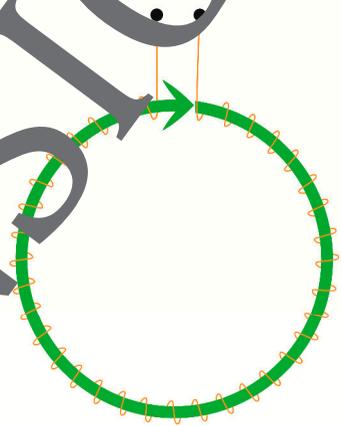


UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik Sek. II



Die Energiedichte des magnetischen Feldes

Das Magnetfeld von Ringspulen und Helmholtzspulenpaaren

Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Für jedes Material wurden Fremdrechte recherchiert und angefragt. Sollten dennoch an einzelnen Materialien weitere Rechte bestehen, bitten wir um Benachrichtigung.

Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH
Ein Unternehmen der Klett Gruppe
Rotebühlstraße 77
70178 Stuttgart
Telefon +49 7141 62900-0
Fax +49 7141 62900-333
schule@raabe.de
www.raabe.de

Redaktion: Julia Schreck

Satz: Riser MEDIA GmbH & Co. KG, Karlsruhe

Illustrationen: Sylvana Timmer

Darstellungstitel: Sylvana Timmer

Die Energiedichte des magnetischen Feldes

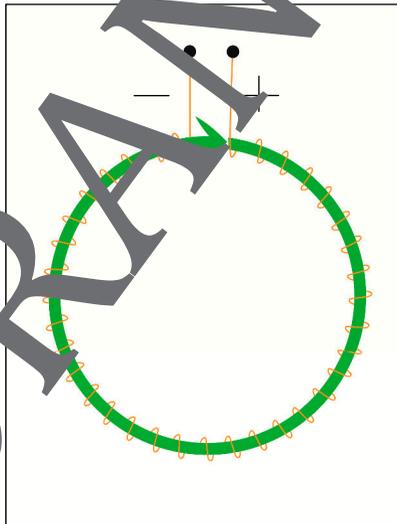
Das Magnetfeld ist Träger von Energie, die wir als magnetische Energie W_{mag} bezeichnen wollen. Rührt das Magnetfeld von einem stromdurchflossenen Leiter mit der Induktivität L her, etwa von einer Spule, so ist sein Energieinhalt:

$$W_{\text{mag}} = \int_0^T L \cdot \dot{I}(t) \cdot I(t) \cdot dt = L \left[\frac{1}{2} I^2(t) \right]_0^T = \frac{1}{2} L I^2(t)$$

Dabei ist T die Zeit, die der Strom bis zum Erreichen seiner vollen Stärke I benötigt und in der in der Folge das Magnetfeld aufgebaut wird. Hat das Magnetfeld in einem Raumgebiet überall denselben Betrag B und magnetische Flussdichte, so kann man diesem Raumgebiet – analog zum Fall des elektrischen Feldes – eine örtlich konstante magnetische Energiedichte w_{mag} zuordnen.

Um sie zu erhalten bedient man sich einer besonderen Spulenform.

Unter einer Ringspule haben wir uns eine langgestreckte Spule vorzustellen, die zu einem Kreis zusammengebogen ist (Abb. 1). Die geometrische Form einer solchen Spule ist also die eines Torus.



© Sylvana Timmer

Abb. 1: Das Magnetfeld einer faradayschen Spule

Wir beschränken uns auf die Betrachtung des Innenraums. Das Magnetfeld hat dort eine konstante magnetische Flussdichte, wenn ihr Spulenradius r klein gegenüber dem Radius des Ringes R ist. Es gilt:

$$B = \mu_0 \frac{nI}{2\pi R} \quad (2)$$

mit der magnetischen Feldkonstante μ_0 und der Windungszahl n . Wegen dieser besonderen Eigenschaften der Ringspule hat schon Faraday mit ihr gerechnet.

Die Induktivität L einer Ringspule genügt der nachfolgenden Gleichung:

$$L = \mu_0 \frac{r^2}{2R} n^2 \quad (3)$$

1. Zeigen Sie mithilfe der Ringspule, dass sich bei konstanter magnetischer Flussdichte für die magnetische Energiedichte w_{mag} die nachfolgende Formel ergibt:

$$w_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0} \quad (4)$$

Anmerkungen: Analog zum elektrischen Feld hängt die Energiedichte nur von der „Stärke“ des Feldes und einer für das Feld charakteristischen Größe (hier der magnetischen Feldkonstante μ_0) ab. Verwendet man zur Beschreibung der Stärke des Magnetfeldes nicht die Flussdichte, sondern die

magnetische Feldstärke $H = \frac{1}{\mu_0} \vec{B}$, so erhält man:

$$w_{\text{mag}} = \frac{\mu_0}{2} H^2 \quad (4^*)$$

Wie erinnern uns an die Formel zur Energiedichte des elektrischen Feldes:

$$w = \frac{\epsilon_0}{2} E^2 \quad (5)$$

Die formale Übereinstimmung der Gleichungen (5) und (4*) ist evident. In der physikalischen Fachliteratur wird jedoch die Beschreibung der Energiedichte durch Gl. (4) bevorzugt. - Gl. (4) gilt für alle homogenen Magnetfelder, weil dort B konstant ist. Inhomogene Magnetfelder kann man nur in kleinen Raumbereichen näherungsweise als homogen ansehen, sodass sie Gl. (4) erfüllen.

2. Zwei Stabmagnete mit den Querschnittsflächen $A = 1,8 \text{ cm}^2$ liegen sich mit unterschiedlichen Polen gegenüber. Die beiden gegenüber liegenden Enden der Stabmagnete bilden einen Spalt der Breite b . Der Spalt hat dann einen Raum-inhalt $V = A \cdot b$. Das Magnetfeld im Spalt sehen wir näherungsweise als homogen an. Die Flussdichte im Spalt beträgt $B = 0,75 \text{ T}$. Berechnen Sie näherungsweise die Kraft F , mit welcher sich die gleichnamigen Magnetpole im Spalt anziehen. Verwenden Sie die Energiedichte im Spalt und nutzen Sie den Ansatz:

$$W_{\text{mag}} = F \cdot b \quad (6)$$

3. Ein Helmholtz – Spulenpaar ist eine Anordnung von zwei gleich großen, flachen kreisförmigen Spulen (mit Kreisradius R) mit zusammenfallenden Spulennachsen. Der Abstand der beiden Spulen voneinander ist ebenso groß wie ihr Radius R . (Siehe auch Abb. 2.) Das Besondere an dem Helmholtz – Spulenpaar ist, dass es bei parallelem Stromfluss durch die Spulen ein Magnetfeld liefert, welches im Innenraum zwischen den beiden Spulen größtenteils –abgesehen von den Randbereichen– homogen ist. Damit erhält man mit einem Helmholtz – Spulenpaar ein ausgedehntes homogenes Magnetfeld für Experimentierzwecke, etwa für die Ablenkung von Elektronenstrahlen im homogenen Magnetfeld.

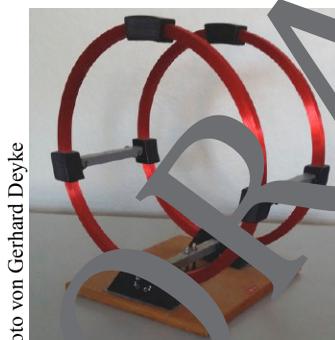


Foto von Gerhard Deyke

Abb. 2

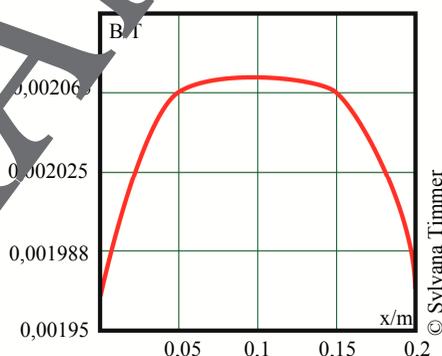


Abb. 3

© Sylvana Timmer

Das Helmholtz – Spulenpaar in Abb. 2 hat auf jeder der beiden Kreisspulen die Windungszahl $N = 154$. Es ist $R = 0,20 \text{ m}$. Über den oben angegebenen Randeffekt gibt die nachfolgende Abbildung (Abb. 3) Auskunft. Auf der Mittelachse des Spulenpaares wurde die magnetische

Flussdichte B von der linken Kreisspule ($x = 0$) bis zur rechten Kreisspule ($x = 0,20$ m) ermittelt bei der Stromstärke $I = 3,0$ A.

Gehen Sie in der nachfolgenden Aufgabe von einem Helmholtz – Spulenpaar der oben beschriebenen Geometrie aus. Es fließe durch das Spulenpaar ein Strom der Stärke $I = 3,0$ A.

Die magnetische Flussdichte B in der Mitte eines Helmholtz – Spulenpaares lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$B = \frac{8}{\sqrt{125}} \mu_0 \frac{NI}{R}$$

Gehen Sie wider besseres Wissen davon aus, dass das Magnetfeld im gesamten Innenraum des Spulenpaares homogen ist und damit überall eine konstante Flussdichte hat.

Ermitteln Sie die Höhe h , um die man (auf der Erdoberfläche) ein 20 g schweres Massenstück mit der im Feld des Spulenpaares gespeicherten magnetischen Energie anheben könnte, wenn entsprechende technische Voraussetzungen erfüllt wären.

Der RAABE Webshop: Schnell, übersichtlich, sicher!



Wir bieten Ihnen:



Schnelle und intuitive Produktsuche



Übersichtliches Kundenkonto



Komfortable Nutzung über
Computer, Tablet und Smartphone



Höhere Sicherheit durch
SSL-Verschlüsselung

Mehr unter: www.raabe.de