

# Effetto magneto-meccanico ed esperimenti di Einstein-de Haas e di Barnett

## 1 Introduzione

Le origini fisiche degli effetti che discuteremo nel seguito sono note fin dai tempi di Maxwell.

Se un conduttore in moto con una certa velocità viene bruscamente arrestato, l'inerzia degli elettroni di conduzione farà sì che essi acquistino, per un breve intervallo di tempo, una velocità  $v$  rispetto alla massa (ioni) del metallo. Tale velocità degli elettroni darà origine, in tale intervallo di tempo, ad una corrente elettrica e ad una corrispondente differenza di potenziale tra le estremità del conduttore poste rispettivamente a monte ed a valle rispetto alla direzione della velocità. Un analogo fenomeno potrà essere osservato se il conduttore subisce una brusca accelerazione.

Nel classico testo di Maxwell sull'elettromagnetismo [1] si legge: ...se termini di questo tipo hanno un'esistenza reale, sarebbe possibile produrre una forza elettromotrice indipendentemente dall'esistenza o meno di correnti, modificando semplicemente la velocità dei conduttori. Un tale effetto fu tuttavia osservato solo nel 1916 da Richard C. Tolman e T. Dale Stewart [2].

Una bobina era avvolta lungo il bordo di un disco orizzontale, libero di ruotare attorno ad un asse verticale. Le estremità della bobina erano fatte passare lungo l'asse cui era fissato il disco e messe poi in contatto con i terminali di un galvanometro balistico di elevata sensibilità. Il sistema veniva messo in rapida rotazione e poi bruscamente arrestato, in un piccolissimo intervallo di tempo  $\delta t$ . Un breve impulso di corrente veniva così prodotto nell'istante di massima decelerazione, per effetto dell'inerzia legata alla massa degli elettroni di conduzione. Il galvanometro consentiva agli sperimentatori di ottenere una misura accurata della carica che, nel breve intervallo di tempo considerato, attraversava l'avvolgimento. Indicando con  $R$  la resistenza totale del circuito, con  $l$  la lunghezza dell'avvolgimento, con  $v$  la velocità di rotazione, con  $q$  la carica che attraversa l'avvolgimento e rispettivamente con  $e$  ed  $m$  la carica e massa dell'elettrone, si può facilmente vedere [3] che è:

$$q = \frac{mlv}{eR}$$

Infatti, la forza che agisce su di un elettrone nella fase di decelerazione è  $F_e = dP/dt$  dove  $P = mv$  è l'impulso. Tale forza, divisa per la carica  $e$ , equivale ad un campo elettrico  $E = V/l$  dove  $V$  è la forza elettromotrice che agisce lungo l'intera bobina. Se indichiamo con  $L$  il coefficiente di autoinduzione del circuito, si ha:

$$V = Ri + L \frac{di}{dt}$$

dove:

$$V = El = \frac{F_e l}{e} = \frac{d(mv) l}{dt e}$$

Ne segue:

$$\frac{d(mv)}{dt} = \frac{e}{l} \left[ Ri + L \frac{di}{dt} \right]$$

Integrando sul tempo tra 0 e  $\delta t$ :

$$\int_0^{\delta t} d(mv) = \frac{eR}{l} \int_0^{\delta t} i dt + \frac{Le}{l} \int_0^{\delta t} di$$

cioé

$$mv_f - mv_i = \frac{eRq}{l} + \frac{Le}{l} (i_f - i_i)$$

dove le sottoscritte  $i$  ed  $f$  si riferiscono all'istante iniziale ed a quello finale (dopo l'arresto). Poiché inoltre é  $i_f = i_i = v_f = 0$  avremo:

$$v = \frac{eRq}{lm}$$

da cui si ottiene la relazione scritta prima.

Da tale misura si può ottenere una stima del rapporto tra massa e carica dell'elettrone.

Un'altro esperimento che lega l'inerzia degli elettroni in un conduttore ad effetti elettromagnetici fu suggerito dallo stesso Maxwell [1]. Egli propose di utilizzare una bobina circolare costituita da un gran numero di spire, sospesa mediante un filo verticale in modo tale che il piano della bobina fosse orizzontale e che essa potesse ruotare attorno alla verticale. Una corrente poteva esser fatta passare nella bobina, utilizzando il filo di sospensione che era collegato ad un polo della batteria ed un secondo filo che scendeva verticalmente dal centro della bobina fino ad una bacinella di mercurio collegata all'altro polo. Nell'istante in cui la corrente inizia a fluire nella bobina, al moto di drift degli elettroni sarà associata una quantità di moto e quindi, per l'insieme degli elettroni, un momento della quantità di moto rispetto all'asse verticale. Poiché il momento angolare dell'avvolgimento deve rimanere nullo, esso comincerà a ruotare in verso contrario a quello della velocità degli elettroni.

Maxwell non riuscì a rivelare sperimentalmente il fenomeno, che fu osservato nel 1931 da S.J. Barnett [4].

Nelle prossime sezioni ci occuperemo di un effetto, noto sotto il nome di Einstein e de Haas [5], che consiste nella rotazione di un blocco di materiale ferromagnetico quando esso venga magnetizzato nella direzione dell'asse di rotazione.

## 2 considerazioni qualitative sull'esperimento di Einstein-de Haas

É possibile, in uno schema classico, assimilare l'atomo ad un nucleo centrale avente carica positiva attorno a cui ruotano, su orbite circolari o ellittiche, uno o più elettroni. Ciascuna di tali orbite equivale ad un minuscolo circuito percorso da corrente e quindi, a distanze grandi rispetto alle dimensioni atomiche, essa sarà vista come