9 \text{m/s}$  ist. Es startet unter einem Winkel von  $60^\circ$  gegen die magnetische Feldrichtung und beschreibt dann eine Spiralbahn. Wie weit hat es sich nach 4 Spiralumläufen von seinem Entstehungsort entfernt? (Masse des Elektrons  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ , Elementarladung  $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{As}$ )



4. Ein (nahezu) torsionsfrei aufgehängter Stabmagnet ( $m = 12 \text{g}$ ,  $l = 10 \text{cm}$ ) hat ein magnetisches Dipolmoment  $\mu = 4 \text{Am}^2$ . Er führt in einem homogenen Magnetfeld  $B = 0,1 \text{Vs/m}^2$  Schwingungen aus. Wie groß ist die Schwingungsfrequenz? (Trägheitsmoment des Stabes um die Drehachse  $\Theta = ml^2/12$ , Rechnung für kleine Auslenkungen.



5. Ein Drehspulgalvanometer hat eine rechteckige Drehspule mit  $n=20$  Windungen der Breite  $a=4 \text{cm}$  und Höhe  $h=6 \text{cm}$ . Die Drehspule ist aus einem Draht mit einer Winkelrichtgröße  $D = 2 \cdot 10^{-7} \text{nm/Grad}$  aufgehängt.

a) Wie groß ist die magnetische Induktion im Luftspalt, wenn die Spule bei einem Strom von  $1 \text{mA}$  eine Auslenkung von  $10^\circ$  erfährt?

b) das Galvanometer hat eine Schwingungsperiode von  $T=2 \text{sec}$ . Wie groß ist das Trägheitsmoment der Spule?

### Fragen zur Konversation

Was für eine Gestalt haben die Elektronen in die metallischen Leitern?

Was verstehen Sie durch die quasi – freie Elektronen?

Zu was führt die Überlagerung des äußeren magnetischen Feldes mit dem elektrischen Feld der bewegenden Elektronen?

Beschreiben Sie den Hall – Effekt!

Auf was beruht die Erzeugung des elektrischen Stroms in die Generatoren?