

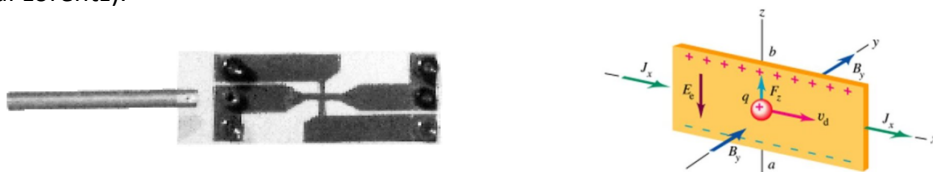
Incontro del 16 marzo 2016

Il prodotto vettoriale viene utilizzato nella fisica affrontata in un corso di secondo grado in due ambiti: in meccanica, per discutere la statica e la dinamica dei corpi rigidi estesi, e in elettromagnetismo, per descrivere l'effetto che un campo magnetico produce sulla traiettoria di una carica in movimento che entri nel campo con una direzione diversa da quella delle linee di forza.

Di seguito sono descritti brevemente alcuni esperimenti di elettromagnetismo che mettono in evidenza il secondo ambito di applicazione del prodotto vettoriale; si tratta di esperimenti a carattere puramente qualitativo, ad eccezione del primo che, con una strumentazione adeguata, consente di investigare alcuni aspetti della struttura della materia, ma in ogni caso utili per illustrare fenomeni poco visibili nel laboratorio didattico.

Effetto Hall

È un effetto dovuto all'interazione tra cariche elettriche in movimento e un campo di induzione magnetica B (forza di Lorentz).



In un campione metallico con sezione uniforme di altezza h e spessore s viene fatta scorrere una corrente di intensità J . Se il campione è immerso in un campo magnetico B con direzione perpendicolare a quella della corrente, i portatori di carica risentono di una forza $F = q \cdot v \times B$, con v che indica la velocità di trascinamento dei portatori di carica. Sotto l'azione di questa forza i portatori vengono deviati trasversalmente rispetto sia alla direzione della corrente che a quella del campo (regola della mano sinistra F - b - J), e tendono ad accumularsi nel campione da un lato, lasciando impoverito il lato opposto. Ciò dà luogo all'insorgere di un campo elettrico attraverso il campione che limita la quantità di carica che può accumularsi. All'equilibrio si ha dunque

$$F = q \cdot v \times B = q \cdot E$$

da cui

$$E = v \times B$$

e

$$\Delta V_H = v \times B \times h$$

dove ΔV_H è la d.d.p. tra due punti opposti sulla larghezza h del campione metallico.

Un'analisi dei risultati ottenibili con una buona strumentazione (occorre almeno un microvoltmetro per corrente continua e la conoscenza del valore di B e di J) mostra come la tensione di Hall sia direttamente proporzionale sia all'intensità della corrente che fluisce nel nastro, sia all'intensità del campo magnetico. È inoltre immediato riconoscere il segno dei portatori di carica prevalenti nel campione usato, se si conosce il verso di B .

Dai dati raccolti è ancora possibile stimare la velocità di deriva dei portatori di carica nelle condizioni sperimentali:

$$v = \Delta V_H / (B \cdot h)$$

e calcolare il numero dei portatori di carica per unità di volume, poiché:

$$J = N \cdot q \cdot v \cdot h \cdot s \quad \text{e quindi} \quad N = J \cdot B / (q \cdot s \cdot \Delta V_H).$$

Quest'ultimo valore poi può essere messo a confronto con il numero di atomi di metallo per unità di volume al fine di stimare quanti siano gli elettroni di conduzione per ogni atomo.

Come si è detto, lo svolgimento di prove a carattere quantitativo richiede una strumentazione sofisticata, poiché la tensione di Hall è dell'ordine di 10^{-5} V anche per campi magnetici dell'ordine del Tesla e correnti elevate.

Il campione può essere costituito dal deposito di rame su una lastrina di circuito stampato; la presenza del supporto di vetronite consente infatti di far circolare nel metallo sotto prova correnti di intensità fino a 15 – 20 A. Altro pregio di un campione così fatto è che il suo spessore è noto (circa 35 μm).

Particolare cura va posta nell'identificazione dei punti opposti tra i quali misurare la d.d.p. di Hall, perché se non si trovassero alla stessa altezza lungo il campione tra loro vi sarebbe comunque una caduta di tensione dovuta alla forza elettromotrice che muove la corrente elettrica. Si può comunque ovviare a questo inconveniente facendo due misure di d.d.p., ottenute scambiando tra loro i puntali del voltmetro, per poi fare la media dei due risultati ottenuti. Un campo magnetico di intensità elevata può essere applicato prendendo a sandwich il campione metallico tra due magneti al neodimio.

Ruota di Barlow semplificata



Nella ruota di Barlow un disco metallico è libero di ruotare attorno ad un asse orizzontale passante per il suo centro e la sua parte inferiore pesca nel mercurio contenuto in una vaschetta, circondata dalle espansioni polari di una calamita. Collegando un generatore elettrico tra l'asse del disco e il mercurio nella vaschetta, circola una corrente elettrica nel disco tra il centro e la periferia e, a causa del campo magnetico trasversale, il disco inizia a girare. Viene così evidenziata l'esistenza di una forza che agisce su un conduttore percorso da corrente e immerso in un campo magnetico, ortogonalmente alla direzione del campo stesso ed alla direzione della corrente (Legge di Laplace). L'esperienza può essere replicata in versione moderna senza ricorrere al mercurio nel modo appresso descritto.

Occorre procurarsi un magnete "potente" a forma di disco di 2-3 cm di diametro, una vite di ferro con punta, una batteria da 1,5V e un tratto di filo elettrico morbido lungo una quindicina di cm. Si appoggia la testa della vite sul centro di una faccia del magnete e, attaccata la punta della vite al polo negativo della batteria, si sospende a questa il magnete. A questo punto basta creare un collegamento elettrico tra il polo positivo della batteria e il magnete a disco (sfiorando solamente quest'ultimo con l'altra estremità dello spezzone di filo elettrico collegato al polo positivo della batteria) per vedere quest'ultimo girare sotto l'effetto della forza di Laplace.



Forza di Lorentz in una soluzione elettrolitica

Solitamente per studiare l'effetto di un campo magnetico su una particella carica in movimento si ricorre ad apparecchiature piuttosto costose e sofisticate. Proponiamo qui un semplice esperimento che consente di visualizzare l'effetto della forza di Lorentz ($F = q \cdot v \times B$) sui portatori di carica nel passaggio della corrente elettrica nella soluzione acquosa di un sale.



E' sufficiente disporre di una calamita piatta abbastanza sufficientemente "potente" da porre sotto una cella elettrolitica contenente una soluzione sovrassatura di un sale come il cloruro di sodio o il bicarbonato di sodio. Collegando gli elettrodi ad un generatore di corrente (è sufficiente un'intensità di circa 1 A, ottenibile con una batteria da 9 V) si vedrà ben presto ruotare la soluzione attorno agli elettrodi, in verso discorde su ciascun elettrodo e in accordo con la forza di Lorentz. Nell'allestimento mostrato in figura la cella elettrolitica è costituita dal coperchio di latta di un barattolo; la calamita, nascosta sotto il coperchio, aiuta a tenere stabili due viti in ferro con funzione di elettrodi.

L'esperimento è stato provato sia con il cloruro di sodio che con il bicarbonato di sodio: il primo sale fornisce un effetto più vistoso ma la soluzione si sporca molto rapidamente a causa delle reazioni che coinvolgono gli elettrodi.

Può essere interessante sapere che nell'elettrolisi del cloruro di sodio al catodo (polo negativo) si sviluppa idrogeno. Modificando leggermente l'apparato sperimentale (capovolgendo una provetta piena di soluzione sull'elettrodo negativo) è possibile raccogliere l'idrogeno che si sviluppa sull'elettrodo (questo gas, salendo nella provetta, la svuoterà progressivamente, fino a vuotarla) per poi poterne provocare l'accensione con una fiamma (la manovra non è affatto pericolosa, a patto di usare una provetta che possa contenere solamente una decina di cm^3 di gas e facendo in modo che l'idrogeno bruci nella provetta stessa, mantenuta in posizione verticale con l'imboccatura verso il basso).