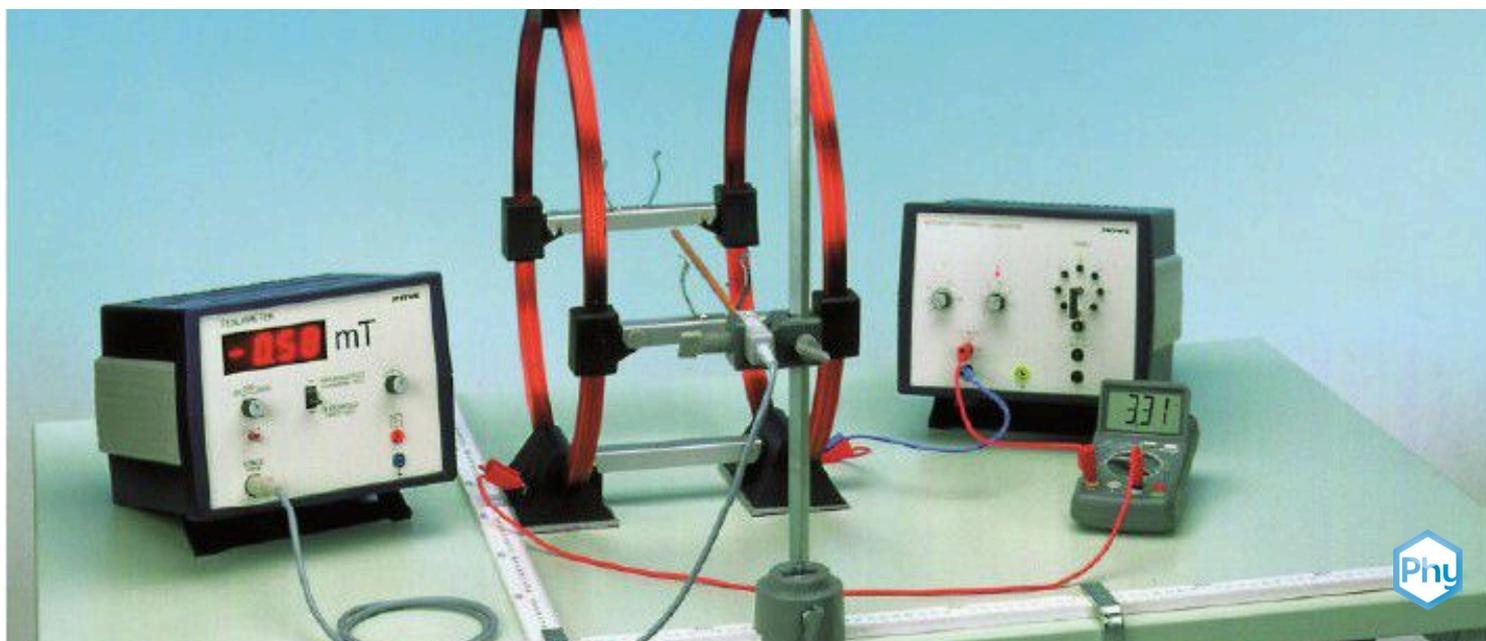


# Campo magnético de bobinas emparejadas en una disposición de Helmholtz con un teslametro



Física

Electricidad y Magnetismo

El magnetismo y el campo magnético



Nivel de dificultad

fácil



Tamaño del grupo

2



Tiempo de preparación

20 minutos



Tiempo de ejecución

30 minutos

This content can also be found online at:


<http://localhost:1337/c/6060b6c4a60fb700036e4d26>

PHYWE



# Información general

## Aplicación

PHYWE



Fig.1: Montaje experimental

Los campos magnéticos se utilizan ampliamente en distintos ámbitos. Desde los imanes utilizados en los desguaces para transportar coches viejos hasta su uso en aceleradores de partículas, los campos magnéticos producidos por las bobinas tienen muchas aplicaciones.

## Información adicional (1/2)

PHYWE



### Conocimiento

previo



### Principio

Los conocimientos previos necesarios para este experimento se encuentran en la sección de teoría.

Se mide la distribución espacial de la intensidad de campo entre un par de bobinas en la disposición de Helmholtz. Se investiga la separación a la que se produce un campo magnético uniforme y se demuestra la superposición de los dos campos individuales para formar el campo combinado del par de bobinas.

## Información adicional (2/2)

PHYWE



### Objetivo



### Tareas

El objetivo de este experimento es investigar el campo magnético producido por bobinas emparejadas.

1. Medir la densidad de flujo magnético a lo largo del eje  $z$  de las bobinas planas cuando la distancia entre ellas  $a = R$  ( $R =$  radio de las bobinas) y cuando es mayor y menor que éste.
2. Medir la distribución espacial de la densidad de flujo magnético cuando la distancia entre bobinas  $a = R$ , utilizando la simetría rotacional del montaje:
  - Medición de la componente axial  $B_z$
  - Medición de la componente radial  $B_r$
3. Medir los componentes radiales  $B'_z$  y  $B''_z$  de las dos bobinas individuales en el plano intermedio entre ellas y para demostrar la superposición de los dos campos en  $B_r = 0$

## Teoría (1/4)

PHYWE

De la ecuación de Maxwell

$$\int_K \vec{H} d\vec{s} = I + \int_F \vec{D} d\vec{f} \quad (1)$$

donde K es una curva cerrada alrededor del área F, H es la intensidad del campo magnético, I es la corriente que fluye a través del área F, y D es la densidad de flujo eléctrico, obtenemos para las corrientes directas ( $\dot{D} = 0$ ), la ley del flujo magnético:

$$\int_K \vec{H} d\vec{s} = I \quad (2)$$

Con las anotaciones de la Fig. 2, la ley del flujo magnético (2) se escribe en la forma de la ley de Biot-Savart:

$$d\vec{H} = \frac{I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{\rho}}{\rho^3} \quad (3)$$

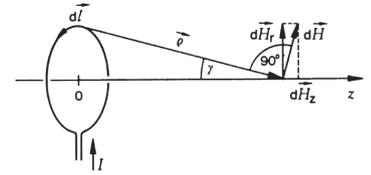


Fig. 2: Dibujo para el cálculo del campo magnético a lo largo del eje de una espira de alambre.

## Teoría (2/4)

PHYWE

El vector  $\vec{dl}$  es perpendicular a  $\vec{\rho}$  además de esto  $\vec{\rho}$  y  $d\vec{H}$  se encuentran en el plano del dibujo, de modo que

$$dH = \frac{I}{4\pi\rho^2} dl = \frac{I}{4\pi} \frac{dl}{R^2+z^2} \quad (4)$$

$d\vec{H}$  puede ser resuelto en una radial  $dH_r$  y una axial  $dH_z$  componente.

El  $dH_z$  los componentes tienen la misma dirección para todos los elementos conductores  $\vec{dl}$  y se suman las cantidades; el  $dH_r$  los componentes se anulan entre sí, por parejas.

Por lo tanto,  $H_r(z) = 0$  (5)

$$y H(z) = H_z(z) = \frac{I}{2} \frac{R^2}{(R^2+z^2)^{3/2}} \quad (6)$$

## Teoría (3/4)

PHYWE

a lo largo del eje del bucle de alambre, mientras que la densidad de flujo magnético

$$B(z) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2R} \cdot \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{z}{R}\right)^2\right)^{3/2}} \quad (7)$$

El campo magnético de una bobina plana se obtiene multiplicando (6) por el número de espiras  $N$ . Por tanto, la densidad de flujo magnético a lo largo del eje de dos bobinas idénticas a una distancia  $\alpha$  aparte es

$$B(z, r = 0) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2R} \cdot \left( \frac{1}{(1+A_1^2)^{3/2}} + \frac{1}{(1+A_2^2)^{3/2}} \right) \quad (8)$$

donde  $A_1 = \frac{z+\alpha/2}{R}$

## Teoría (4/4)

PHYWE

Cuando  $z = 0$ , la densidad de flujo tiene un valor máximo cuando  $\alpha < R$  y un valor mínimo cuando  $\alpha > R$ . Las curvas trazadas a partir de nuestras mediciones también lo demuestran (Fig. 3); cuando  $\alpha = R$  el campo es prácticamente uniforme en el rango

$$-\frac{R}{2} < z < +\frac{R}{2}$$

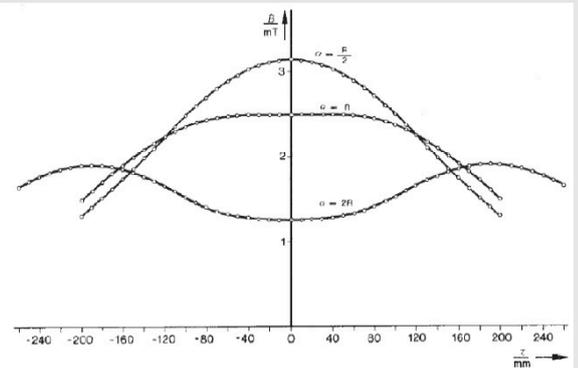


Fig. 3:  $B(r=0)$  en función de  $z$  con el parámetro  $\alpha$ .

## Material

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	BOBINAS DE HELMHOLTZ, UN PAR	06960-06	1
2	PHYWE Fuente de alimentación universal DC: 0...18 V, 0...5 A / AC: 2/4/6/8/10/12/15 V, 5 A	13504-93	1
3	Multímetro digital, 3 1/2-visualizado de caracteres	07122-00	1
4	PHYWE Teslametro, digital	13610-93	1
5	Sonda de Hall, axial	13610-01	1
6	Regla graduada, l = 1000mm	03001-00	2
7	Pie cónico expert	02004-00	1
8	Varilla de acero inoxidable, 18/8, 250 mm	02031-00	1
9	Doble nuez	02054-00	1
10	Abrazadera	02014-00	3
11	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, azul	07361-04	2
12	Cable de conexión, 32 A, 500 mm, rojo	07361-01	2
13	Pinza universal	37715-01	1

PHYWE



# Montaje y ejecución

## Montaje (1/2)

PHYWE

Conecta las bobinas en serie y en la misma dirección, véase la Fig. 4; la corriente no debe superar los 3,5 A (haga funcionar la fuente de alimentación como fuente de corriente constante). Mide la densidad de flujo con la sonda Hall axial (mide la componente en la dirección del vástago de la sonda).

El campo magnético de la disposición de bobinas es rotacionalmente simétrico respecto al eje de las bobinas, que se elige como eje  $z$  de un sistema de coordenadas cilíndricas  $(z, r, \phi)$ . El origen está en el centro del sistema. La densidad de flujo magnético no depende del ángulo  $\phi$ , por lo que sólo los componentes  $B_z(z, r)$  y  $B_r(z, r)$  se miden.

Fija la sonda Hall a una varilla de soporte con base de barril, nivelada con el eje de las bobinas. Fija dos reglas al banco (paralelas o perpendiculares entre sí, véanse las figuras 5-7). La distribución espacial del campo magnético puede medirse empujando la base de barril a lo largo de una de las reglas o las bobinas a lo largo de la otra.

## Montaje (2/2)

PHYWE

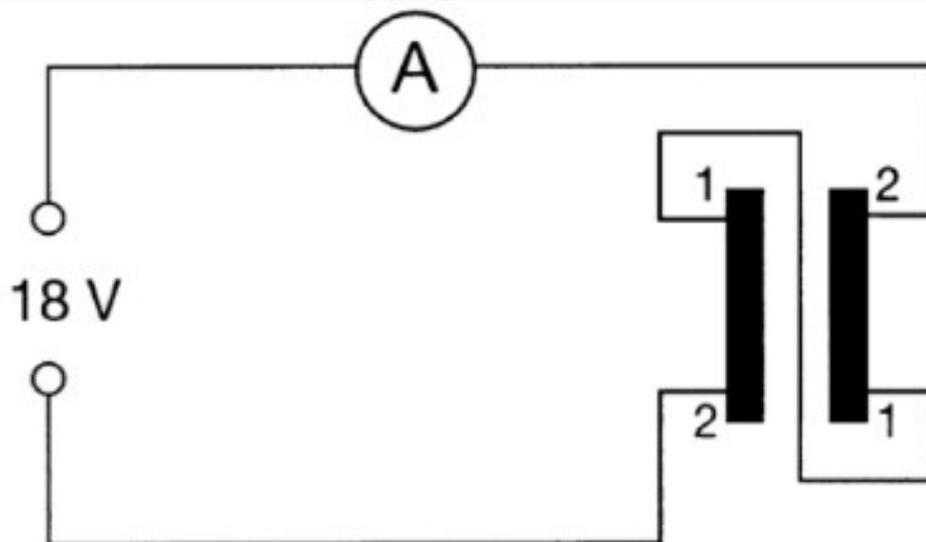
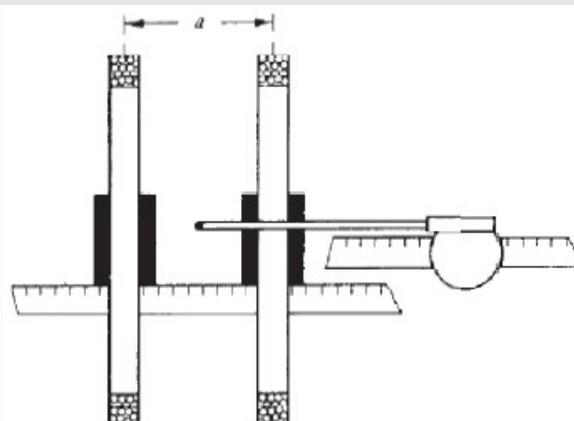


Fig. 4: Esquema de conexión de las bobinas de Helmholtz.

## Ejecución (1/3)

PHYWE

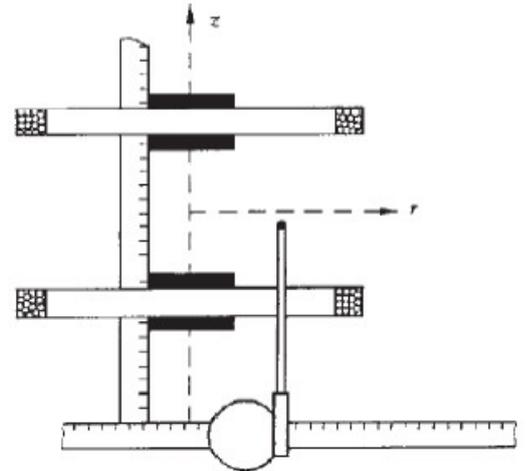
- A lo largo del eje  $z$ , por razones de simetría, la densidad de flujo magnético sólo tiene la componente axial  $B_z$ . La Fig. 5 muestra cómo se colocan las bobinas, la sonda y las reglas. (Si es necesario, se puede utilizar el borde del banco en lugar de la regla inferior). Mide la relación  $B(z, r = 0)$  cuando la distancia entre las bobinas  $a = R$  y, por ejemplo, para  $a = R/2$  y  $a = 2R$ .

Fig. 5: Medición  $B(z, r = 0)$  a diferentes distancias  $a$  entre las bobinas.

## Ejecución (2/3)

PHYWE

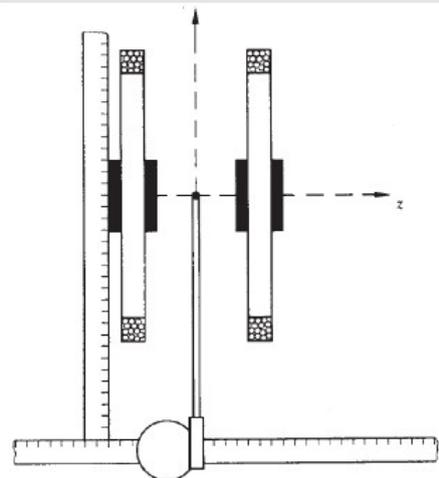
- Cuando la distancia  $a = R$  las bobinas se pueden unir con los separadores. a) Medir  $B_z(z, r)$  como se muestra en la Fig. 6. Fijar la coordenada  $r$  moviendo la sonda y la coordenada  $z$  moviendo las bobinas. Comprobar: la densidad de flujo debe tener su valor máximo en el punto ( $z = 0, r = 0$ ). b) Girar el par de bobinas  $90^\circ$  (Fig. 7). Compruebe la sonda: en el plano  $z = 0, B_z$  debe = 0.

Fig. 6: Medición  $B_z(z, r)$ .

## Ejecución (3/3)

PHYWE

- Cortocircuite primero una bobina y luego la otra. Mide las componentes radiales de los campos individuales en  $z = 0$ .

Fig. 7: Medición  $B_r(z, r)$ .

PHYWE



# Resultados

## Resultados (1/2)

PHYWE

Densidad de flujo magnético en el punto medio cuando  $\alpha = R$ :

$$B(0,0) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2R} \cdot N \cdot \frac{2}{\left(\frac{5}{4}\right)^{\frac{3}{2}}} = 0.716 \mu_0 \cdot N \cdot \left(\frac{I}{R}\right)$$

cuando  $N = 154$ ,  $R = 0,20$  m y  $I = 3,5$  A esto da:

$$B(0,0) = 2,42 \text{ mT.}$$

Nuestras mediciones dieron  $B(0,0) = 2,49$  mT.

Las Figs. 8 y 9 muestran las curvas  $B_z(z)$  y  $B_r(z)$  medidas utilizando  $r$  como parámetro; la Fig. 10 muestra la superposición de los campos de las dos bobinas en  $B_r = 0$  en el plano central  $z = 0$ .

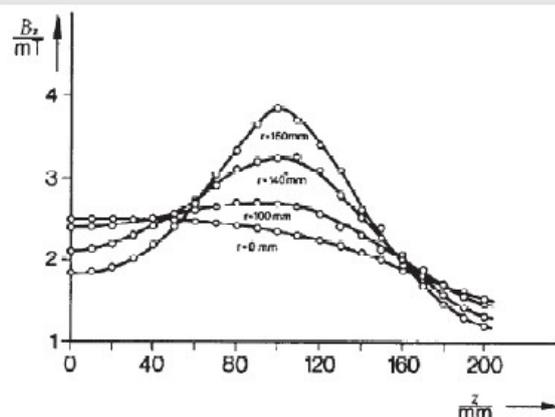


Fig. 8:  $B_z(z)$ , parámetro  $r$  (sólo en el cuadrante positivo).

## Resultados (2/2)

PHYWE

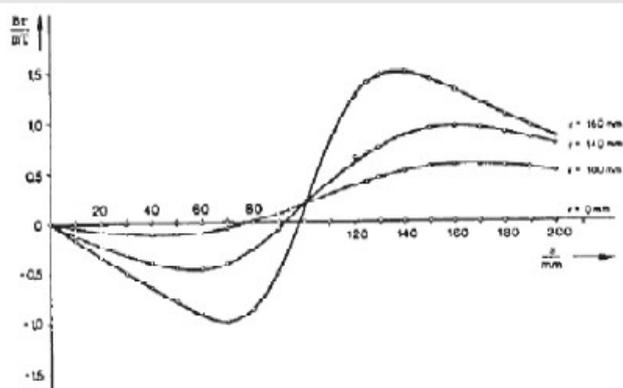


Fig. 9:  $B_z(z)$ , parámetro  $r$  (sólo en el cuadrante positivo).

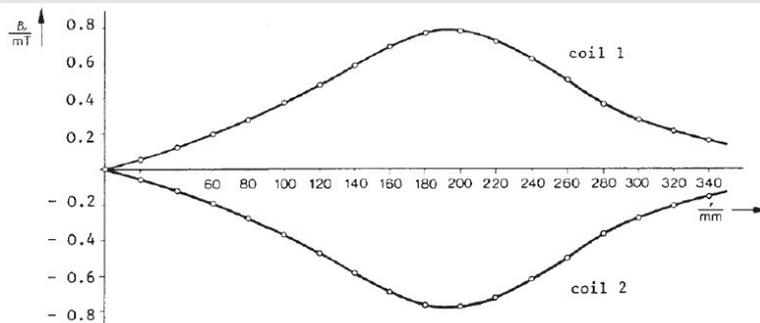


Fig. 10: Componentes radiales  $B_r'(r)$  y  $B_r''(r)$  de las dos bobinas cuando  $z = 0$ .