

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald / Institut für Physik
Physikalisches Grundpraktikum

Praktikum für Physiker		
Versuch E8 : Das FARADAYSche Induktionsgesetz		
Name:	Versuchsgruppe:	Datum:
Mitarbeiter der Versuchsgruppe:		Ifd. Versuchs-Nr:

Aufgabe Verifizieren Sie Grundaussagen des Induktionsgesetzes an einem Induktionsgerät.

Physikalische Schwerpunkte des Versuches

- Magnetfeld, Messen und Berechnen der Flussdichte
- Das Induktionsgesetz
- Beschreibung des Versuchsaufbaus

Versuchsablauf

1. Messungen

Alle Messungen sind tabellarisch zu erfassen.

- 1.1. Messen Sie die Abhängigkeit der Induktionsspannung U_i von der Erregerstromstärke in den Erregerspulen ($0A \leq I_{err} \leq 2A$). Konstant bleiben die Windungszahl der Induktionsspule $A_2 = 600Wdg.$, der Winkel $\varphi_0 = 0^\circ$ zwischen Spulenachse von A_2 und Magnetfeldrichtung und die Stofffüllung in der Induktionsspule μ_r .
- 1.2. Messen Sie die Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Windungsfläche A_2 der Induktionsspulen ($A_2 = 20, 40$ und 60 cm^2). Konstant bleiben die Erregerstromstärke $I_{err} = 2A$, Die Windungszahl der Induktionsspule $N_2 = 600 \text{ Wdg.}$, μ_r und φ_0 .
- 1.3. Messen Sie die Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Windungszahl N_2 ($N_2 = 200, 400$ und $600Wdg.$). Konstant bleiben $I_{err} = 2A$, $A_2 = 60\text{cm}^2$, μ_r und φ_0 .
- 1.4. Messen Sie die Winkelabhängigkeit der Induktionsspannung von der Stellung dieser Spule zur Magnetfeldrichtung ($0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$). Konstant bleiben $I_{err} = 2A$, $A_2 = 60\text{cm}^2$, μ_r und $N_2 = 600Wdg.$
- 1.5. Untersuchen Sie den Einfluss der relativen Permeabilität μ_r eines Stoffes in der Induktionsspule ($\mu_{Luft} = 1$, $\mu_{Al} \approx 1$, $\mu_{Fe} \gg 1$). Die Messungen werden durchgeführt mit $I_{err} = 2A$, $N_2 = 600Wdg.$, $A_2 = 20\text{cm}^2$ und $\varphi = 0^\circ$.

2. Berechnungen und Auswertungen

- 2.1. Zu den Messungen 1 bis 4 sind Diagramme zu zeichnen.
- 2.2. Interpretieren Sie alle Ergebnisse (1 bis 5) hinsichtlich der Erfüllung des Induktionsgesetzes.

Faradaysches Induktionsgesetz

Die vielfältigen Erscheinungen der elektromagnetischen Induktion, d.h. die Erzeugung elektrischer Spannungen durch zeitlich veränderliche magnetische Felder, wurden von Faraday experimentell umfassend aufgeklärt. Theoretisch werden all diese Erkenntnisse in der zweiten Maxwellschen Gleichung zusammengefasst:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{r} = - \int_F \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} d\vec{F} = - \frac{\partial}{\partial t} \Phi \quad (1)$$

Die in einer Drahtschlinge S induzierte Spannung ist gleich der zeitlichen Änderung des die Schlinge durchsetzenden Magnetflusses Φ . Das induzierte elektrische Feld entsteht auch ohne Vorhandensein eines elektrischen Leiters. Seine Feldlinien sind in sich geschlossen. Für unsere Versuchsanordnung lässt sich das Induktionsgesetz spezieller schreiben, nämlich:

$$U_i = - \frac{d}{dt} (\mu \mu_0 H F_2 N_2 \cos \varphi) \quad (2)$$

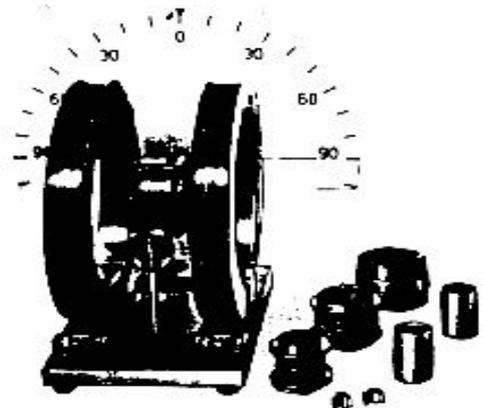


Abb. 1 Versuchsgerät mit Zubehör

$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am	Magnetische Feldkonstante,
μ	Permeabilität des Mediums in der Induktionsspule
$H = 0,715 \cdot N_1 I_1 / r$	Magnetische Feldstärke in der Helmholtzspulenordnung
I_1	Erregerstromstärke
N_1	Windungszahl der Helmholtzspulen
R	Radius der Helmholtzspulen
F_2	Windungsfläche der Induktionsspule
N_2	Windungszahl der Induktionsspule
φ	Winkel zwischen der Achse der Induktionsspule und der Achse der Helmholtzspulenordnung

Wird der Magnet mit Gleichstrom betrieben, ergeben sich nur während des Einschalt- bzw. Ausschaltmomentes Induktionsspannungsschübe. Wegen der einfacheren experimentellen Handhabung erzeugen wir mit Hilfe von sinusförmigem Wechselstrom der Frequenz $f = 50$ Hz im Bereich zwischen den Helmholtzspulen ein magnetisches Wechselfeld. Damit ergibt sich in der Induktionsspule ebenfalls eine sinusförmige Wechselspannung, die oszilloskopisch oder mit einem anderen geeigneten Spannungsmessgerät nachgewiesen wird.

Achtung! Der erforderliche Spulenstrom zur Erzeugung des Magnetfeldes wird einem Stelltransformator entnommen und darf die Stromstärke $I = 2,5$ A nicht überschreiten! Der Drehknopf zur Spannungswahl muss deshalb zu Beginn unbedingt auf Linksanschlag stehen!

Aus Formel (2) ergibt sich speziell für unser Experiment:

$$\begin{aligned}
 U_i(t) &= -\frac{d}{dt} (\mu\mu_0 \cdot 0,715 \cdot \frac{N_1}{r} \hat{I}_1 \sin(\omega t) F_2 N_2 \cos\varphi) \\
 &= -\mu\mu_0 \cdot 0,715 \cdot \frac{N_1}{r} \hat{I}_1 \omega \cos(\omega t) F_2 N_2 \cos\varphi
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Der Zusammenhang (3) lässt sehr gut die Proportionalität der Induktionsspannung U_i zur Windungszahl N_1 , der Erregerstromstärke I_1 , der Windungszahl N_2 der Induktionsspule, ihrer Windungsfläche F_2 , dem *Cosinus* des Neigungswinkels φ der Spulenachse gegen das Erregermagnetfeld und die Frequenz ω des Erregerfeldes erkennen. Diese Abhängigkeiten sind im Experiment zu bestätigen.

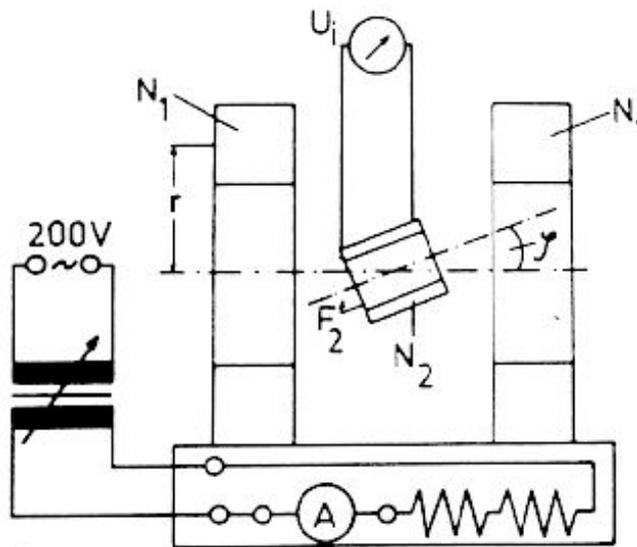


Abb. 2 Skizze zur Beschaltung des Versuchsgertes

Beim Ein- und Ausschalten von Magnetfeldern treten meist sehr kurzzeitige Induktionsspannungsimpulse auf. Das Zeitintegral über solch einen Spannungsimpuls ist:

$$\int_{t_1}^{t_2} U_i dt = \Delta\Phi
 \tag{4}$$

In der Elektrotechnik wird es als "Spannungsstoß" bezeichnet, den man mit einem ballistischen Galvanometer messen kann. Daraus leitet sich ein bequemes und einfaches Verfahren zur Messung der magnetischen Induktionsflussdichte ab.

Man bringe an den Messort eine kleine Drahtschlinge (oder eine Induktionsspule), die mit einem Voltmeter verbunden ist, und orientiere sie so, dass beim Ein- und Ausschalten des Magnetfeldes ein möglichst großer Spannungsstoß (oder bei vorliegendem magnetischen Wechselfeld eine möglichst hohe Induktionsspannung) beobachtet wird. Die Normale der Schleifen- oder Spulenebene gibt dann die Richtung von \vec{B} an, während der Spannungsstoß (in V s), dividiert durch die Fläche der Drahtschleife (in m²), den Betrag von \vec{B} (in V s/m²) liefert.