

Magnetfeld einer Zylinderspule

BESTIMMUNG DES MAGNETFELDES VON ZYLINDERSPULEN UNTERSCHIEDLICHER LÄNGE.

- Bestimmung der magnetischen Flussdichte B in einer Zylinderspule in Abhängigkeit von der Stromstärke I .
- Messung der magnetischen Flussdichte B in einer Zylinderspule mit veränderlicher Windungsdichte in Abhängigkeit von der Stromstärke I .
- Bestätigung der Proportionalität zur Windungsdichte für große Längen.

UE3030500

10/22 HJB

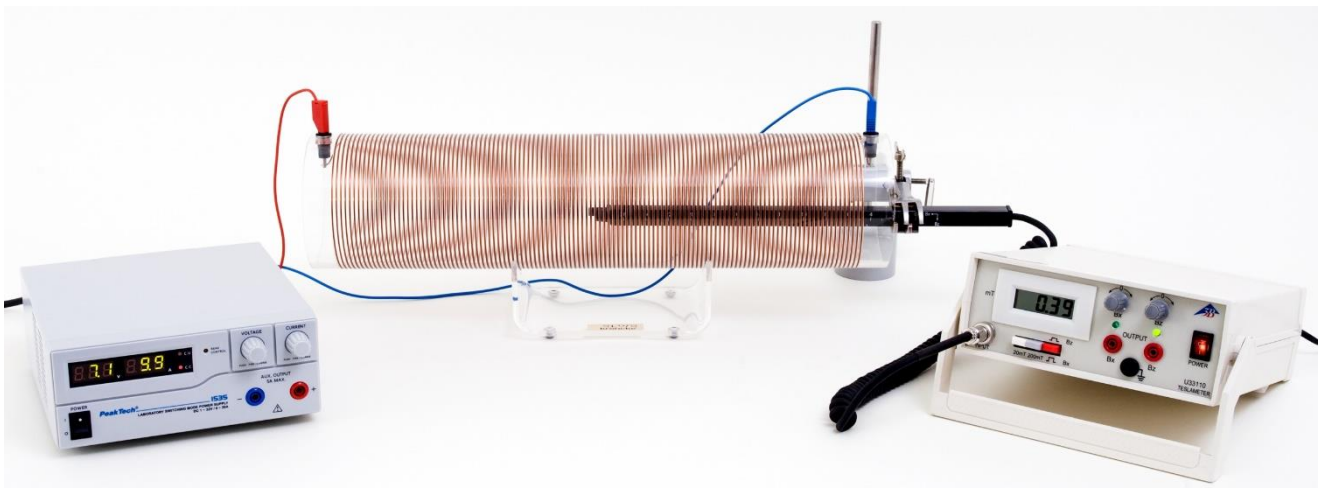


Fig. 1: Messanordnung.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Das Biot-Savart-Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der magnetischen Flussdichte B und dem elektrischen Strom I durch einen Leiter beliebiger Geometrie. Berechnet werden die Beiträge infinitesimal kleiner Stücke des Leiters zur gesamten magnetischen Flussdichte. Das gesamte Feld berechnet man durch Integration über die Geometrie des Leiters. In einigen Fällen, z.B. bei einer langen Zylinderspule, lässt sich eine einfache analytische Lösung angeben.

Ein infinitesimales, von einem Strom I durchflossenes Leiterstück ds erzeugt nach Biot-Savart am Ort r die magnetische Flussdichte

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot ds \times r}{4\pi r^3}.$$

B : magnetische Flussdichte

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$: Vakuump permeabilität

Im Inneren der Zylinderspule ist die magnetische Flussdichte parallel zur Zylinderachse ausgerichtet und beträgt

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I.$$

N : Windungszahl, L : Länge der Spule

solange die Länge der Spule wesentlich größer als ihr Radius ist. Die magnetische Flussdichte ist also unabhängig vom Spulendurchmesser und proportional zur Windungsdichte, der Zahl der Windungen pro Längeneinheit, und zum Strom durch die Spule.

Im Experiment wird mit einem axialen Teslameter die magnetische Flussdichte in der Spulenmitte langer Spulen bei Strömen bis zu 20 A gemessen. Nachgewiesen werden die Unabhängigkeit vom Spulendurchmesser sowie die Proportionalität zum Strom und zur Windungsdichte. Für Letzteres steht eine Spule mit variabler Windungsdichte zur Verfügung.

GERÄTELISTE

1	Feldspule, 100 mm	U12252	1000591
1	Feldspule, 120 mm	U12253	1000592
1	Spule veränderlicher Windungsdichte	U8496175	1000965
1	Ständer für Zylinderspulen	U8496150	1000964
1	Teslameter	U33110	1024235/6
1	DC-Netzgerät 1 – 32 V, 0 – 20 A	U11827	1012857/8
1	Satz 15 Experimentierkabel 2,5 mm ²	U13801	1002841
1	Tonnenfuß, 1000 g	U13265	1002834
1	Stativstange, 250 mm	U15001	1002933
1	Universalmuffe	U13255	1002830
1	Universalklemme	U13261	1002833

AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

Hinweis:

Das Experiment wird beispielhaft für die Feldspule 100 mm (Durchmesser $D = 10$ cm) durchgeführt.

- Messanordnung gemäß Fig. 1 aufbauen.
- Feldspule mit $D = 10$ cm an den rückseitigen Ausgang 0 – 20 A des DC-Netzgeräts anschließen. Das DC-Netzgerät noch nicht einschalten.
- Magnetfeldsonde mit Hilfe des Stativmaterials so positionieren, dass sich die axiale Hallsonde (Fig. 2) genau im Zentrum der Spule befindet.

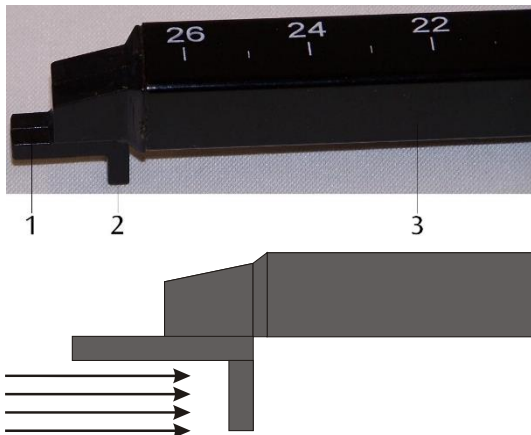


Fig. 2: Oben: Magnetfeldsonde, 1 tangentielle Hallsonde (z-Richtung), 2 axiale Hallsonde (x-Richtung), 3 Sonden­träger. Unten: Messung axialer Magnetfelder.

Mit der axialen Hallsonde wird die Komponente der magnetischen Induktion B entlang der Sondenachse gemessen. Zeigt das B -Feld in Richtung der Sondenachse (Fig. 2 unten), ist der angezeigte Wert positiv, bei umgekehrter Orientierung negativ.

- Magnetfeldsonde an die Anschlussbuchse für Magnetfeldsonde des Teslameters anschließen (Fig. 3).

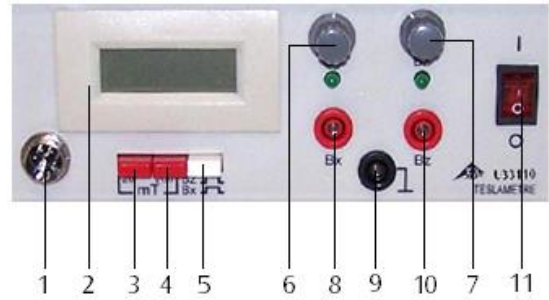


Fig. 3: Bedienelemente des Teslameters:

- 1 Anschlussbuchse für Magnetfeldsonde
- 2 Digitalanzeige
- 3 Messbereichswahlschalter 20 mT
- 4 Messbereichswahlschalter 200 mT
- 5 Messmoduswahlschalter axial (B_x) und tangential (B_z)
- 6 Nullpunktsteller B_x mit LED Betriebsanzeige
- 7 Nullpunktsteller B_z mit LED Betriebsanzeige
- 8 Ausgangsbuchse für Messmodus B_x
- 9 Massebuchse
- 10 Ausgangsbuchse für Messmodus B_z
- 11 Ein-/Ausschalter

- Teslameter einschalten, Messbereich 20 mT wählen und den Messmoduswahlschalter auf axial (B_x) einstellen.
- Nullpunktgleich durchführen. Dazu den Nullpunktsteller B_x so lange drehen, bis Null oder ein möglichst kleiner Wert im Anzeigefeld erscheint.
- DC-Netzgerät einschalten, Strom in 1 A – Schritten von 0 auf 20 A erhöhen, bei jedem Schritt die magnetische Flussdichte B_x ablesen und zusammen mit der eingestellten Stromstärke I in Tab. 1 notieren.

Sicherheitshinweis:

- Ströme $10\text{ A} < I \leq 20\text{ A}$ nur kurzzeitig anlegen!
- Feldspule mit $D = 10$ cm durch die Spule veränderlicher Windungsdichte (Fig. 4) ersetzen.
- Spulenlängen $L = 7, 12, 17, 22, 27$ und 32 cm symmetrisch zur Spulenmitte einstellen und die oben beschriebene Messreihe für jede Spulenlänge wiederholen. Alle Werte in Tab. 2 eintragen.

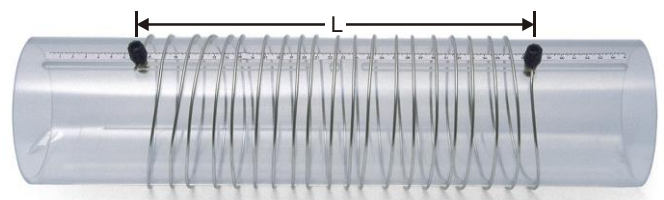


Fig. 4: Spule veränderlicher Windungsdichte.

Hinweis:

Die Spule kann optional jeweils an ihren Enden auf zwei Ständern 1000964 gelagert werden. Dadurch braucht sie bei der Einstellung der unterschiedlichen Längen nicht jedes Mal vom Ständer genommen und die Magnetfeldsonde nicht jedes Mal neu positioniert werden.

MESSBEISPIEL

Tab. 1: Magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit des Stroms I durch die Feldspule mit $D = 10$ cm.

I / A	B / mT
0	0,00
1	0,31
2	0,62
3	0,93
4	1,24
5	1,55
6	1,85
7	2,17
8	2,47
9	2,78
10	3,10
11	3,41
12	3,72
13	4,03
14	4,34
15	4,65
16	4,96
17	5,27
18	5,58
19	5,90
20	6,21

Tab. 2: Magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit des Stroms I für verschiedene Spulenlängen L .

I / A	B / mT					
	$L = 7$ cm	$L = 12$ cm	$L = 17$ cm	$L = 22$ cm	$L = 27$ cm	$L = 32$ cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
2	0,58	0,52	0,40	0,34	0,27	0,23
3	0,88	0,78	0,60	0,51	0,41	0,36
4	1,18	1,04	0,80	0,68	0,55	0,47
5	1,48	1,30	1,00	0,85	0,68	0,60
6	1,78	1,56	1,20	1,02	0,83	0,72
7	2,07	1,84	1,40	1,19	0,97	0,84
8	2,37	2,12	1,61	1,36	1,10	0,96
9	2,67	2,37	1,81	1,53	1,25	1,08
10	2,96	2,66	2,01	1,70	1,38	1,20
11	3,26	2,93	2,21	1,88	1,52	1,32
12	3,56	3,20	2,42	2,05	1,67	1,45
13	3,86	3,46	2,62	2,22	1,80	1,57
14	4,17	3,74	2,83	2,39	1,94	1,70
15	4,47	4,02	3,04	2,57	2,08	1,81
16	4,77	4,28	3,24	2,73	2,23	1,94
17	5,07	4,59	3,45	2,91	2,36	2,06
18	5,38	4,86	3,65	3,08	2,51	2,19
19	5,66	5,15	3,85	3,26	2,65	2,31
20	5,96	5,44	4,06	3,43	2,79	2,43

AUSWERTUNG

- Die Messwerte aus Tab. 1 in einem $B(I)$ – Diagramm darstellen (Fig. 5).

Die gemäß Formel (2) erwartete Proportionalität der magnetischen Flussdichte B zum Strom I durch die Spule wird bestätigt.

Hinweis:

Durch eine entsprechende Messung mit der Feldspule 120 mm ($D = 12$ cm) kann gezeigt werden, dass die Proportionalität der magnetischen Flussdichte B zum Strom I durch die Spule unabhängig vom Spulendurchmesser ist.

- Die Messwerte aus Tab. 2 mit den unterschiedlichen Spulenlängen L als Parameter in einem $B(I)$ – Diagramm darstellen (Fig. 6).

Die gemäß Formel (2) erwartete Proportionalität der magnetischen Flussdichte B zum Strom I durch die Spule wird für alle Spulenlängen bestätigt.

Die Geradensteigungen nehmen auf Grund der umgekehrten Proportionalität der magnetischen Flussdichte B zur Spulenlänge L mit zunehmender Spulenlänge ab.

- Aus den unterschiedlichen Längen L und der Windungszahl $N = 30$ der Spule mit veränderlicher Windungszahl die Windungsdichte N/L berechnen und die Werte in Tab. 3 eintragen.
- Magnetische Flussdichte B bei $I = 20$ A für die berechneten Windungsdichten aus Tab. 2 übernehmen und in Tab. 3 eintragen.
- Die Messwerte aus Tab. 3 in einem $B(N/L)$ – Diagramm darstellen (Fig. 7).
- Die Proportionalität zur Windungsdichte bestätigt sich solange die Länge der Spule größer als das Dreifache des Spulenradius ist. Der Durchmesser der Spule mit veränderlicher Windungsdichte beträgt $D = 10$ cm.

Tab. 3: Magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit von der Windungsdichte N/L bei $I = 20$ A. Windungszahl $N = 30$.

L / cm	$N/L / 1/\text{cm}$	B / mT
7	4,29	5,96
12	2,50	5,44
17	1,76	4,06
22	1,36	3,43
27	1,11	2,79
32	0,94	2,43

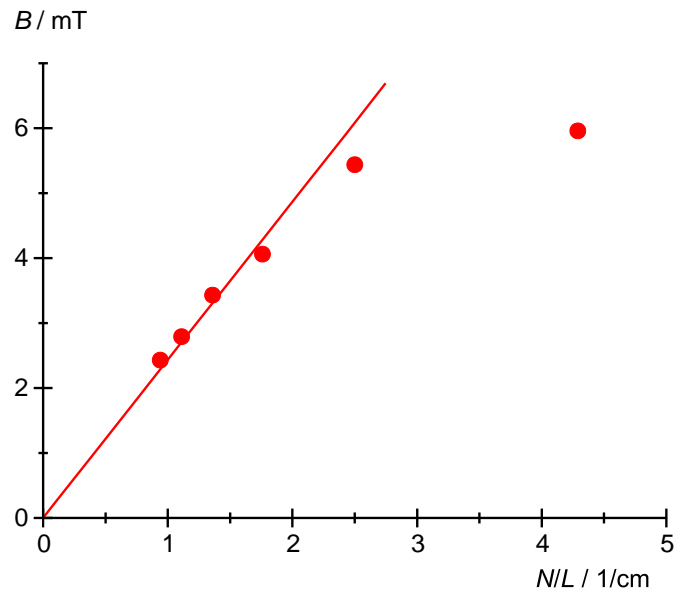


Fig. 7: Magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit von der Windungsdichte N/L bei $I = 20$ A.

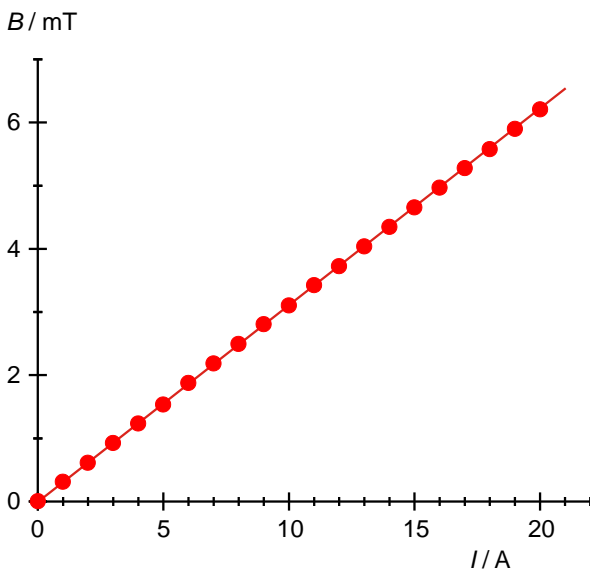


Fig. 5: Magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit des Stroms I durch die Feldspule mit $D = 10$ cm.

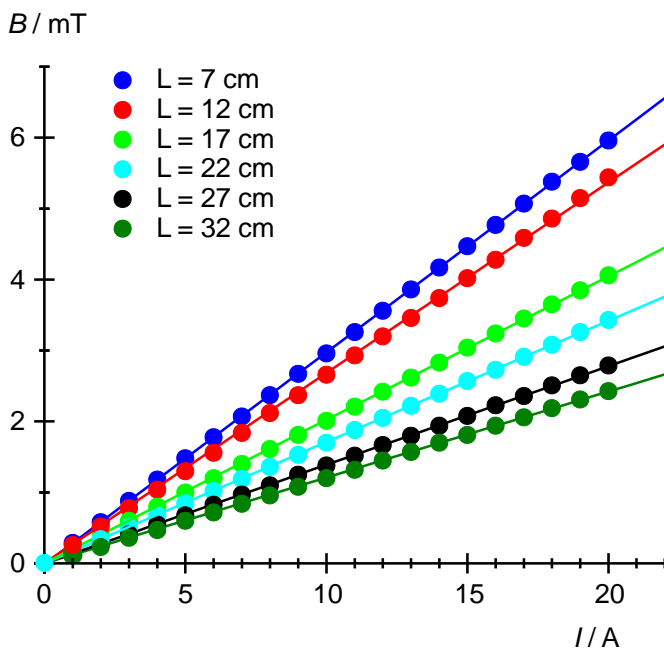


Fig. 6: Magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit vom Strom I durch die Spule mit veränderlicher Windungsdichte für verschiedene Spulenlängen L .

Magnetic Field of a Cylindrical Coil

DETERMINE THE MAGNETIC FIELD GENERATED BY COILS OF VARIOUS LENGTHS.

- Determine the magnetic flux density B inside a cylindrical coil as a function of the current I .
- Measure the magnetic flux density B inside a cylindrical coil with variable number of windings per unit length as a function of the current I .
- Determine that for long coils, the magnetic flux density is proportional to the density of the windings.

UE3030500

10/22 HJB

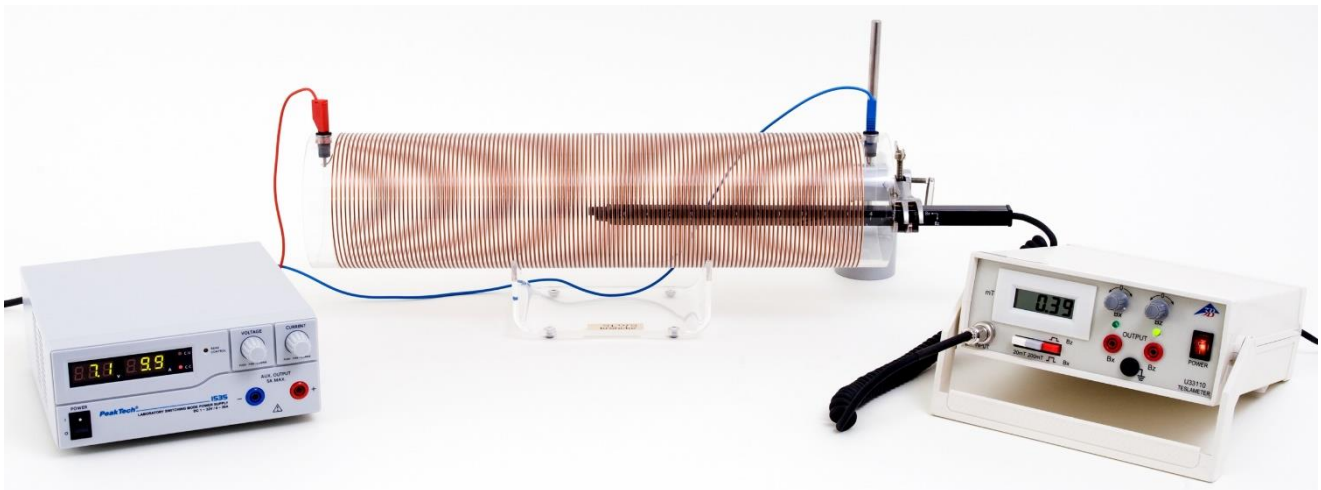


Fig. 1: Measurement set-up.

GENERAL PRINCIPLES

The Biot-Savart law describes the relationship between magnetic flux density B and electric current I through a conductor of any arbitrary geometry. The calculation involves adding the contributions of infinitesimally small sections of conductor to find the overall magnetic flux density. The overall field is then determined by integrating over the geometry of the conductor. In some cases, e.g. for a long cylindrical coil, there is a simple analytical solution to this integration.

According to the Biot-Savart law, an infinitesimally small section of conductor ds through which a current I is flowing, generates the following magnetic flux density at the point r

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{ds \times r}{r^3}.$$

B : magnetic flux density

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} : \text{permeability of free space}$$

Inside the cylindrical coil, the magnetic flux density is aligned parallel to the axis of the cylinder and is given by the following expression:

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I.$$

N : number of windings, L : length of coil

This applies as long as the length of the coil is much greater than its radius. The magnetic flux density does not therefore depend on the diameter of the coil and is proportional to the density of the windings, i.e. the number of windings per unit length, and the current through the coil.

The experiment involves using an axial teslameter to measure the magnetic flux density inside long coils for currents of up to 20 A. It demonstrates that the flux density does not depend on the coil diameter but is proportional to the current and the winding density. In order to prove the latter, a coil is provided which allows the windings to be moved closer together or farther apart, i.e. varying the number of windings per unit length.

LIST OF EQUIPMENT

1	Field Coil, 100 mm	U12252	1000591
1	Field Coil, 120 mm	U12253	1000592
1	Coil with Variable Number of Turns per Unit Length	U8496175	1000965
1	Stand for Cylindrical Coils	U8496150	1000964
1	Teslameter	U33110	1024235/6
1	DC Power Supply 1 – 32 V, 0 – 20 A	U11827	1012857/8
1	Set of 15 Experiment Leads 2,5 mm ²	U13801	1002841
1	Barrel Foot, 1000 g	U13265	1002834
1	Stainless Steel Rod, 250 mm	U15001	1002933
1	Universal Clamp	U13255	1002830
1	Universal Jaw Clamp	U13261	1002833

SET-UP AND PROCEDURE

Note:

By way of example, the experiment is carried out with 100 mm field coil (diameter $D = 10$ cm).

- Set up the experiment as shown in Fig. 1.
- Connect the field coil ($D = 10$ cm) to the 0 – 20 A output on the rear of the DC power supply. Do not turn on the power supply yet.
- Position the magnetic field probe by setting up the stand in such a way that the axial Hall probe (Fig. 2) is precisely in the centre of the coil.

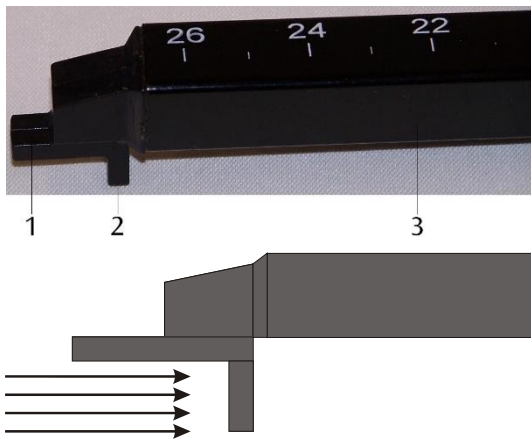


Fig. 2: Top: Magnetfeldsonde, 1 tangential Hall probe (z-direction), 2 axial Hall probe (x-direction), 3 probe carrier. Bottom: Measurement of axial magnetic fields.

The axial Hall probe measures the component of magnetic induction B along the axis of the probe. If the field B points along the axis of the probe (Fig. 2 below), the value displayed will be positive, whereas if it points the other way the value shown will be negative.

- Connect the magnetic field probe to the corresponding sockets of the teslameter (Fig. 3).

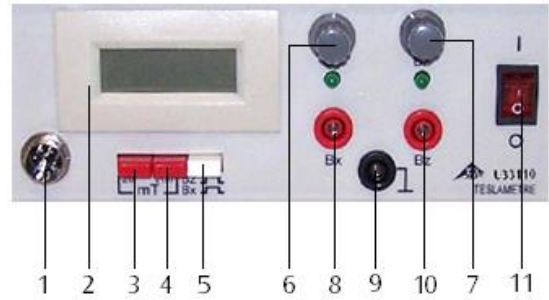


Fig. 3: Controls for teslameter:

- 1 Connecting socket for magnetic field probe
- 2 Digital display
- 3 Measurement range selector, 20 mT
- 4 Measurement range selector, 200 mT
- 5 Measurement mode switch, axial (B_x) and tangential (B_z)
- 6 Zero adjustment knob for B_x with LED indicator
- 7 Zero adjustment knob for B_z with LED indicator
- 8 Output socket for axial mode B_x
- 9 Earth (ground) socket
- 10 Output socket for tangential mode B_z
- 11 On/off switch

- Turn on the teslameter, select a measuring range of 20 mT and turn the measuring mode detector switch to axial (B_x).
- Calibrate the zero point by turning the zero point calibration knob B_x until the display shows 0 or the lowest value achievable.
- Turn on the DC power supply. Increase the current from 0 up to 20 A in steps of 1 A. For each of these steps, read off the magnetic flux density B_x , entering this value into Table 1 along with the current I set for that measurement.

Safety instruction:

- For a set current $10 \text{ A} < I \leq 20 \text{ A}$, only allow the current to flow for a brief period.
- Replace the field coil ($D = 10$ cm) by the coil with variable turns per unit length (Fig. 4).
- Set the lengths of the coil to be $L = 7, 12, 17, 22, 27$ and 32 cm, with each symmetrical around the centre of the coil. Repeat the measurement procedure described above for each of these lengths and enter all the values into Table 2.

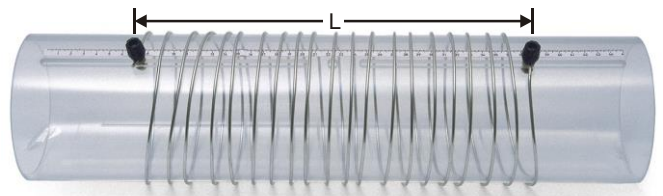


Fig. 4: Coil with variable number of windings per unit length.

Note:

The coil can optionally be mounted by its ends from two 1000964 stands. This means that it does not need to be taken off its stand every time the length is adjusted and that the magnetic field sensor does not need to be repositioned either.

SAMPLE MEASUREMENT

Tab. 1: Magnetic flux density B as a function of current I through a field coil of diameter $D = 10$ cm.

I / A	B / mT
0	0.00
1	0.31
2	0.62
3	0.93
4	1.24
5	1.55
6	1.85
7	2.17
8	2.47
9	2.78
10	3.10
11	3.41
12	3.72
13	4.03
14	4.34
15	4.65
16	4.96
17	5.27
18	5.58
19	5.90
20	6.21

Tab. 2: Magnetic flux density B as a function of current I for various lengths of coil L .

I / A	B / mT					
	$L = 7$ cm	$L = 12$ cm	$L = 17$ cm	$L = 22$ cm	$L = 27$ cm	$L = 32$ cm
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.29	0.26	0.20	0.17	0.14	0.12
2	0.58	0.52	0.40	0.34	0.27	0.23
3	0.88	0.78	0.60	0.51	0.41	0.36
4	1.18	1.04	0.80	0.68	0.55	0.47
5	1.48	1.30	1.00	0.85	0.68	0.60
6	1.78	1.56	1.20	1.02	0.83	0.72
7	2.07	1.84	1.40	1.19	0.97	0.84
8	2.37	2.12	1.61	1.36	1.10	0.96
9	2.67	2.37	1.81	1.53	1.25	1.08
10	2.96	2.66	2.01	1.70	1.38	1.20
11	3.26	2.93	2.21	1.88	1.52	1.32
12	3.56	3.20	2.42	2.05	1.67	1.45
13	3.86	3.46	2.62	2.22	1.80	1.57
14	4.17	3.74	2.83	2.39	1.94	1.70
15	4.47	4.02	3.04	2.57	2.08	1.81
16	4.77	4.28	3.24	2.73	2.23	1.94
17	5.07	4.59	3.45	2.91	2.36	2.06
18	5.38	4.86	3.65	3.08	2.51	2.19
19	5.66	5.15	3.85	3.26	2.65	2.31
20	5.96	5.44	4.06	3.43	2.79	2.43

EVALUATION

- Plot the measurements in Table 1 in a graph of B against I (Fig. 5).

This verifies that the magnetic flux density B is proportional to current I through the coil as predicted by equation (2).

Note:

A corresponding measurement using a coil of diameter 120 mm ($D = 12$ cm) can demonstrate that the magnetic flux density B remains proportional to the current I through the coil regardless of the coil's diameter.

- Plot the measurements from Table 2, incorporating the various lengths as a parameter, in a graph of B against I (Fig. 6).

This verifies that the magnetic flux density B is proportional to current I through the coil as predicted by equation (2) for any length of coil.

Due to the inverse proportionality of the magnetic flux density B to the coil length L , the gradient of the lines decreases as the length gets longer.

- Knowing the number of turns on the variable length coil is $N = 30$, calculate the winding turns per unit length N/L and enter the results into Table 3.
- Take the magnetic flux densities B when current $I = 20$ A for each of the N/L values calculated from Table 2 and enter them in the corresponding cells of Table 3.
- Plot the measurements from Table 3 in a graph of B against N/L (Fig. 7).
- The flux density is confirmed to be proportional to the turns per unit length as long as the length of the coil is more than three times its radius. The diameter of the coil with variable turns per unit length is $D = 10$ cm.

Tab. 3: Magnetic flux density B as a function of number of windings per unit length N/L when $I = 20$ A. Number of windings $N = 30$.

L / cm	$N/L / 1/\text{cm}$	B / mT
7	4.29	5.96
12	2.50	5.44
17	1.76	4.06
22	1.36	3.43
27	1.11	2.79
32	0.94	2.43

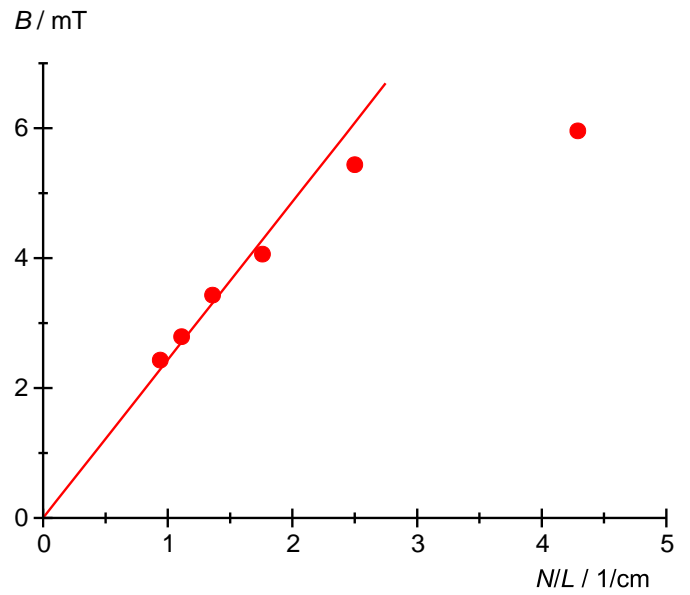


Fig. 7: Magnetic flux density B as a function of number of windings per unit length N/L when $I = 20$ A.

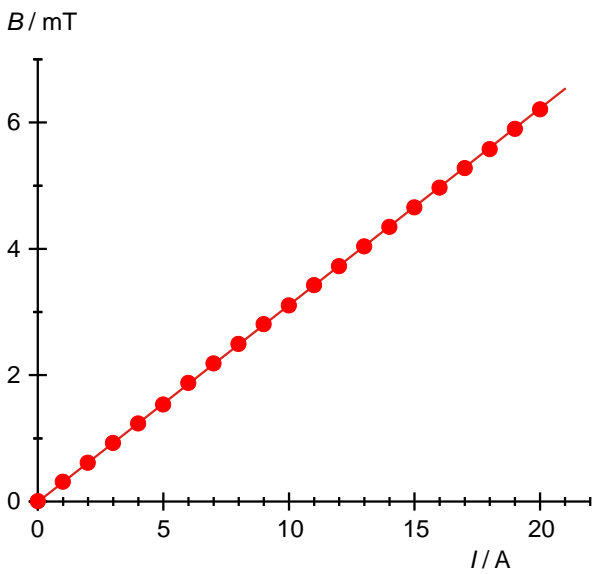


Fig. 5: Magnetic flux density B as a function of current I through a field coil of diameter $D = 10$ cm.

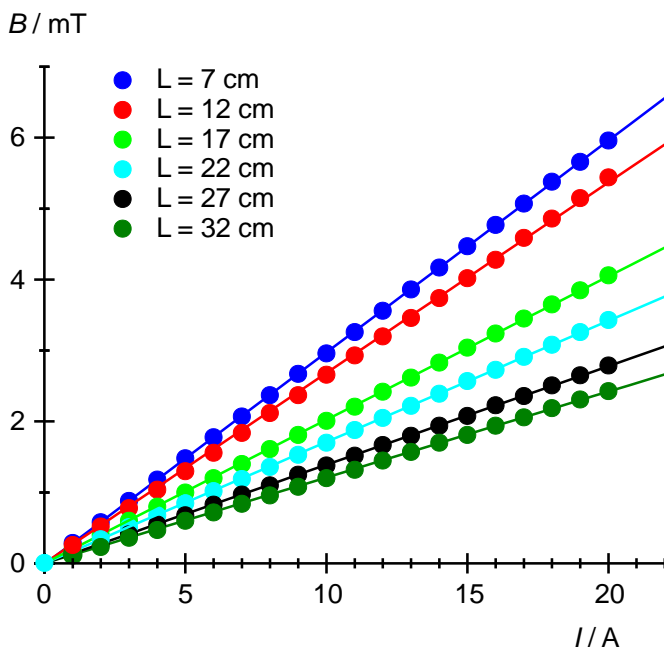


Fig. 6: Magnetic flux density B as a function of current I using the coil with a variable number of windings per unit length for various lengths of coil L .

Campo magnético de una bobina cilíndrica

DETERMINACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DE BOBINAS CILINDRICA DE DIFERENTES LONGITUDES.

- Determinación de la densidad de flujo magnético B en una bobina cilíndrica en dependencia con la intensidad de corriente I .
- Medición de la densidad de flujo magnético B en una bobina cilíndrica con densidad de espiras variable en dependencia con la intensidad de corriente I .
- Comprobación de la proporcionalidad con la densidad de espiras para grandes longitudes.

UE3030500

10/22 HJB

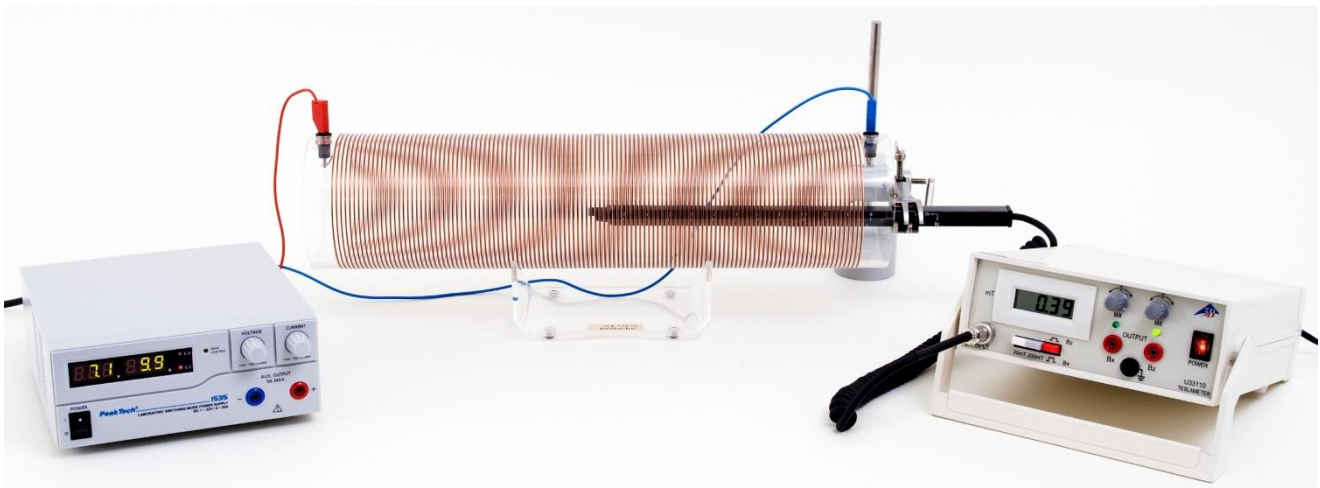


Fig. 1: Disposición de medición.

FUNDAMENTOS GENERALES

La ley de Biot-Savart describe la relación entre la densidad de flujo magnético B y la corriente eléctrica I a través de un conductor de cualquier geometría. Se calculan las aportaciones de partes pequeñas infinitesimales del conductor para la densidad total del flujo magnético por integración sobre la geometría del conductor. En algunos casos p.ej. con bobinas cilíndricas largas, se puede lograr una solución analítica sencilla.

Un elemento infinitesimal ds del conductor por el cual fluye la corriente I genera, según Biot-Savart, en el lugar r la densidad de flujo magnético

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{ds \times r}{r^3}.$$

B : Densidad de flujo magnético

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} : \text{Permeabilidad del vacío}$$

En el interior de la bobina cilíndrica la densidad de flujo magnético está orientada paralelamente al eje cilíndrico de la bobina y llega a

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I.$$

N : Número de espiras, L : Longitud de la bobina

siempre y cuando la longitud de la bobina sea mucho mayor que su radio. La densidad de flujo magnético es por lo tanto independiente del diámetro de la bobina y proporcional a la densidad de espiras; el número de espiras por unidad de longitud y a la corriente por la bobina.

En el experimento se mide, con un teslámetro axial, la densidad de flujo magnético en el centro de bobinas largas con corrientes de hasta 20 A. Se comprueba, la independencia respecto al diámetro de la bobina así como la proporcionalidad con la corriente y con la densidad de espiras. Para esto último se tiene a disposición la bobina con densidad de espiras variable.

LISTA DE APARATOS

1	Bobina de campo, 100 mm	U12252	1000591
1	Bobina de campo, 120 mm	U12253	1000592
1	Bobina con densidad de espiras variable	U8496175	1000965
1	Soporte para bobinas cilíndricas	U8496150	1000964
1	Teslámetro	U33110	1024235/6
1	Fuente de alimentación de CC 1 – 32 V, 0 – 20 A	U11827	1012857/8
1	Juego de 15 cables de experimentación 2,5 mm ²	U13801	1002841
1	Base con orificio central, 1000 g	U13265	1002834
1	Varilla de soporte, 250 mm	U15001	1002933
1	Nuez universal	U13255	1002830
1	Pinza universal	U13261	1002833

MONTAJE Y REALIZACIÓN

Observación:

- El experimento se realiza ejemplarmente con una bobina de campo de 100 mm (Diámetro $D = 10$ cm).
- Se monta la disposición de medición según la Fig. 1.
- Se conecta la bobina de campo de $D = 10$ nm en la salida trasera de 0 – 20 A de la de la fuente de alimentación de CC, pero la fuente de alimentación no se enciende todavía.
- La sonda de campo magnético, utilizando material de soporte, se posiciona de tal forma que la sonda de Hall axial se encuentre exactamente en el centro de la bobina (Fig. 2).

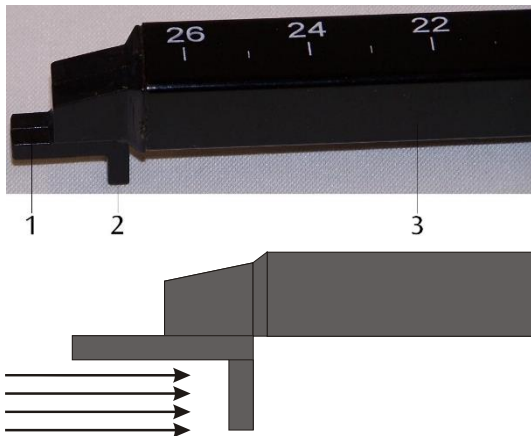


Fig. 2: Arriba: Sonda de campo magnético, 1 Sonda de Hall tangencial (Dirección z), 2 Sonda de Hall axial (Dirección x), 3 Soporte. Abajo: Medición de campos magnéticos axiales.

Con la sonda de Hall axial se mide la componente de la inducción magnética B a lo largo del eje de la sonda. Si el campo B muestra en dirección del eje de la sonda (Fig. 2, abajo), el valor indicado es positivo, con una orientación inversa, será negativo.

- Se conecta la sonda de campo magnético en el casquillo de conexión para sonda de campo magnético del teslámetro (Fig. 3).

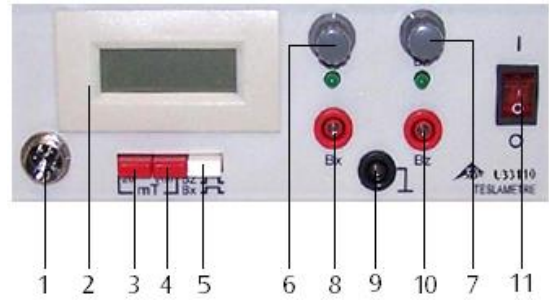


Fig. 3: Elementos de mando del teslámetro:

- 1 Casquillo de conexión para la sonda de campo magnético
- 2 Display digital
- 3 Conmutador de alcance de medida de 20 mT
- 4 Conmutador de alcance de medida de 200 mT
- 5 Conmutador de alcance de medida axial (BX) y tangencial (BZ)
- 6 Ajuste de punto cero para BX con LED de indicación de trabajo
- 7 Ajuste de punto cero BZ con LED de indicación de trabajo
- 8 Casquillo de salida para el modo de medida BX
- 9 Casquillo de masa
- 10 Casquillo de salida para el modo de medida BZ
- 11 Interruptor ON / OFF

- Se enciende el teslámetro, se elige el alcance de medida de 20 mT, el conmutador selector de modos de medición se ajusta en axial (Bx).
- Se realiza una compensación de punto cero. Para ello, se gira el ajuste del punto cero del BX hasta que en el campo de indicación aparezca cero o un valor mínimo.
- Se conecta la fuente de alimentación de CC, la corriente se aumenta de 0 hasta 20 A en pasos de 1 A, en cada paso se lee la densidad de flujo Bx y se anota en la Tab. 1 junto a la intensidad de corriente I ajustada.

Advertencias de seguridad:

- ¡Corrientes de $10 A < I \leq 20 A$ se conectan sólo por corto tiempo!
- Se cambia la bobina de campo con $D = 10$ cm por la bobina de densidad de espiras variable (Fig. 4).
- Se ajustan longitudes de bobina de $L = 7, 12, 17, 22, 27$ y 32 cm simétricamente con respecto al centro de la bobina y se repite la serie de mediciones descrita arriba para cada longitud de bobina. Todos los valores se anotan en la Tab. 2.

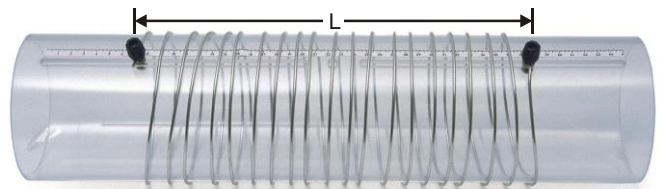


Fig. 4: Bobina con densidad de espiras variable.

Observación:

Opcionalmente, la bobina se puede colocar en cada uno de sus extremos en un soporte 1000964. En esta forma no se hace necesario retirar la bobina del soporte para ajustar las diferentes longitudes y la sonda de campo magnético no tiene que ser posicionada de nuevo cada vez

EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tab. 1: Densidad de flujo magnético B en dependencia con la corriente I por la bobina de campo con $D = 10$ cm.

I / A	B / mT
0	0,00
1	0,31
2	0,62
3	0,93
4	1,24
5	1,55
6	1,85
7	2,17
8	2,47
9	2,78
10	3,10
11	3,41
12	3,72
13	4,03
14	4,34
15	4,65
16	4,96
17	5,27
18	5,58
19	5,90
20	6,21

Tab. 2: Densidad de flujo magnético B en dependencia con la corriente I para diferentes longitudes L .

I / A	B / mT					
	$L = 7$ cm	$L = 12$ cm	$L = 17$ cm	$L = 22$ cm	$L = 27$ cm	$L = 32$ cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
2	0,58	0,52	0,40	0,34	0,27	0,23
3	0,88	0,78	0,60	0,51	0,41	0,36
4	1,18	1,04	0,80	0,68	0,55	0,47
5	1,48	1,30	1,00	0,85	0,68	0,60
6	1,78	1,56	1,20	1,02	0,83	0,72
7	2,07	1,84	1,40	1,19	0,97	0,84
8	2,37	2,12	1,61	1,36	1,10	0,96
9	2,67	2,37	1,81	1,53	1,25	1,08
10	2,96	2,66	2,01	1,70	1,38	1,20
11	3,26	2,93	2,21	1,88	1,52	1,32
12	3,56	3,20	2,42	2,05	1,67	1,45
13	3,86	3,46	2,62	2,22	1,80	1,57
14	4,17	3,74	2,83	2,39	1,94	1,70
15	4,47	4,02	3,04	2,57	2,08	1,81
16	4,77	4,28	3,24	2,73	2,23	1,94
17	5,07	4,59	3,45	2,91	2,36	2,06
18	5,38	4,86	3,65	3,08	2,51	2,19
19	5,66	5,15	3,85	3,26	2,65	2,31
20	5,96	5,44	4,06	3,43	2,79	2,43

EVALUACIÓN

- Se representan los valores de medida de la Tab. 1 en un diagrama $B(I)$ (Fig. 5).

Se comprueba la proporcionalidad esperada, según la fórmula (2), de la densidad de flujo magnético B con respecto a la corriente I por la bobina.

Observación:

Por medio de la correspondiente medición con la bobina de campo de 120 mm ($D = 12$ cm) se puede mostrar que la proporcionalidad de la densidad de flujo magnético B con respecto a la corriente I a través de la bobina es independiente del diámetro de la bobina.

- Los valores de medida de la Tab. 2, con las diferentes longitudes L de bobina como parámetro, se representan en un diagrama $B(I)$ (Fig. 6).

Se comprueba para todas las longitudes la bobina, la proporcionalidad esperada, según la fórmula (2), entre la densidad de flujo magnético B y la corriente I por la bobina.

Las pendientes de las rectas aumentan debido a proporcionalidad inversa de la densidad de flujo magnético B con respecto

a la longitud L de la bobina al aumentar la longitud de la misma.

- De las diferentes longitudes L y del número de espiras $N = 30$ de la bobina con número de espiras variable, se calcula N/L , la densidad de las espiras y los valores se anotan en la Tab. 3.
- Se toman de la Tab. 2 las densidades de flujo magnético B con $I = 20$ A, para las densidades de espiras calculadas y se anotan en la Tab. 3.
- Se representan en un diagrama $B(N/L)$ los valores de medida de la Tab. 3. (Fig. 7).
- La proporcionalidad con respecto a la densidad de espiras se comprueba siempre y cuando la longitud de la bobina sea mayor que tres veces el radio de la bobina. El diámetro de la bobina con densidad de espiras variable es de $D = 10$ cm.

Tab. 3: Densidad de flujo magnético B en dependencia con la densidad de espiras con N/L para $I = 20$ A. Número de espiras $N = 30$.

L / cm	$N/L / 1/\text{cm}$	B / mT
7	4,29	5,96
12	2,50	5,44
17	1,76	4,06
22	1,36	3,43
27	1,11	2,79
32	0,94	2,43

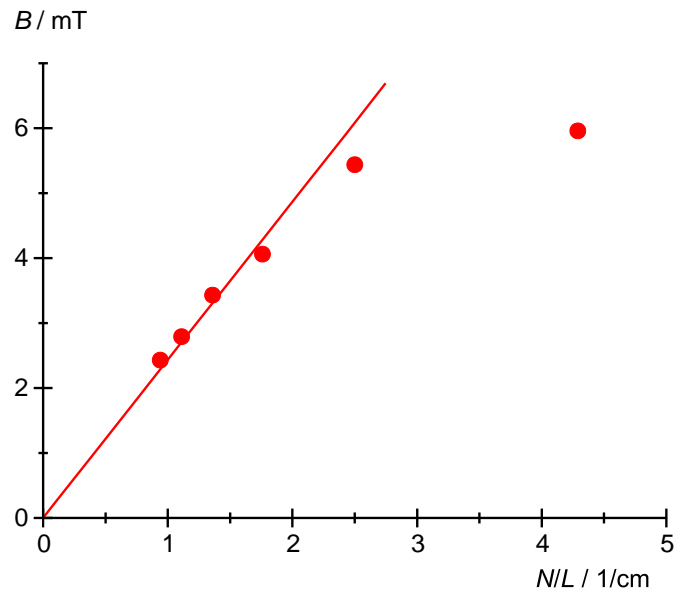


Fig. 7: Densidad de flujo magnético B en dependencia con la densidad de espiras con N/L para $I = 20$ A.

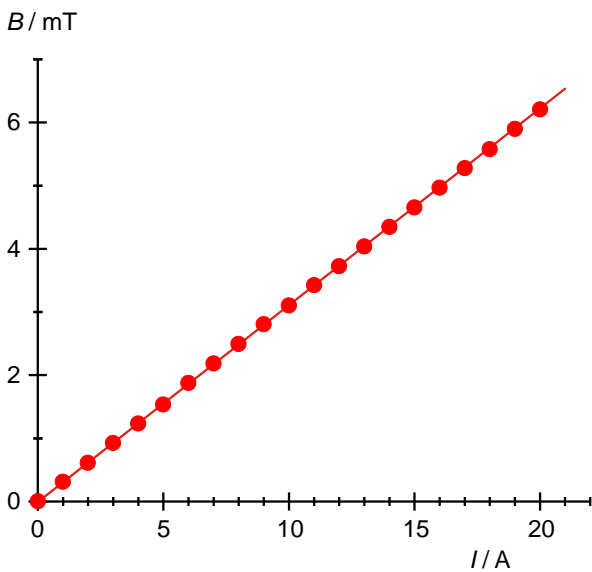


Fig. 5: Densidad de flujo magnético B en dependencia con la corriente I por la bobina de campo con $D = 10$ cm.

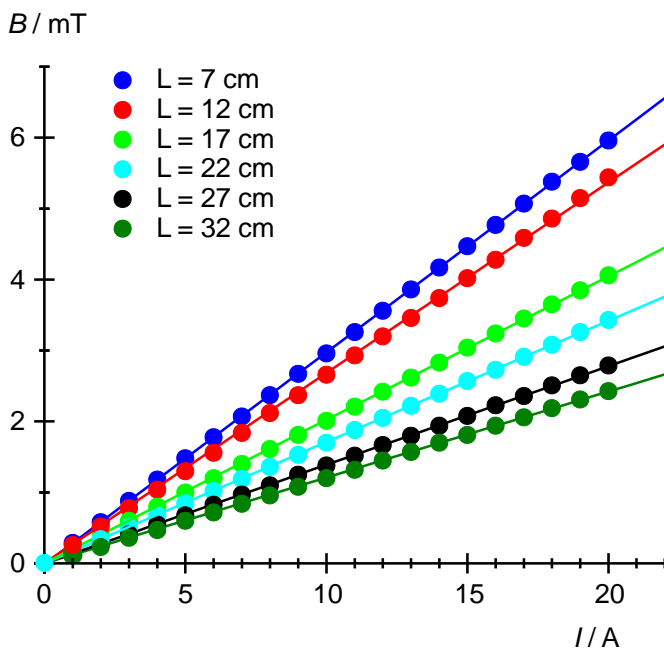


Fig. 6: Densidad de flujo magnético B en dependencia con la corriente I para la bobina con densidad de espiras variable, para diferentes longitudes L .

Champ magnétique d'une bobine cylindrique

DETERMINER LE CHAMP MAGNETIQUE DE BOBINES CYLINDRIQUES DE DIFFERENTES LONGUEURS.

- Déterminer la densité de flux magnétique B dans une bobine cylindrique en fonction de l'intensité électrique I .
- Mesurer la densité de flux magnétique B dans une bobine cylindrique de densité d'enroulement variable en fonction de l'intensité électrique I .
- Confirmer la proportionnalité à la densité de spires pour de grandes longueurs.

UE3030500

10/22 HJB

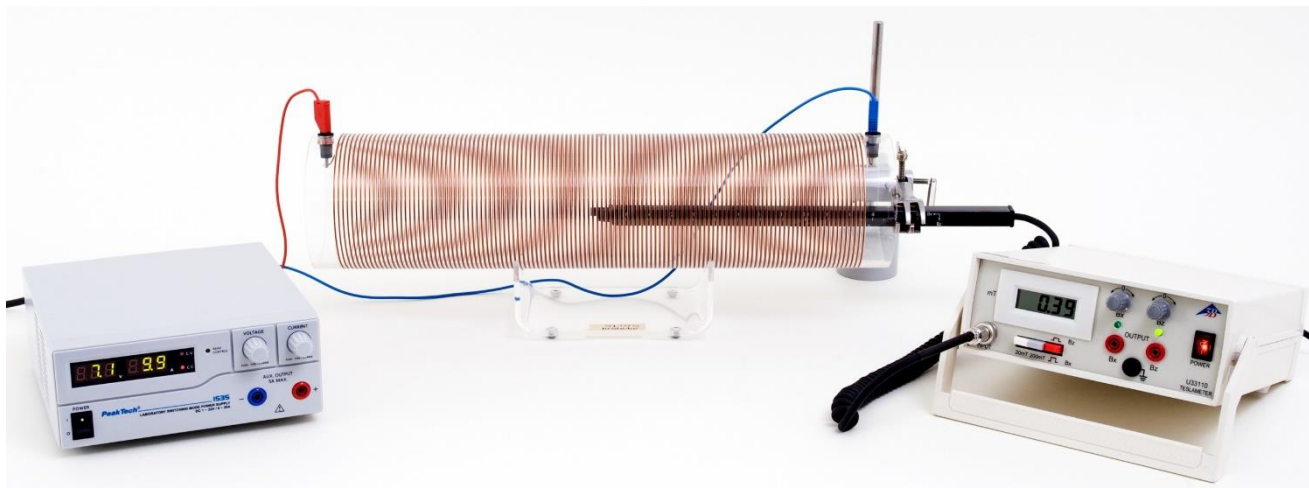


Fig. 1: Disposition pour mesure.

NOTIONS DE BASE GENERALES

La loi de Biot et Savart décrit le rapport entre la densité de flux magnétique B et le courant électrique I traversant un conducteur de géométrie quelconque. Le calcul porte sur des particules infinitésimales du conducteur par rapport à la densité de flux magnétique totale. Le champ total est calculé par intégration via la géométrie du conducteur. Dans certains cas, par ex. avec une longue bobine cylindrique, on peut indiquer une solution analytique simple.

Selon la loi de Biot et Savart, un élément de conducteur infinitésimal ds traversé par un courant I génère la densité de flux magnétique à l'endroit r .

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{ds \times r}{r^3}.$$

B : densité de flux magnétique

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} : \text{perméabilité du vide}$$

À l'intérieur de la bobine cylindrique, la densité de flux magnétique est parallèle à l'axe du cylindre :

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I.$$

N : nombre de spires, L : longueur de bobine

tant que la longueur de la bobine est sensiblement supérieure à son rayon. La densité de flux magnétique dépend donc du diamètre de bobine et est proportionnelle à la densité d'enroulement, au nombre de spires par unité de longueur et au courant traversant la bobine.

Dans l'expérience, avec un teslamètre, nous allons mesurer la densité de flux magnétique au centre de longues bobines avec des courants allant jusqu'à 20 A. Nous allons démontrer l'indépendance vis-à-vis du diamètre de bobine ainsi que la proportionnalité avec le courant et la densité d'enroulement. Pour ce dernier, nous disposons d'une bobine à densité de spires variable.

LISTE DES APPAREILS

1	Bobine de champ, 100 mm	U12252	1000591
1	Bobine de champ, 120 mm	U12253	1000592
1	Bobine à densité d'enroulement variable	U8496175	1000965
1	Support pour bobines cylindriques	U8496150	1000964
1	Teslamètre	U33110	1024235/6
1	Alimentation CC 1 – 32 V, 20 A	U11827	1012857/8
1	Jeu de 15 cordons à reprise arrière 2,5 mm ²	U13801	1002841
1	Socle de serrage, 1000 g	U13265	1002834
1	Tige statif, 250 mm	U15001	1002933
1	Noix universelle	U13255	1002830
1	Pince universelle	U13261	1002833

MONTAGE ET REALISATION

Note :

L'expérience est effectuée par ex. pour la bobine de champ 100 mm (Diamètre $D = 10$ cm).

- Mettre en place le dispositif de mesure comme dans Fig. 1.
- Brancher la bobine de champ avec $D = 10$ cm à la sortie arrière 0 – 20 A du bloc d'alimentation CC. Ne pas encore allumer le bloc d'alimentation CC.
- Positionner le capteur de champ magnétique à l'aide du trépied, de sorte que la sonde de Hall axiale (Fig. 2) soit bien au centre de la bobine.

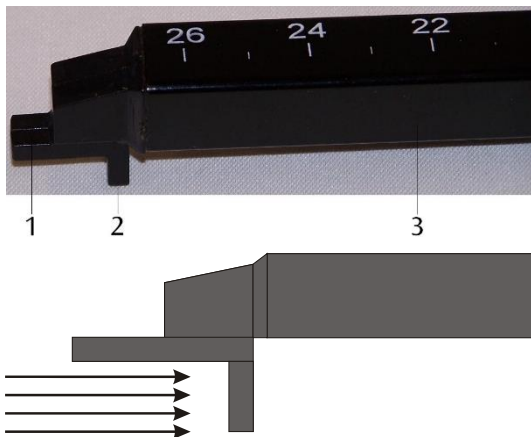


Fig. 2: Haut : Sonde de champs magnétiques, 1 sondes de Hall tangentielles (direction Y), 2 sonde de Hall axiale (direction X), 3 supports. Bas : Mesure de champs magnétiques axiaux.

La sonde de Hall axiale mesure les composants de l'induction magnétique B le long de l'axe de sonde. Si le champ B pointe en direction de l'axe de sonde (Fig. 2 bas), la valeur affichée est positive, tandis qu'elle est négative avec une orientation inversée.

- Brancher le capteur de champ magnétique aux ports de branchement pour le capteur de champ magnétique du teslamètre (Fig. 3).

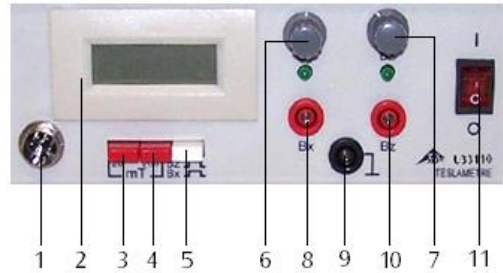


Fig. 3: Éléments de contrôle du teslamètre :

- 1 Douille de jonction pour la sonde de champs magnétiques
- 2 Affichage numérique
- 3 Commutateur de sélection de la plage de mesures, 20 mT
- 4 Commutateur de sélection de la plage de mesures, 200 mT
- 5 Commutateur de sélection des modes de mesure axial (B_x) et tangentiel (B_z)
- 6 Dispositif de mise à zéro B_x avec témoin de fonctionnement LED
- 7 Dispositif de mise à zéro B_z avec témoin de fonctionnement LED
- 8 Douille de sortie pour mode de mesure B_x
- 9 Douille de masse
- 10 Douille de sortie pour mode de mesure B_z
- 11 Commutateur marche/arrêt

- Allumer le teslamètre, sélectionner la plage de mesure 20 mT et régler l'interrupteur de choix du mode de mesure sur axial (B_x).
- Effectuer une comparaison de point zéro. Pour cela, faire tourner le bouton de mise à zéro B_x jusqu'à ce que zéro ou une valeur aussi basse que possible soit affichée.
- Allumer le bloc d'alimentation CC, augmenter le courant de 0 à 20 A par incréments de 1 A, lire la densité du flux magnétique B_x à chaque étape et la noter avec l'intensité réglée I dans le Tab. 1.

Consignes de sécurité :

- Appliquer des courants $10 \text{ A} < I \leq 20 \text{ A}$ de manière brève uniquement !
- Remplacer la bobine de champ avec $D = 10$ cm par la bobine à densité d'enroulement variable (Fig. 4).
- Régler les longueurs de bobines $L = 7, 12, 17, 22, 27$ et 32 cm de manière symétrique au centre de la bobine et répéter la série de mesure décrite ci-dessus pour chaque longueur de bobine. Saisir toutes les valeurs dans Tab. 2.

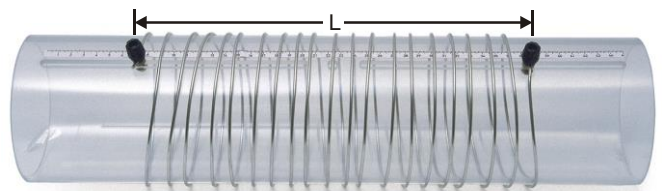


Fig. 4: Bobine à densité d'enroulement variable.

Note :

La bobine peut reposer sur deux supports optionnels 1000964. Cela évite de la retirer du support pour chaque réglage de longueur et évite d'avoir à repositionner à chaque fois le capteur de champ magnétique.

EXEMPLE DE MESURE

Tab. 1: Densité de flux magnétique B en fonction du courant I par la bobine de champ avec $D = 10$ cm.

I / A	B / mT
0	0,00
1	0,31
2	0,62
3	0,93
4	1,24
5	1,55
6	1,85
7	2,17
8	2,47
9	2,78
10	3,10
11	3,41
12	3,72
13	4,03
14	4,34
15	4,65
16	4,96
17	5,27
18	5,58
19	5,90
20	6,21

Tab. 2: Densité de flux magnétique B en fonction du courant I pour différentes longueurs de bobine L .

I / A	B / mT					
	$L = 7$ cm	$L = 12$ cm	$L = 17$ cm	$L = 22$ cm	$L = 27$ cm	$L = 32$ cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
2	0,58	0,52	0,40	0,34	0,27	0,23
3	0,88	0,78	0,60	0,51	0,41	0,36
4	1,18	1,04	0,80	0,68	0,55	0,47
5	1,48	1,30	1,00	0,85	0,68	0,60
6	1,78	1,56	1,20	1,02	0,83	0,72
7	2,07	1,84	1,40	1,19	0,97	0,84
8	2,37	2,12	1,61	1,36	1,10	0,96
9	2,67	2,37	1,81	1,53	1,25	1,08
10	2,96	2,66	2,01	1,70	1,38	1,20
11	3,26	2,93	2,21	1,88	1,52	1,32
12	3,56	3,20	2,42	2,05	1,67	1,45
13	3,86	3,46	2,62	2,22	1,80	1,57
14	4,17	3,74	2,83	2,39	1,94	1,70
15	4,47	4,02	3,04	2,57	2,08	1,81
16	4,77	4,28	3,24	2,73	2,23	1,94
17	5,07	4,59	3,45	2,91	2,36	2,06
18	5,38	4,86	3,65	3,08	2,51	2,19
19	5,66	5,15	3,85	3,26	2,65	2,31
20	5,96	5,44	4,06	3,43	2,79	2,43

ÉVALUATION

- Présenter les valeurs mesurées de Tab. 1 dans un schéma $B(I)$ (Fig. 5).

La proportionnalité de la densité du flux magnétique B attendue selon la formule (2) par rapport au courant I par la bobine est confirmée.

Note :

Une mesure correspondante avec la bobine de champ 120 mm ($D = 12$ cm) permet de montrer que la proportionnalité de la densité du flux magnétique B par rapport au courant I par la bobine est indépendante du diamètre de bobine.

- Présenter les valeurs de mesure de Tab. 2 avec différentes longueurs de bobine L comme paramètre dans un schéma $B(I)$ (Fig. 6).

La proportionnalité de la densité du flux magnétique B attendue selon la formule (2) par rapport au courant I dans la bobine est confirmée pour toutes les longueurs de bobine.

Quand la longueur de bobine augmente, les pentes des droites diminuent en raison de la proportionnalité inversée de la densité du flux magnétique B par rapport à la longueur de bobine L .

- Les différentes longueurs L et le nombre de spires $N = 30$ de la bobine à densité de spires variable permet de calculer la densité d'enroulement N/L et de saisir les valeurs dans Tab. 3.
- Reprendre la densité du flux magnétique B pour $I = 20$ A pour les densités d'enroulement calculées dans Tab. 2 et les saisir dans Tab. 3.
- Présenter les valeurs mesurées de Tab. 3 dans un schéma $B(N/L)$ (Fig. 7).
- La proportionnalité avec la densité d'enroulement est confirmée tant que la longueur de la bobine est supérieure au triple du rayon de la bobine. Le diamètre de la bobine à densité de spires variable est de $D = 10$ cm.

Tab. 3: Densité de flux magnétique B en fonction de la densité d'enroulement N/L avec $I = 20$ A. Nombre de spires $N = 30$.

L / cm	$N/L / 1/\text{cm}$	B / mT
7	4,29	5,96
12	2,50	5,44
17	1,76	4,06
22	1,36	3,43
27	1,11	2,79
32	0,94	2,43

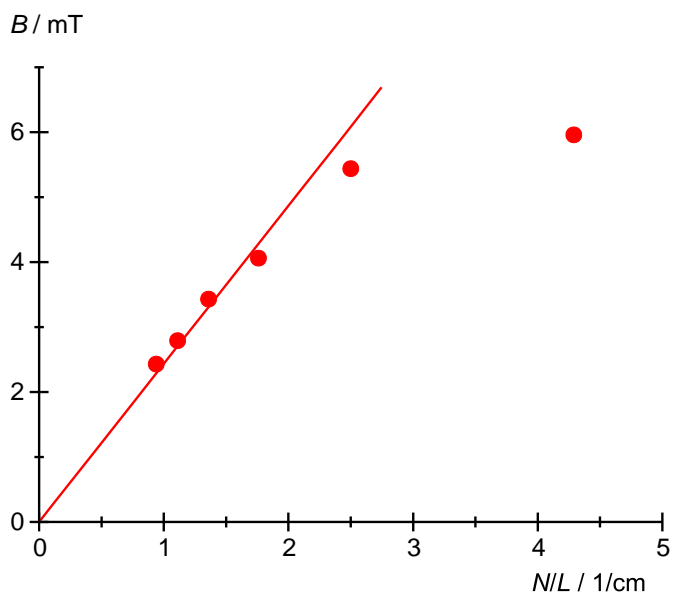


Fig. 7: Densité de flux magnétique B en fonction de la densité d'enroulement N/L avec $I = 20$ A. Nombre de spires $N = 30$.

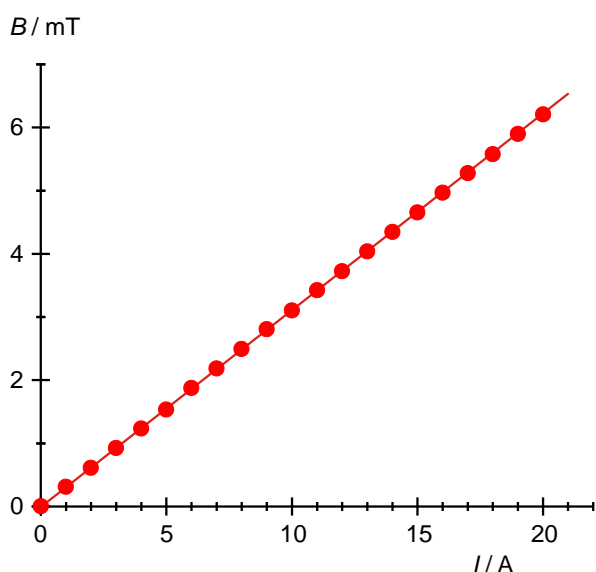


Fig. 5: Densité de flux magnétique B en fonction du courant I par la bobine de champ avec $D = 10$ cm.

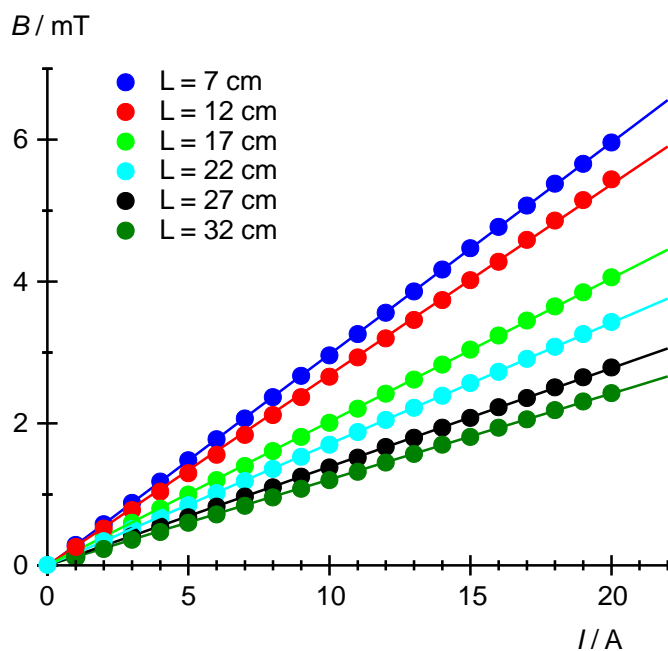


Fig. 6: Densité de flux magnétique B en fonction du courant I pour la bobine à densité d'enroulement variable pour différentes longueurs de bobine L .

Campo magnetico di una bobina cilindrica

DETERMINAZIONE DEL CAMPO MAGNETICO DI BOBINE CILINDRICHE DI DIVERSA LUNGHEZZA.

- Determinazione dell'intensità del campo magnetico B in una bobina cilindrica in funzione dell'intensità di corrente I .
- Misurazione dell'intensità del campo magnetico B in una bobina cilindrica in funzione dell'intensità di corrente I con densità delle spire variabile.
- Conferma della diretta proporzionalità tra l'intensità del campo magnetico e la densità delle spire per bobine lunghe.

UE3030500

10/22 HJB

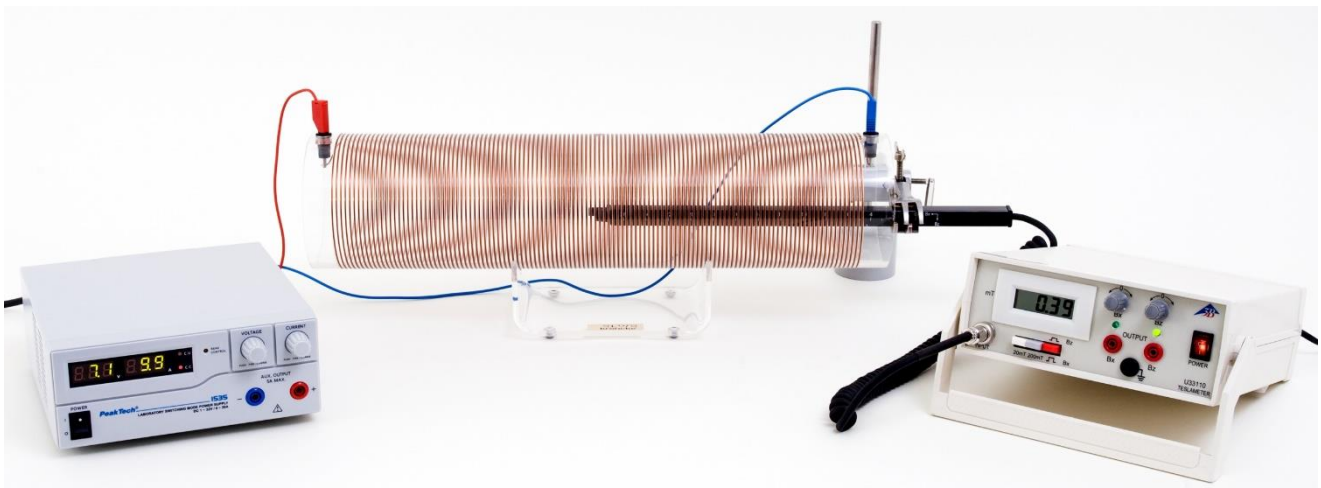


Fig. 1: Disposizione per la misurazione.

BASI GENERALI

La legge di Biot-Savart descrive il rapporto fra l'intensità del campo magnetico B e la corrente elettrica I che percorre un conduttore di geometria qualsiasi. Viene calcolato il contributo all'intensità totale del campo magnetico fornito da ogni tratto infinitesimo del conduttore. Il campo totale viene calcolato integrando i contributi dell'intera geometria del conduttore. In alcuni casi, ad esempio con una bobina cilindrica lunga, ne deriva una soluzione analitica semplice.

Un tratto infinitesimo di conduttore s attraversato da una corrente I produce in base alla legge di Biot-Savart sul punto r l'intensità di campo magnetico

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{ds \times r}{r^3}.$$

B : intensità del campo magnetico

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$: Permeabilità di vuoto

All'interno di una bobina cilindrica l'intensità del flusso magnetico è orientata parallelamente all'asse del cilindro e misura

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I.$$

N : Numero di spire, L : Lunghezza della bobina

se la lunghezza è grande rispetto al raggio. L'intensità del campo magnetico è pertanto indipendente dal diametro della bobina e proporzionale alla densità delle spire, ossia il numero di spire per unità di lunghezza, e alla corrente che attraversa la bobina.

Nell'esperienza viene misurata con un teslametro assiale l'intensità del campo magnetico al centro di bobine lunghe con correnti fino a 20 A. Viene dimostrata da una parte l'indipendenza dal diametro della bobina, dall'altra la proporzionalità rispetto alla corrente e alla densità delle spire. Per quest'ultima dimostrazione viene utilizzata una bobina con densità di spire variabile.

ELENCO DEGLI STRUMENTI

1	Bobina di campo, 100 mm	U12252	1000591
1	Bobina di campo, 120 mm	U12253	1000592
1	Bobina con densità di spire variabile	U8496175	1000965
1	Supporto per bobine cilindriche	U8496150	1000964
1	Teslametro	U33110	1024235/6
1	Alimentatore CC 1 – 32 V, 0 – 20 A	U11827	1012857/8
1	Set di 15 cavi per esperimenti 2,5 mm ²	U13801	1002841
1	Piede a barilotto, 1000 g	U13265	1002834
1	Asta di supporto, 250 mm	U15001	1002933
1	Manicotto	U13255	1002830
1	Morsetto universale	U13261	1002833

MONTAGGIO E ESECUZIONE

Nota:

L'esperimento viene eseguito a titolo esemplificativo con la bobina di campo da 100 mm (diametro $D = 10$ cm).

- Eseguire la disposizione per la misurazione secondo Fig. 1.
- Collegare la bobina con $D = 10$ cm all'uscita posteriore 0-20 A dell'alimentatore CC. Non accendere ancora l'alimentatore CC.
- Servendosi del materiale di supporto, posizionare la sonda magnetica in modo tale che la sonda Hall assiale (Fig. 2) venga a trovarsi esattamente al centro della bobina.

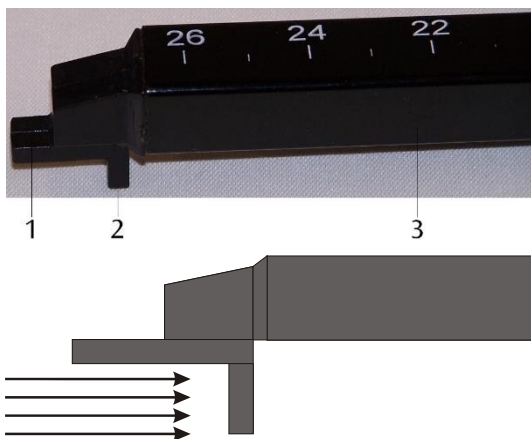


Fig. 2: Sopra: Sonda magnetica, 1 Sonda Hall tangenziale (direzione z), 2 Sonda Hall assiale (direzione x), 3 Supporto. Sotto: Misurazione dei campi magnetici assiali.

Con la sonda Hall assiale si misura la componente dell'induzione magnetica B lungo l'asse della sonda. Se il campo B indica la direzione dell'asse della sonda (Fig. 2 in basso), il valore visualizzato è positivo, se la direzione opposta negativo.

- Collegare la sonda magnetica all'apposita presa di collegamento sul teslametro (Fig. 3).

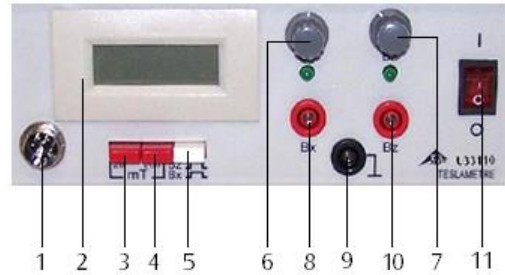


Fig. 3: Elementi di comando del teslametro:

- 1 Presa di collegamento per sonda magnetica
- 2 Display digitale
- 3 Selettore range di misura 20 mT
- 4 Selettore range di misura 200 mT
- 5 Selettore modalità di misurazione assiale (B_x) e tangenziale (B_z)
- 6 Regolatore dello zero B_x con indicatore di funzionamento a LED
- 7 Regolatore dello zero B_z con indicatore di funzionamento a LED
- 8 Presa di uscita per la modalità di misurazione B_x
- 9 Presa di terra
- 10 Presa di uscita per la modalità di misurazione B_z
- 11 Interruttore ON/OFF

- Accendere il teslametro, selezionare il range di misura 20 mT e impostare il selettore modalità di misurazione su assiale (B_x).
- Effettuare la regolazione dello zero. A tale scopo, ruotare il regolatore dello zero B_x finché nel campo di visualizzazione non compare zero o un valore più piccolo possibile.
- Accendere l'alimentatore CC, aumentare la corrente da 0 fino a 20 A a passi da 1 A, ad ogni passo leggere la densità di flusso magnetico B_x e annotare insieme all'intensità di corrente I impostata nella Tab. 1.

Avvertenza per la sicurezza:

- Applicare correnti $10 A < I \leq 20 A$ solo per un breve intervallo!
- Sostituire la bobina di campo con $D = 10$ cm con la bobina a densità di spire variabile (Fig. 4).
- Sistemare le lunghezze della bobina $L = 7, 12, 17, 22, 27$ und 32 cm simmetricamente rispetto al centro della bobina e ripetere la serie di misurazioni sopra descritta con ciascuna lunghezza. Registrare tutti i valori nella Tab. 2.

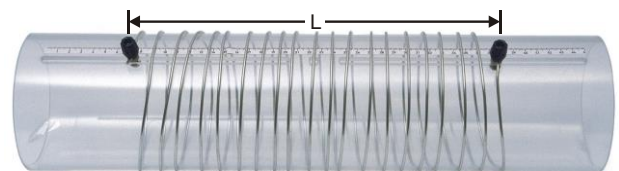


Fig. 4: Bobina con densità di spire variabile.

Nota:

Come opzione, la bobina può essere appoggiata alle estremità su due supporti 1000964. Durante la regolazione delle diverse lunghezze, non occorre perciò ogni volta toglierla dal supporto né riposizionare la sonda magnetica.

ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tab. 1: Intensità del campo magnetico B in funzione della corrente I attraverso la bobina di campo con $D = 10$ cm

I / A	B / mT
0	0,00
1	0,31
2	0,62
3	0,93
4	1,24
5	1,55
6	1,85
7	2,17
8	2,47
9	2,78
10	3,10
11	3,41
12	3,72
13	4,03
14	4,34
15	4,65
16	4,96
17	5,27
18	5,58
19	5,90
20	6,21

Tab. 2: Densità di flusso magnetico B in funzione della corrente I per lunghezze della bobina L diverse.

I / A	B / mT					
	$L = 7$ cm	$L = 12$ cm	$L = 17$ cm	$L = 22$ cm	$L = 27$ cm	$L = 32$ cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
2	0,58	0,52	0,40	0,34	0,27	0,23
3	0,88	0,78	0,60	0,51	0,41	0,36
4	1,18	1,04	0,80	0,68	0,55	0,47
5	1,48	1,30	1,00	0,85	0,68	0,60
6	1,78	1,56	1,20	1,02	0,83	0,72
7	2,07	1,84	1,40	1,19	0,97	0,84
8	2,37	2,12	1,61	1,36	1,10	0,96
9	2,67	2,37	1,81	1,53	1,25	1,08
10	2,96	2,66	2,01	1,70	1,38	1,20
11	3,26	2,93	2,21	1,88	1,52	1,32
12	3,56	3,20	2,42	2,05	1,67	1,45
13	3,86	3,46	2,62	2,22	1,80	1,57
14	4,17	3,74	2,83	2,39	1,94	1,70
15	4,47	4,02	3,04	2,57	2,08	1,81
16	4,77	4,28	3,24	2,73	2,23	1,94
17	5,07	4,59	3,45	2,91	2,36	2,06
18	5,38	4,86	3,65	3,08	2,51	2,19
19	5,66	5,15	3,85	3,26	2,65	2,31
20	5,96	5,44	4,06	3,43	2,79	2,43

ANALISI

- Rappresentare graficamente i valori di misurazione della tab. 1 in un diagramma $B(I)$ (Fig. 5).

Il rapporto proporzionale della densità di flusso magnetico B con la corrente I che attraversa la bobina previsto dalla formula (2) è confermato.

Nota:

Una misurazione effettuata con la bobina di campo da 120 mm ($D = 12$ cm) può mostrare che il rapporto proporzionale della densità di flusso magnetico B con la corrente I che attraversa la bobina è indipendente dal diametro della bobina stessa.

- Rappresentare graficamente i valori di misurazione della tab. 2 con le diverse lunghezze della bobina L come parametro elaborando un diagramma $B(I)$ (Fig. 6).

Il rapporto proporzionale della densità di flusso magnetico B con la corrente I che attraversa la bobina previsto dalla formula (2) è confermato per tutte le lunghezze della bobina.

Con l'aumentare della lunghezza della bobina, l'incremento lineare diminuisce per via del rapporto di proporzionalità inversa della densità di flusso magnetico B rispetto alla lunghezza della bobina L .

- Tenendo conto delle diverse lunghezze L e del numero di spire $N = 30$ della bobina a numero di spire variabile, calcolare la densità delle spire N/L e registrare i valori nella Tab. 3.
- Prelevare dalla Tab. 2 la densità di flusso magnetico B a $I = 20$ A per le densità di spire calcolate e registrare nella Tab. 3.
- Rappresentare graficamente i valori di misurazione della tab. 3 in un diagramma $B(N/L)$ (Fig. 7)
- La proporzionalità rispetto alla densità delle spire è confermata fintantoché la lunghezza della bobina misura almeno il triplo del raggio della stessa. Il diametro della bobina a densità di spire variabile è pari a $D = 10$ cm.

Tab. 3: Densità di flusso magnetico B in funzione della densità delle spire N/L con $I = 20$ A. Numero di spire $N = 30$.

L / cm	$N/L / 1/\text{cm}$	B / mT
7	4,29	5,96
12	2,50	5,44
17	1,76	4,06
22	1,36	3,43
27	1,11	2,79
32	0,94	2,43

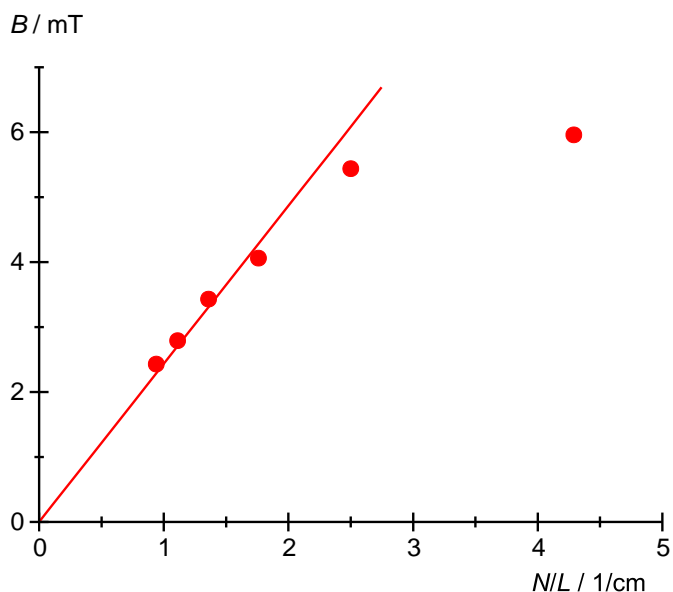


Fig. 7: Densità di flusso magnetico B in funzione della densità delle spire N/L con $I = 20$ A.

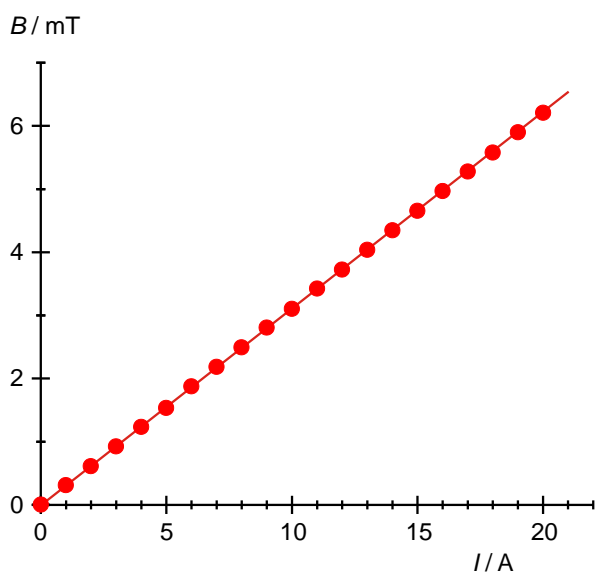


Fig. 5: Intensità del campo magnetico B in funzione della corrente I attraverso la bobina di campo con $D = 10$ cm

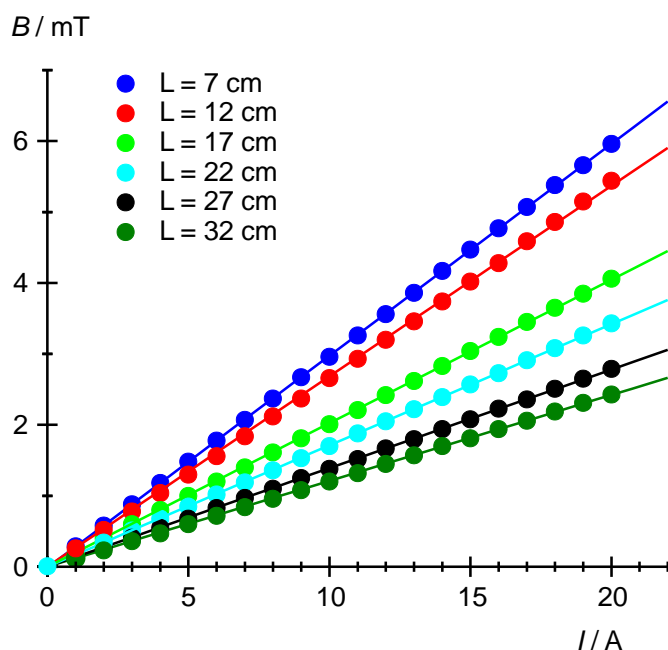


Fig. 6: Densità di flusso magnetico B in funzione della corrente I per bobina con densità delle spire variabile per lunghezze della bobina L diverse.

Campo magnético de uma bobina cilíndrica

DETERMINAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DE BOBINAS CILÍNDRICAS DE DIFERENTES COMPRIMENTOS.

- Determinação da densidade do fluxo magnético B em uma bobina cilíndrica em dependência da intensidade da corrente I .
- Medição da densidade do fluxo magnético B em uma bobina cilíndrica com densidade de espiras variável em dependência da intensidade da corrente I .
- Confirmação da proporcionalidade em relação à densidade das espiras para grandes comprimentos.

UE3030500

10/22 HJB

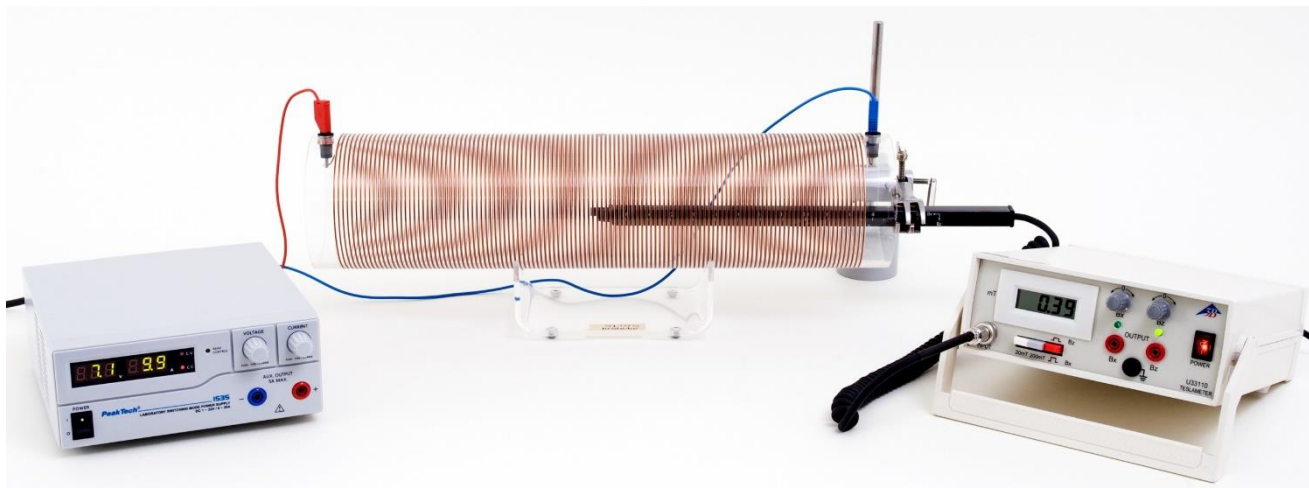


Fig. 1: Disposição de medição.

FUNDAMENTOS GERAIS

A lei de Biot-Savart descreve a relação entre a densidade de fluxo magnético B e a corrente elétrica I através de um condutor de geometria variável. São calculados os valores de pedaços infinitesimalmente pequenos do condutor em relação à densidade total de fluxo magnético. Todo o campo é calculado através da integração pela geometria do condutor. Em alguns casos, por exemplo, uma bobina cilíndrica longa, é possível indicar uma solução analítica simples.

Um pedaço infinitesimal de condutor ds transpassado por uma corrente I , gera, de acordo com Biot-Savart, no local r a densidade de fluxo magnético

$$(1) \quad dB(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot \frac{ds \times r}{r^3}.$$

B : Densidade de fluxo magnético

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} : \text{Permeabilidade do vácuo}$$

No interior da bobina cilíndrica, a densidade do fluxo magnético é disposta paralelamente ao eixo do cilindro e totaliza

$$(2) \quad B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I.$$

N : Número de espiras, L : Comprimento da bobina

enquanto o comprimento da bobina for substancialmente maior que seu raio. A densidade de fluxo magnético é, portanto, independente do diâmetro da bobina e proporcional à densidade de espiras, ao número de espiras por unidade de comprimento e à corrente que atravessa a bobina.

Na experiência, a densidade do fluxo magnético é medida no centro de bobinas longas com um teslametro axial a correntes de até 20 A. São comprovadas a independência do diâmetro da bobina, assim como a proporcionalidade em relação à corrente e à densidade de espiras. Para esta última, uma bobina com densidade variável de espiras está à disposição.

LISTA DE APARELHOS

1	Bobina de campo, 100 mm	U12252	1000591
1	Bobina de campo, 120 mm	U12253	1000592
1	Bobina com densidade de espiras variável	U8496175	1000965
1	Suporte para bobinas cilíndricas	U8496150	1000964
1	Teslâmetro	U33110	1024235/6
1	Fonte de alimentação DC 1 – 32 V, 0 – 20 A	U11827	1012857/8
1	Conjunto de cabos para experiências 2,5 mm ²	U13801	1002841
1	Base em tonel, 1000 g	U13265	1002834
1	Vara de apoio, 250 mm	U15001	1002933
1	Manga universal	U13255	1002830
1	Fixador universal	U13261	1002833

MONTAGEM E EXECUÇÃO

Orientação:

A experiência é realizada, como exemplo, para a bobina de campo 100 mm (diâmetro $D = 10$ cm).

- Montar disposição de medição conforme Fig. 1.
- Conectar a bobina de campo com $D = 10$ cm na saída traseira 0 - 20 A da fonte de alimentação DC. Ainda não ligar a fonte de alimentação DC.
- Posicionar a sonda de campo magnético com auxílio do material de suporte de tal forma que a sonda Hall axial (Fig. 2) se encontre exatamente no centro da bobina.

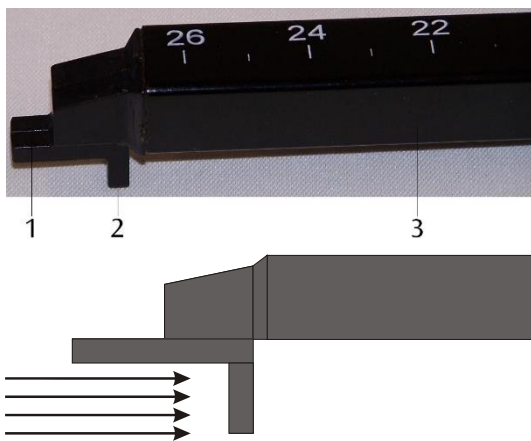


Fig. 2: Em cima: Sonda de campo magnético, 1 sonda de Hall tangencial (Sentido z), sonda de Hall axial de (Sentido x), 3 portador. Em baixo: Medição de campos magnéticos axiais.

Com a sonda Hall axial, o componente da indução magnética B é medido ao longo do eixo da sonda. Se o campo B indicar a direção do eixo da sonda (Fig. 2 em baixo), o valor indicado é positivo, em caso de orientação invertida, ele é negativo.

- Conectar a sonda de campo magnético no conector para a sonda de campo magnético do teslâmetro (Fig. 3).

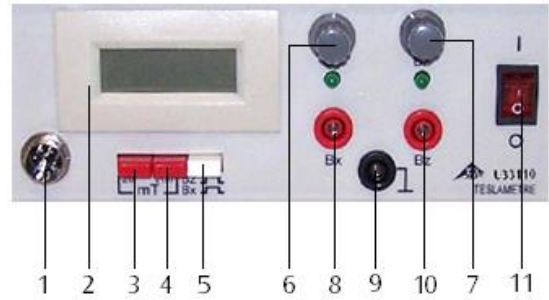


Fig. 3: Elementos de operação do teslâmetro:

- 1 Tomada de conexão para a sonda de campo magnético
- 2 Display digital
- 3 Seletor da faixa de medição 20 mT
- 4 Seletor da faixa de medição 200 mT
- 5 Seletor do modo de medição axial (B_x) e tangencial (B_z)
- 6 Ajustador de ponto zero B_x com indicador de operação LED
- 7 Ajustador de ponto zero B_z com indicador de operação LED
- 8 Tomada de saída do modo de medição B_x
- 9 Tomada de massa
- 10 Tomada de saída do modo de medição B_z
- 11 Interruptor ligar/ desligar

- Ligar o teslâmetro, selecionar a faixa de medição 20 mT e ajustar o seletor de modo de medição para axial (B_x).
- Realizar ajuste do ponto zero. Para isto, girar o ajustador de ponto zero B_x até que apareça zero ou o menor valor possível no campo de indicação.
- Ligar a fonte de alimentação DC, elevar a corrente em intervalos de 1 A de 0 até 20 A, a cada etapa, ler a densidade do fluxo magnético B_x e anotar junto com a corrente ajustada I na Tab. 1.

Orientação de segurança:

- Somente aplicar correntes $10 \text{ A} < I \leq 20 \text{ A}$ por pouco tempo!
- Substituir bobina de campo com $D = 10$ cm pela bobina de densidade de espiras variável (Fig. 4).
- Ajustar os comprimentos de bobina $L = 7, 12, 17, 22, 27$ e 32 cm simetricamente ao centro da bobina e repetir a série de medições descrita acima para cada comprimento de bobina. Anotar todos os valores na Tab. 2.

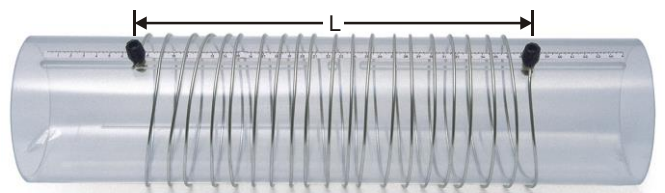


Fig. 4: Bobina com densidade de espiras variável.

Orientação:

Como opção, a bobina pode ser apoiada em suas respectivas extremidades em dois suportes 1000964. Assim, ela não precisa ser retirada do suporte para cada ajuste de comprimento e a sonda de campo magnético não precisa ser reposicionada a cada vez.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tab. 1: Densidade de fluxo magnético B em dependência da corrente I pela bobina de campo com $D = 10$ cm.

I / A	B / mT
0	0,00
1	0,31
2	0,62
3	0,93
4	1,24
5	1,55
6	1,85
7	2,17
8	2,47
9	2,78
10	3,10
11	3,41
12	3,72
13	4,03
14	4,34
15	4,65
16	4,96
17	5,27
18	5,58
19	5,90
20	6,21

Tab. 2: Densidade do fluxo magnético B em dependência da corrente I para diferentes comprimentos de bobina L .

I / A	B / mT					
	$L = 7$ cm	$L = 12$ cm	$L = 17$ cm	$L = 22$ cm	$L = 27$ cm	$L = 32$ cm
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,12
2	0,58	0,52	0,40	0,34	0,27	0,23
3	0,88	0,78	0,60	0,51	0,41	0,36
4	1,18	1,04	0,80	0,68	0,55	0,47
5	1,48	1,30	1,00	0,85	0,68	0,60
6	1,78	1,56	1,20	1,02	0,83	0,72
7	2,07	1,84	1,40	1,19	0,97	0,84
8	2,37	2,12	1,61	1,36	1,10	0,96
9	2,67	2,37	1,81	1,53	1,25	1,08
10	2,96	2,66	2,01	1,70	1,38	1,20
11	3,26	2,93	2,21	1,88	1,52	1,32
12	3,56	3,20	2,42	2,05	1,67	1,45
13	3,86	3,46	2,62	2,22	1,80	1,57
14	4,17	3,74	2,83	2,39	1,94	1,70
15	4,47	4,02	3,04	2,57	2,08	1,81
16	4,77	4,28	3,24	2,73	2,23	1,94
17	5,07	4,59	3,45	2,91	2,36	2,06
18	5,38	4,86	3,65	3,08	2,51	2,19
19	5,66	5,15	3,85	3,26	2,65	2,31
20	5,96	5,44	4,06	3,43	2,79	2,43

AVALIAÇÃO

- Representar os valores de medição da Tab. 1 em um diagrama $B(I)$ (Fig. 5).

A proporcionalidade esperada conforme a fórmula (2) da densidade de fluxo magnético B em relação à corrente I através da bobina resta confirmada.

Orientação:

Através de uma medição correspondente com a bobina de campo 120 mm ($D = 12$ cm), pode ser demonstrado que a proporcionalidade da densidade do fluxo magnético B em relação à corrente I pela bobina é independente do diâmetro da bobina.

- Representar os valores de medição da Tab. 2 em um diagrama $B(I)$ com os diferentes comprimentos de bobina L como parâmetro (Fig. 6).

A proporcionalidade esperada conforme a fórmula (2) da densidade de fluxo magnético B em relação à corrente I através da bobina resta confirmada para todos os comprimentos de bobina.

As inclinações das retas diminuem por conta da proporcionalidade inversa da densidade do fluxo magnético B em relação ao comprimento da bobina L com aumento do comprimento da bobina.

- A partir dos diferentes comprimentos L e do número de espiras $N = 30$ da bobina com número variável de espiras, calcular a densidade das espiras N/L e anotar os valores na Tab. 3.
- Assumir a densidade de fluxo magnético B com $I = 20$ A para as densidades de espiras calculadas da Tab. 2 e anotar na Tab. 3.
- Representar os valores de medição da Tab. 3 em um diagrama $B(N/L)$ (Fig. 7).
- A proporcionalidade em relação à densidade das espiras se confirma enquanto o comprimento da bobina foi maior que o triplo do raio da bobina. O diâmetro da bobina com densidade variável de espiras é de $D = 10$ cm.

Tab. 3: Densidade do fluxo magnético B em dependência da densidade de espiras N/L com $I = 20$ A. Número de espiras $N = 30$.

L / cm	$N/L / 1/\text{cm}$	B / mT
7	4,29	5,96
12	2,50	5,44
17	1,76	4,06
22	1,36	3,43
27	1,11	2,79
32	0,94	2,43

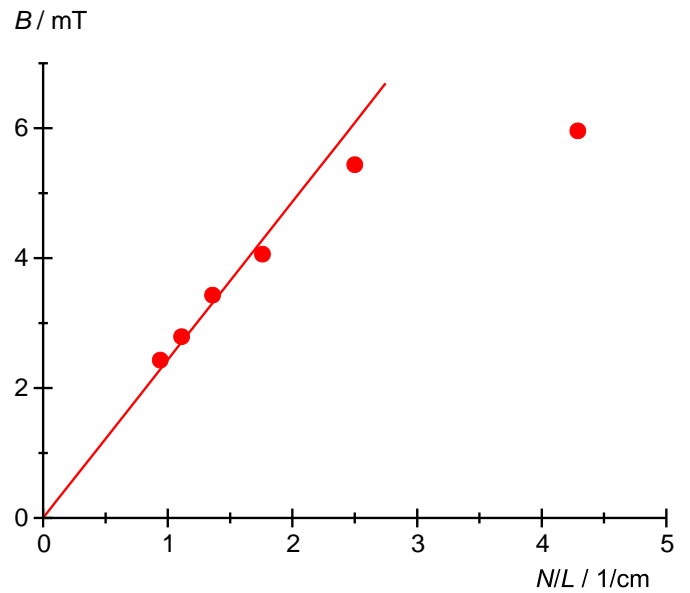


Fig. 7: Densidade do fluxo magnético B em dependência da densidade de espiras N/L com $I = 20$ A.

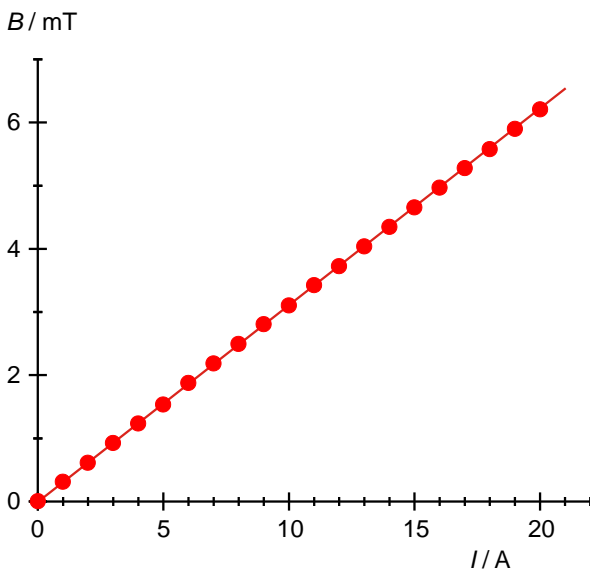


Fig. 5: Densidade de fluxo magnético B em dependência da corrente I pela bobina de campo com $D = 10$ cm.

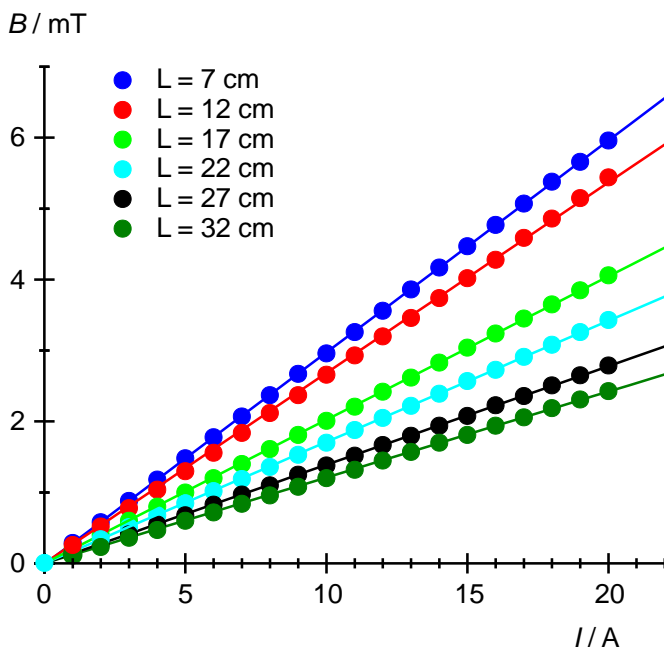


Fig. 6: Densidade do fluxo magnético B em dependência da corrente I para a bobina com densidade de espiras variável para diferentes comprimentos de bobina L .