

Misura della densità di portatori di carica su sonda tramite effetto Hall^a

Francesco Polleri^{1, b} e Mattia Sotgia^{1, c}

(Gruppo A1)

¹Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Genova, I-16146 Genova, Italia

(Dated: presa dati 11–12 maggio 2022, consegnata in data 23 maggio 2022)

L'effetto Hall si verifica quando delle cariche transitano attraverso una corrente i ed un campo magnetico B , posti perpendicolari l'uno rispetto all'altro, tali per cui si viene a creare una tensione lungo il terzo asse ortogonale. Questa tensione è direttamente proporzionale a i e B , ed inversamente proporzionale alla carica dei portatori e alla loro densità volumica η . Si vuole misurare la densità di portatori di carica di una sonda di bismuto ^{83}Bi realizzata per deposizione su film. Questa sonda è inserita nel traferro di un circuito magnetico, dove è sottoposta ad un campo B_t . La tensione V_H è misurata direttamente sulla sonda, ottenendo quindi una stima della densità volumica di portatori η .

I. INTRODUZIONE

Il passaggio di corrente attraverso un sottile strato conduttore comporta la presenza di una densità di corrente, attraverso il materiale stesso, $\vec{J} = n\vec{v}_d$, dove \vec{v}_d è la velocità di drift (o di spostamento) dei portatori di carica, e η indica la densità di portatori di carica che contribuiscono alla corrente, per unità di volume, misurata in m^{-3} . Sottponendo la lamina conduttrice ad un campo magnetico sufficientemente uniforme [1] otteniamo che le cariche saranno quindi sottoposte ad una forza di Lorentz

$$\vec{F}_m = q\vec{v}_d \times \vec{B} = qv_d B \hat{u}_H, \quad (1)$$

che avrà come risultato diretto lo spostamento dei portatori di carica q nella direzione \hat{u}_H . Considerando un materiale conduttore come composto da cariche q (portatori di corrente) immersi in una distribuzione che possiamo considerare uniforme (secondo la fisica classica) di cariche $-q$ [2], possiamo allora osservare che dopo un certo tempo [3] si formerà un campo elettrico $\vec{E}_H = \vec{F}_H/q$ in direzione ortogonale a \vec{J} e \vec{B} , che comporterà quindi l'esistenza di una differenza di potenziale agli estremi della lamina definita come

$$V_H = \frac{i}{ew\eta} B, \quad (2)$$

dove w indica lo spessore della lamina che utilizziamo, che comunque nel nostro apparato sperimentale riusciamo ad avere molto inferiore alle altre dimensioni della sonda utilizzata, e dove $i = JA$ indica il flusso della densità di corrente, ovvero la corrente attraverso una sezione A . L'effetto misurato è noto come effetto Hall [4]. Misurando la tensione che si viene a creare sulla lamina, possiamo ottenere quindi una misura efficace della densità di portatori in funzione delle altre variabili del nostro setup.

I portatori di carica di un qualsiasi materiale classico sono elettroni, di carica $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$ [5].

II. METODO Sperimentale

La misura dei portatori di carica viene effettuata utilizzando una sonda di Bi metallico depositata su una lamina di film isolante. Il metodo di deposizione ci permette infatti di avere uno spessore w della lamina piuttosto basso, permettendoci quindi

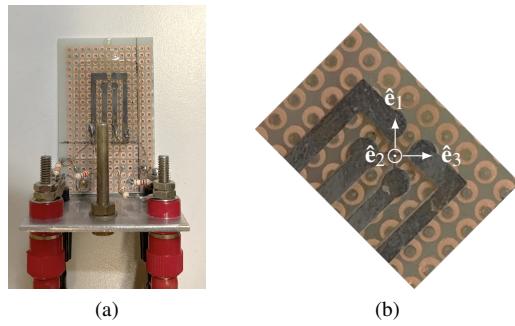


Figura 1: Dettaglio della sonda utilizzata per misurare l'effetto Hall. In (b) indichiamo anche una terna destrorsa utilizzata per considerazioni fisiche.

di stabilire in modo univoco quale è la direzione perpendicolare rispetto al piano della sonda, e individuare quindi un sistema destrorso xyz come in figura 1b. Il sistema così individuato può essere utilizzato come riferimento per tutti i calcoli che verranno svolti.

La corrente infatti scorre nel verso negativo di \hat{e}_1 , che invece è rivolto nella direzione di \vec{J} coerentemente alla direzione della velocità di drift v_e degli elettroni. Tale corrente viene controllata attraverso un generatore calibrato per avere in uscita una corrente costante inferiore a 10 mA per permettere alla sonda di lavorare in condizioni di dissipazione dell'energia controllate e per avere inoltre fluttuazioni rispetto al valore medio molto inferiori all'utilizzo di un generatore da banco generico, che essendo costruito per un utilizzo generico può non essere la scelta migliore per un utilizzo specifico. Il generatore di corrente infatti permette di avere un valore di corrente in uscita pari a $1.724(30) \text{ A V}^{-1} \times (V_- - V_+)$, dove $V_- - V_+$ è la differenza di tensione fornita in ingresso al generatore di corrente (per la caratterizzazione del generatore di corrente vedere l'appendice A). In questo modo, considerato un errore sulla tensione di 2.6 mV, possiamo ottenere una deviazione standard sulla corrente inferiore a 18 ppt [6].

Appendice A: Caratterizzazione del generatore di corrente**Appendice B: Caratterizzazione dell'amplificatore operazionale per strumentazione**^a Esperienza n. 7^b s5025011@studenti.unige.it^c s4942225@studenti.unige.it

- [1] Il campo magnetico deve essere posto ortogonalmente alla densità di corrente \vec{J} , evitando di dover effettuare anche misurazioni dell'angolo α di orientamento di \vec{B} rispetto a \vec{J} .
- [2] Stiamo considerando il valore di q in termini assoluti, non ponendoci quindi problemi sul segno dei portatori di un conduttore.

Un conduttore è però elettricamente neutro, quindi a dei portatori di carica q devono corrispondere delle cariche $-q$ che bilancino complessivamente elettricamente la carica.

- [3] Definiamo questo tempo *tempo caratteristico*, e osserviamo che è sufficientemente piccolo da poter considerare questo processo praticamente istantaneo.
- [4] E. H. Hall, On a new action of the magnet on electric currents, *American Journal of Mathematics* **2**, 287 (1879).
- [5] Valore esatto, fonte BIPM, *defining constants*: <https://www.bipm.org/en/measurement-units/si-defining-constants>, anche in [7].
- [6] Ottieniamo una corrente di (8.62 ± 0.15) mA.
- [7] D. B. Newell, F. Cabiati, J. Fischer, K. Fujii, S. G. Karshenboim, H. S. Margolis, E. de Mirandés, P. J. Mohr, F. Nez, K. Pachucki, T. J. Quinn, B. N. Taylor, M. Wang, B. M. Wood, and Z. Zhang, The CODATA 2017 values of \hbar , e , k and N_A for the revision of the SI, *Metrologia* **55**, L13 (2018).