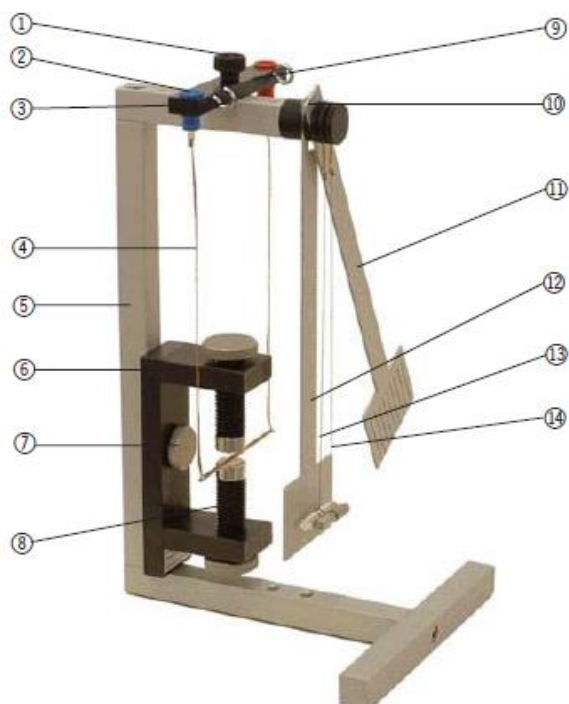


1002661 Kit per elettromagnetismo

Istruzioni per l'uso

12/15 MH



- 1 Vite a testa zigrinata per il fissaggio della traversa
- 2 Fori filettati (5x) per il fissaggio della traversa
- 3 Traversa
- 4 Bilancino conduttore
- 5 Supporto
- 6 Vite a testa zigrinata M 8x20 per il fissaggio del magnete
- 7 Magnete 1002660 (non fornito in dotazione)
- 8 Fori filettati per il fissaggio del magnete
- 9 Appoggio bilancino conduttore
- 10 Sede del pendolo
- 11 Pendolo intagliato
- 12 Pendolo intero
- 13 Asta di vetro con corda e gancio
- 14 Asta di alluminio con corda e gancio

Fig.1: componenti

1. Avvertenze per la sicurezza

- Durante l'utilizzo del magnete 1002660 devono essere strettamente osservate le avvertenze per la sicurezza qui indicate. Ad es.: fare attenzione in caso di pace-maker!
- Pericolo di scosse elettriche! La tensione max. in uscita dell'alternatore utilizzato non deve superare i 40 V.
- Pericolo di lesioni! L'asta di vetro (13 è fragile, quindi movimentarla con cautela. I punti di rottura con spigoli vivi costituiscono un rischio di lesioni elevato.

2. Descrizione, dati tecnici

Con le kit per elettromagnetismo possono essere eseguiti esperimenti relativi alla forza su un conduttore percorso da corrente, alle correnti di Foucault indotte e al diamagnetismo e/o al paramagnetismo. Le kit è composto da

un supporto di alluminio stabile con posizioni del magnete preimpostate e alloggiamenti per gli accessori. In tal modo non sono necessari gli interventi di regolazione dispendiosi in termini di tempo. Inoltre tutti gli accessori possono essere fissati, per la conservazione, allo stativo. I pendoli (11), (12) dovrebbero essere appesi alle due fessure centrali della sede del pendolo e l'asta di vetro e/o alluminio (13) e/o (14) nelle due fessure esterne: in tal modo le due corde non si ingarbugliano. Il bilancino conduttore è appeso a una traversa nella quale sono applicate prese per le spine di sicurezza (4 mm). La corrente max. nel bilancino conduttore non dovrebbe superare i 6 A.

Altezza del supporto:	345 mm
Pendolo:	290 x 70 mm
Larghezza della fessura:	max. 1 mm
Larghezza del bilancino conduttore:	100 mm
Aste:	40 mm x 8 mm Ø

3. Uso e manutenzione

- Innanzitutto avvitare il supporto, come da fig. 1, facendo attenzione che l'apparecchio si trovi in posizione verticale (squadra).
- Il nastro di rame intrecciato del bilancino conduttore dovrebbe essere appeso verso il basso in modo che risulti disteso e tenere il filo di rame parallelo alla traversa. Se necessario, il nastro di rame può essere tirato con cautela tenendolo tra due dita per distenderlo. Nella zona dei punti saldati il nastro di rame non dovrebbe essere piegato (pericolo di rottura).
- L'asta di vetro e l'asta di alluminio sono appese ciascuna a un filo sottile, che potrebbe risultare leggermente attorcigliato. Prima di eseguire l'esperimento, le aste dovrebbero essere appese singolarmente al supporto, fino a quando non si arrotolano più.
- Manutenzione: l'apparecchio per gli esperimenti elettromagnetici in linea di principio non richiede manutenzione. Per quanto riguarda la pulizia, può essere pulito a umido (acqua con detergente). Fatta eccezione per la zona degli adesivi, possono esse-

re utilizzati solventi quali acetone, benzina solvente o etanolo (alcool).

- Se le corde dell'asta di vetro e dell'asta di alluminio si sono annodate o ingarbugliate, in sostituzione può essere utilizzata seta per cucire sottile. La seta viene innanzitutto arrotolata circa 3 volte intorno alla corrispondente asta e annodata. Quindi l'asta viene appesa e allineata in modo orizzontale, spingendo la seta sull'asta. Infine la seta può essere fissata sull'asta con un adesivo istantaneo (rispettare le avvertenze per la sicurezza del produttore di adesivo).

4. Esecuzione dell'esperimento e analisi

4.1 Conduttore percorso da corrente nel campo magnetico

4.1.1. Struttura dell'esperimento

- Le due possibili strutture dell'esperimento sono visibili in fig. 2.

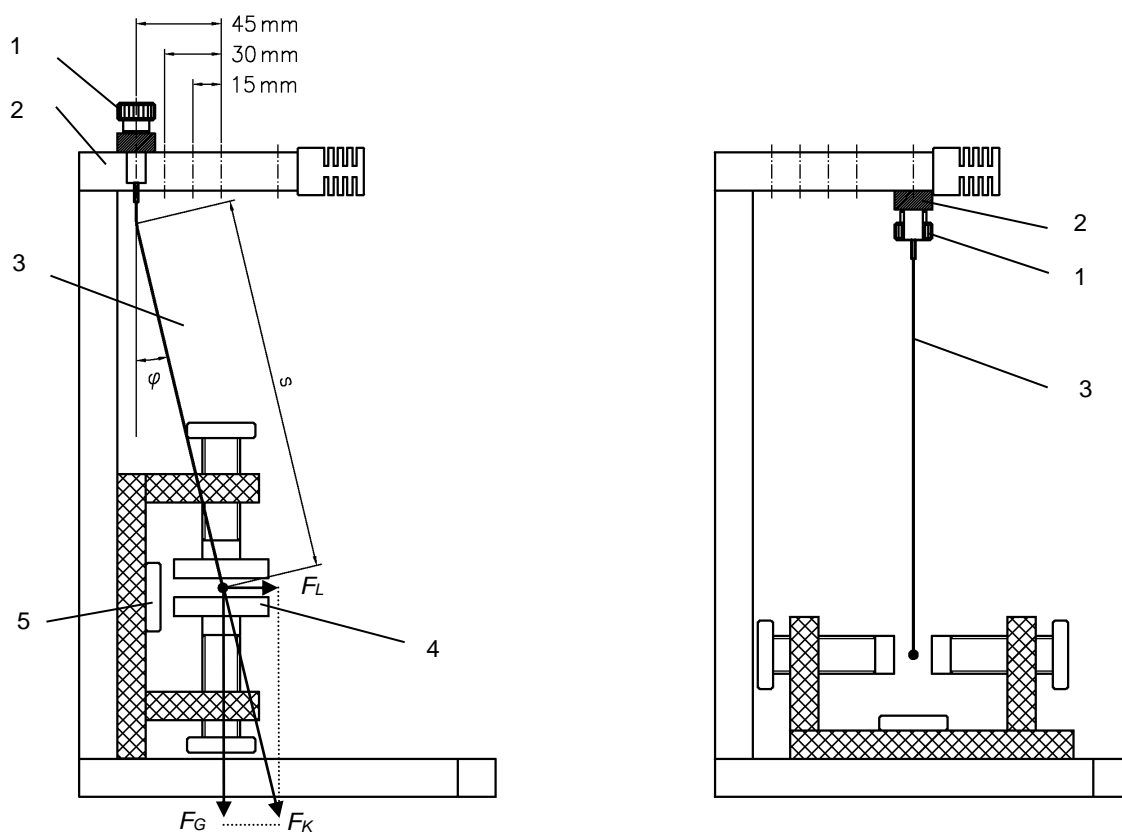


Fig. 2 Struttura dell'esperimento, "Conduttore percorso da corrente nel campo magnetico".

1: vite a testa zigrinata; 2: traversa; 3: bilancino conduttore; 4: espansione polare; 5: vite a testa zigrinata piatta

- La struttura dell'esperimento, come da fig. 2 (destra) serve per dimostrare che la forza di Lorentz non agisce né in direzione del campo magnetico né in direzione della corrente. Nel primo caso il bilancino conduttore oscillerebbe verso destra o verso sinistra, nel secondo caso dovrebbe oscillare dentro e fuori dal piano di progettazione.
- Con la struttura dell'esperimento, come da fig. 2 (sinistra) può essere dimostrata qualitativamente e quantitativamente la forza di Lorentz. Per la prova qualitativa il bilancino conduttore viene appeso verticalmente sui poli del magnete. Se ora viene attivata la corrente, si può osservare una deviazione, che aumenta con l'incremento dell'intensità della corrente.
- Per la determinazione quantitativa della forza Lorentz servono i 3 fori filettati, che rispetto alle verticali si sono spostati verso sinistra di 15, 30 e 45 mm. Se ad esempio il bilancino conduttore viene montato spostato verso sinistra di 45 mm, come mostrato in figura, e la corrente che percorre il bilancino conduttore è impostata in modo tale che il filo di rame spesso si trova proprio al centro del campo magnetico, allora anche la deviazione del bilancino conduttore dalla verticale è esattamente di 45 mm e la forza di Lorentz corrisponde alla forza di richiamo, a cui è sottoposto il bilancino conduttore in seguito alla gravità (ved. anche analisi dell'esperimento).

4.1.2. Esecuzione dell'esperimento

- Durante le misurazioni è opportuno annotarsi le seguenti grandezze:
 - il numero di esperimento N .
 - la distanza tra i poli a
 - la larghezza delle espansioni polari in direzione del conduttore b
 - la deviazione c
 - la corrente I , che scorre al centro, eventualmente misurare la distanza orizzontale tra il filo di rame e la vite a testa zigrinata (5) con una riga non magnetica del filo di rame. Esempio di una serie di esperimenti con una la distanza tra i poli $a = 10$ mm

N.	b in mm	c in mm	I in A
1	50	15	0,57
2	50	30	1,20
3	50	45	1,87
4	20	15	1,16
5	20	30	2,36
6	20	45	3,57

4.1.3. Analisi dell'esperimento

- Per semplificare il bilancino conduttore viene considerato un pendolo matematico, ossia viene trascurato il peso dei nastri di rame intrecciati e il filo di rame viene considerato come peso puntiforme ($m = 6,23$ g). La lunghezza efficace del pendolo s è leggermente inferiore alla lunghezza dei nastri di rame, poiché questi non si spezzano formando spigoli vivi nella zona superiore, se il bilancino conduttore viene deviato. La lunghezza s si ottiene pertanto dal punto di taglio ipotizzato dei nastri di rame allungati in modo lineare con la verticale (cfr. fig. 2). Vale indicativamente: $s = 200$ mm.
- La forza risultante nel nastro di rame F_K , composta dalla forza di Lorentz F_L e dalla forza del peso F_G , è inclinata intorno all'angolo φ , poiché il nastro di rame non presenta (praticamente) alcuna forza trasversale. Quindi vale:

$$\frac{F_L}{F_G} = \tan \varphi \Leftrightarrow F_L = mg \frac{\frac{c}{s}}{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{s}\right)^2}} \quad (1)$$

- Nella serie summenzionata di esperimenti, le espansioni polari negli esperimenti 4-6 erano state ruotate di circa 90° rispetto agli esperimenti 1-3. In tal modo è stata modificata la lunghezza del conduttore, che viene introdotta nel campo magnetico. Durante l'analisi tuttavia non devono ora essere prese in considerazione le dimensioni delle vere espansioni polari, poiché il campo magnetico "fuoriesce" in corrispondenza dei bordi (cfr. fig. 3).

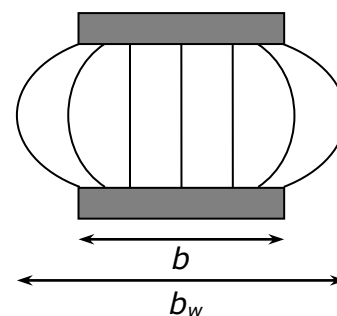


Fig. 3 Effetti di bordo sui bordi delle espansioni polari

- La lunghezza efficace del conduttore b_w nel campo magnetico si ottiene approssimativamente con:

$$b_w = b + a \quad (2)$$

- La valutazione della serie di esperimenti con una lunghezza efficace del conduttore $b_w = 60$ mm viene fornita utilizzando le equazioni 1 e 2:

N.	Forza di Lorentz F_L in mN	Corrente I in A
1	4,60	0,57
2	9,27	1,20
3	14,1	1,87
4	4,60	1,16
5	9,27	2,36
6	14,1	3,57

- Il risultato è rappresentato anche in fig. 4. Si riconosce immediatamente che la forza di Lorentz è proporzionale alla corrente. Un'analisi degli incrementi lineari mostra inoltre che la forza di Lorentz è anche proporzionale alla lunghezza efficace del conduttore. Pertanto vale: $F_L \propto b_w \cdot I$

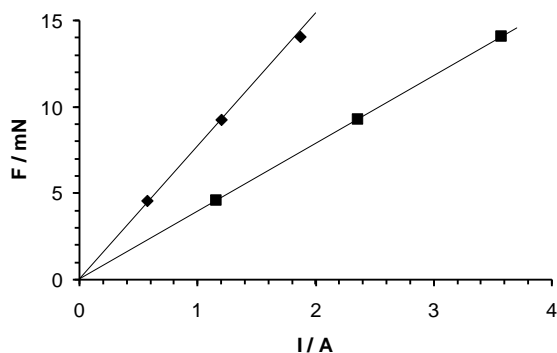


Fig. 4 Forza di Lorentz in funzione della corrente nel conduttore. Simboli quadrati: $b_w = 60$ mm, rombi: $b_w = 30$ mm

4.2 Correnti di Foucault indotte

- La struttura dell'esperimento è rappresentata in fig. 5. La distanza tra i poli è di circa 10-30 mm e viene modificata. Se i due pendoli vengono deviati assieme intorno allo stesso angolo e rilasciati, il pendolo intero viene frenato molto rapidamente, mentre il pendolo intagliato esegue alcune oscillazioni.
- Spiegazione: durante gli esperimenti indicati al paragrafo 4.1 il bilancino conduttore era percorso da una corrente. In tal modo venivano spostate cariche (elettroni) in un campo magnetico, che portò chiaramente

a una forza misurabile (la forza di Lorentz) sugli elettroni.



Fig. 5 Struttura dell'esperimento "Correnti di Foucault indotte"

- Anche in questo esperimento vengono spostate cariche (elettroni liberi nell'alluminio) in un campo magnetico, dove lo spostamento è di natura meccanica. In seguito a questo spostamento, anche in questo caso, la forza di Lorentz agisce sugli elettroni, determinando un flusso di elettroni, ossia una corrente, nell'alluminio: in questo esperimento tale corrente scorre verticalmente dall'alto verso il basso o viceversa, in base alla direzione del movimento del pendolo.
- Nel pendolo intero si determina ora un "cortocircuito", poiché la corrente indotta nei settori del pendolo può tornare a scorrere al di fuori del campo magnetico. In tal modo si produce una corrente di Foucault, che può essere estremamente elevata e che porta a un riscaldamento dell'alluminio. L'energia del pendolo viene pertanto commutata innanzitutto in energia elettrica, quindi in calore.
- Nel pendolo intagliato la corrente di Foucault non può formarsi, poiché attraverso le fessure i settori in alluminio presenti al di fuori del campo magnetico sono isolati dai settori interni. Ossia se gli elettrodi vengono spostati inizialmente in una direzione, se tuttavia si sono raggruppati molti elettroni sopra e sotto nel pendolo, si urtano reciprocamente e la tensione che ne deriva è in equilibrio con la forza di Lorentz in assenza di flusso di corrente. L'energia del pendolo non viene quindi convertita in calore.

4.3 Diamagnetismo e paramagnetismo

- La struttura dell'esperimento corrisponde in linea di principio alla fig. 5. Anziché il pendolo viene ora appesa nel campo magnetico l'asta di alluminio o l'asta di vetro (eliminare precedentemente un eventuale attorcigliamento del filo, ved. fig. 3). L'asta di vetro inizialmente continuerà a ruotare leggermente, mentre l'asta di alluminio ora si sposta solo molto lentamente (correnti di Foucault indotte, ved. ultimo paragrafo) nella sua posizione finale. Dopo un po' di tempo le aste si posizionano come mostrato in fig. 6.

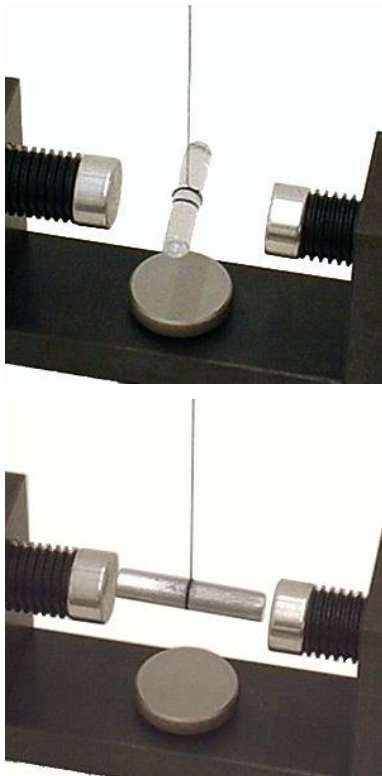


Fig. 6: Asta di vetro (sopra) e asta di alluminio (giù) nel campo magnetico

- Svitando la vite a testa zigrinata, che fissa il magnete, e avvitando lentamente il magnete si può dimostrare che l'allineamento delle aste rispetto al magnete rimane tale e quale, non tornando pertanto alla posizione di riposo determinata dalla pura meccanica (nessun attorcigliamento del filo).
- Spiegazione: sebbene né il vetro né l'alluminio siano magnetici, le due aste si allineano nel campo magnetico. La grandezza determinate in questo caso è la permeabilità relativa μ_r , che indica di quanto il materiale interessato moltiplica la densità del flusso di un campo magnetico rispetto al vuoto. Sorprendentemente e diver-

samente da ciò che avviene con la costante dielettrica, la permeabilità relativa può essere maggiore o inferiore di 1. Nel caso dell'alluminio ammonta $a = 1,000023$ e nel caso del vetro $a = 0,99999$. Con l'alluminio quindi la densità del flusso aumenta e l'asta ruota in direzione del campo. Questo effetto è noto come paramagnetismo. Con il vetro è il contrario. L'asta ruota in direzione opposta al campo e l'effetto viene denominato diamagnetismo