

Memo 1: definizione degli strumenti necessari per la misura

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

(Gruppo A1)

Lorenzo Lucentini¹ e Michele Giorgi¹

(Gruppo C6)

¹Dipartimento di Fisica,

Università degli Studi di Genova, I-16146 Genova,
Italia

(Revised 10 maggio 2022)

I. OBIETTIVO DELLA MISURAZIONE

Verifica dell'effetto Hall, confronto con la previsione teorica del valore previsto di portatori di carica e misura della carica dei singoli portatori.

Definita la densità di corrente e la forza di Lorentz, abbiamo allora che la tensione di Hall si può esprimere come

$$V_H = \frac{iB}{wnq}, \quad (1)$$

con i corrente, B campo magnetico a cui è sottoposta la sonda (fig. 1a) e w spessore della sonda. Vediamo quindi che il valore di n è facilmente ricavabile.

II. DEFINIZIONE PLOT

Possiamo ugualmente considerare il plot di V_H come $V_H(B)$ oppure alternativamente $V_H(i)$, in entrambi i casi abbiamo dei vantaggi e degli svantaggi. Soprattutto considerando la corrente abbiamo lo svantaggio di dover trovare un modo valido per poter misurare la corrente che però non influisca in modo significativo con l'apparato sperimentale utilizzato. Quindi possiamo definire una funzione del tipo

$$V_H(B) = BC, \quad (2)$$

con C unico parametro della funzione definito come

$$C = \frac{i}{wnq}, \quad (3)$$

dove unica incognita del problema che ci poniamo di risolvere è il valore di n , ipotizzando come noti i valori di $q = e$, i (impostata come da generatore (si veda poi tab. 1b)) e w (tabella 1a).

III. DEFINIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE NECESSARIA

Abbiamo necessità di:

- un generatore di corrente
- un generatore di campo magnetico
- uno strumento per la lettura di tensione e un amplificatore differenziale
- un sistema di controllo per automatizzare il sistema di presa dati e controllare il setup sperimentale
- una sonda, che ci permetta di poter far scorrere corrente i in una direzione e poter misurare nella direzione opposta la differenza di potenziale.

^a s5025011@studenti.unige.it

^b s4942225@studenti.unige.it

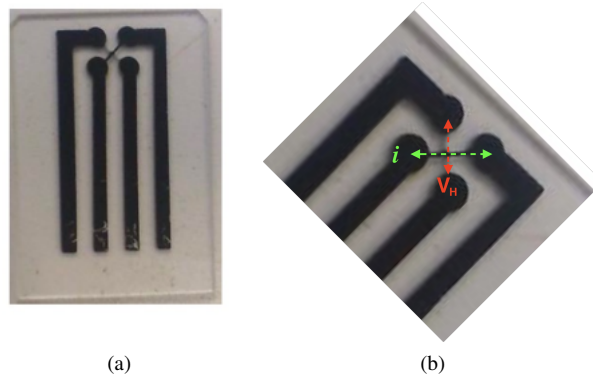


Figura 1 (a) Sonda utilizzata in laboratorio per la verifica dell'effetto Hall. (b) Ingrandimento ruotato di 45 deg della sonda sulla croce, ad indicare le direzioni di passaggio della corrente e di formazione della tensione di Hall V_H (il campo magnetico è lungo la direzione ortogonale alla corrente i e alla tensione V_H).

Tabella I (a) Dimensioni e caratteristiche della sonda utilizzata in laboratorio. (b) Alcune delle caratteristiche importanti delle strumentazioni utilizzate in laboratorio per l'esperienza. Il valore fixed value corrisponde ai casi in cui il valore della variabile non può essere cambiato, ed è limitato dalle condizioni di laboratorio (in generale indica i limiti entro cui possiamo scegliere il valore della variabile), Il valore avg. value corrisponde al valore che ricaviamo considerando sempre le limitazioni di laboratorio e che corrisponde alla miglior scelta che possiamo effettuare.

MOD	Spessore w (μm)	ERR (μm)
Sonda 2R	3.3	0.2
Sonda 6	12.2	0.6
Sonda 1	8	0.5
Sonda 3	3.8	0.2
Sonda 2N	6.1	0.3
Sonda 4	4.5	0.2
Sonda h5	3.6	0.2

(a)

	fixed value	avg. value
Generatore elettrico (i)	-	10 mA $Z_{\text{out}} \approx \Omega$
Campo magnetico B	$[0.1, 0.5]^a$ T	- $i_B \approx [0.1 \text{ A}, 1 \text{ A}]^b$
op-amp (per strum.)	-	$G \approx 100 - 400^c$ $Z_{\text{in}, 1/2} \approx 1 \text{ M}\Omega$
Lettura in tensione		risoluzione necessaria $1 \mu\text{V}$ fondo scala 100 mV^d

(b)

^a Massimo raggiungibile dagli strumenti di laboratorio, minimo importo per avere un effetto sostanzialmente utile (praticamente può andare fino a zero).

^b Corrente di alimentazione dell'elettromagnete/circuito magnetico.

^c Guadagno massimo realizzabile in laboratorio con un amplificatore differenziale per strumentazione in due fasi, ciascuna con gain ≈ 20

^d Abbiamo ottenuto una misura ipotetica, dati gli strumenti che possiamo utilizzare, della tensione di Hall, la quale, anche se amplificata, rimane di quest'ordine di grandezza

A. Caratterizzazione degli strumenti

a. Generatore di corrente Innanzitutto, per evitare di far surriscaldare la sonda, la corrente che forniamo non può avere un valore troppo alto, quindi dell'ordine di grandezza inferiore all'Ampere. Inoltre la corrente fornita alla sonda deve essere abbastanza costante, quindi non cambiare al variare della resistenza interna della sonda. Quindi sarà necessario costruire un circuito che possa permetterci di avere una corrente stabile in ingresso alla sonda, a seconda del generatore che decidiamo di utilizzare (ed in base alle disponibilità del laboratorio).

Ipotizzando una resistenza di 400Ω allora per avere una potenza dissipata piuttosto bassa (dell'ordine del mJ) dobbiamo considerare correnti nell'ordine del mA, quindi possiamo ipotizzare una corrente fornita alla sonda di 10 mA.

b. Generatore di campo magnetico Possiamo utilizzare un campo magnetico creato attraverso un elettromagnete solenoideale, che rappresenta il miglior modo che abbiamo per creare un campo magnetico uniforme B in una piccola e ben definita regione di spazio. Il campo magnetico di un solenoide è

$$B = \frac{\mu_0 i N}{\ell}. \quad (4)$$

Vorremmo massimizzare il valore di B . Considerando le condizioni di laboratorio possiamo fissare il valore di N/ℓ a circa $10^4/10^5 \text{ m}^{-1}$, ottenendo quindi che, con una corrente di qualche decina dell'Ampere (o 10^{-1} A), il valore massimo del campo magnetico che possiamo ottenere è di $\approx 10^{-3}/10^{-2} \text{ T}$.

L'alternativa che possiamo pensare è quella di utilizzare un circuito magnetico con traferro, che potrebbe permetterci di ottenere campi di intensità maggiore, quindi nell'ordine di 0.5 T al massimo. Possiamo quindi ipotizzare di ottenere un campo magnetico di circa 0.3 T utilizzando un circuito magnetico e misurando il campo nel traferro.

c. Lettura di tensione Ai capi della sonda vogliamo misurare la tensione di Hall V_H , quindi abbiamo bisogno di uno strumento che abbia la possibilità di leggere la tensione ai capi della sonda. La tensione di Hall risulterà essere però molto bassa, infatti con le quantità fornite fino ad ora possiamo ipotizzare che sia necessario amplificarlo. L'amplificatore migliore che possiamo realizzare può avere un valore di circa $100/400$, per esempio utilizzando un amplificatore per strumentazione diviso in due fasi, la prima con guadagno $10/20$ e la seconda con un guadagno simile. Quindi abbiamo bisogno di uno strumento per la lettura della tensione piuttosto preciso, che possa leggere differenze di potenziale dell'ordine del mV .

d. Sistema di controllo Vogliamo poi avere un sistema centrale che ci permetta di controllare la logica del setup sperimentale e che permetta di mettere in comunicazione i vari strumenti e attivarli con impostazioni ben definite e poter effettuare misure in modo automatico. Viene comodo quindi utilizzare un sistema integrato come Arduino, per cui possiamo realizzare una logica semplice per controllare il setup sperimentale e per raccogliere misure.

e. Sonda Con i dati fino ad ora raccolti ci possiamo accorgere che la tensione di Hall dipende fortemente dal numero di portatori, e vogliamo che infatti sia un valore più basso possibile, per ottenere tensioni misurabili più alte possibili (*cfr.* eq. (1)). Vogliamo quindi trovare un materiale che abbia un buon compromesso tra la resistenza interna e il numero di portatori, in modo da ottenere un valore della tensione di Hall più alto possibile, senza dover però fornire correnti eccessivamente basse, difficili da generare, e che causerebbero un valore della tensione di Hall ancora più bassa. Il materiale che abbiamo a disposizione è il rame, depositato a formare uno strato laminare molto sottile per cui possiamo identificare delle direzioni privilegiate per la corrente e per la valutazione dell'effetto Hall.