

Esperienza di Lab. III: misura del rapporto e/m

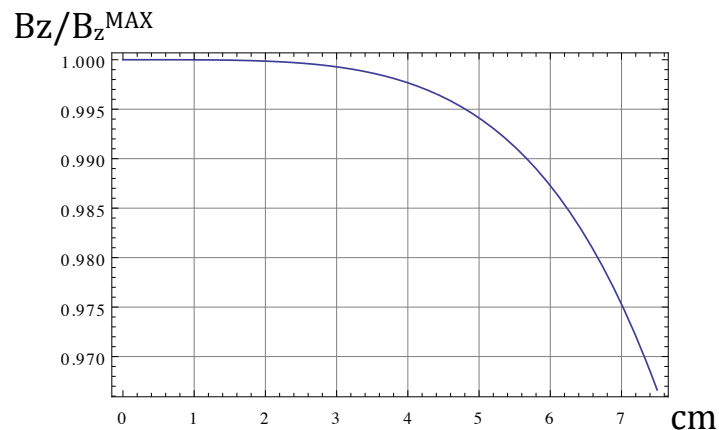
Lo scopo dell'esperienza è misurare il rapporto tra la carica dell'elettrone e la sua massa (in C/kg). Elettroni vengono accelerati mediante una d.d.p. nota; nel campo magnetico uniforme, generato da una coppia di bobine di Helmholtz, essi percorrono una traiettoria circolare di cui si misura il raggio di curvatura [1].

1. Bobine di Helmholtz.

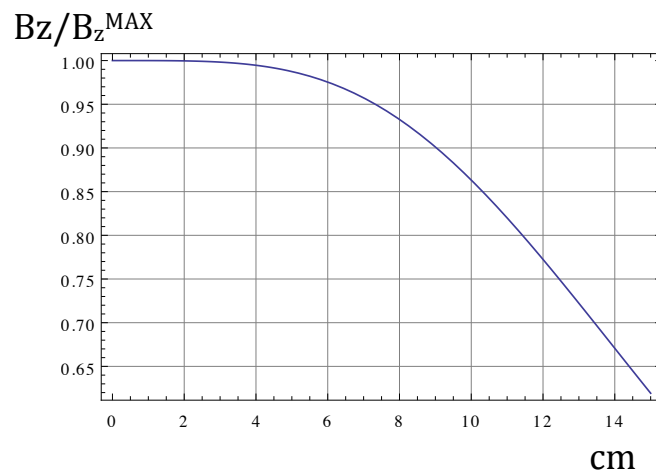
Due bobine di raggio medio $R=15$ cm, costituite da 130 spire, sono poste coassiali ad una distanza pari al loro raggio. Mediante una tensione V_{coil} (compresa tra 6 e 9 V) si fa scorrere una corrente I_{coil} (letta da un amperometro) nelle spire. Il campo magnetico lungo l'asse delle spire (asse z) ha valore massimo:

$$B_z^{\text{MAX}}(T) = 7.80 \cdot 10^{-4} I_{\text{coil}}(A)$$

Le figure seguenti riportano la variazione (teorica [2]) del campo B_z/B_z^{MAX} in funzione della distanza (in cm) dall'asse z delle spire:

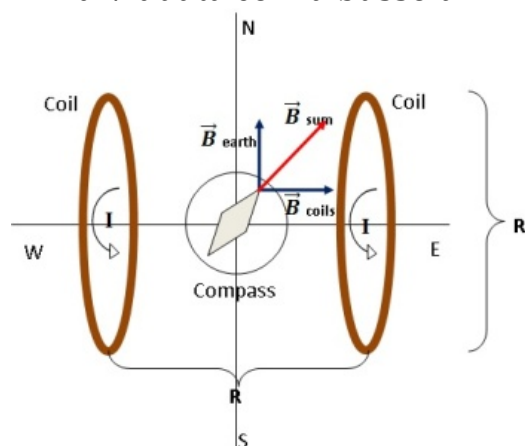


ed in funzione della distanza sull'asse z dal punto medio tra le spire:



a. Osservare che la presenza del campo magnetico terrestre \vec{B}_t potrebbe alterare la misura. Individuare con una bussola, la direzione della componente orizzontale di \vec{B}_t ed orientare l'asse delle spire in modo da minimizzare l'effetto sulla misura di e/m .

Come si deve posizionare l'asse delle bobine rispetto alla direzione S-N individuata con la bussola?



b. Dopo aver bloccato la base rotante (con del nastro adesivo), viene utilizzata la sonda Hall [3] per “mappare” la componente z del campo magnetico nel piano parallelo alle spire passante per il punto di mezzo (sara' il piano della traiettoria degli elettroni). Si utilizza una bacchetta con al centro una sonda, scorrevole lungo un diametro. La sonda ed il suo circuito di amplificazione hanno alimentazioni dedicate (8, -6, +5V, GND: rispettare il codice dei colori).

E' necessario agire su un trimmer per azzerare l'uscita in caso di campo magnetico nullo. Viene inoltre fornito il data-sheet della sonda ed il guadagno dell'amplificatore. Si puo' ricavare quindi l'intensita' di B_z dalla lettura (con il tester) della tensione in uscita.

Attenzione: monitorare costantemente la corrente nelle bobine.

Fare un grafico di B_z in funzione della distanza dall'asse delle spire (usare un righello per misurare la posizione della sonda) e confrontare con quanto atteso (uniformita' e valore massimo).

c. Si consiglia di prendere una foto della scala graduata (illuminata) posta dietro la seconda bobina in assenza il bulbo di vetro, per valutare successivamente l'effetto di distorsione introdotto dalla rifrazione del bulbo.

2. Elettroni in campo magnetico

Far inserire (dal tecnico) il bulbo di vetro nel suo socket. Verificare che l'interruttore frontale sia nella posizione “ e/m ”.

Il cannone elettronico ha bisogno una tensione V_{heat} (compresa tra 3 e 6 V) perche' vengano emessi elettroni e di una d.d.p. V_{acc} (compresa tra 150 e 300 V) per accelerarli. Gli elettroni urtano gli atomi del gas rarefatto (He, 10^{-2} mm Hg) presente nell'ampolla, i quali emettono la

radiazione che consente di visualizzare il pennello e misurarne l'orbita.

a. Fissati i valori I_{coil} e V_{acc} , vedere se il raggio della traiettoria dipende dalla V_{heat} (avere l'accortezza di aspettare qualche minuto per far stabilizzare la temperatura).

A questo punto, trovare le condizioni ottimali (panno scuro, illuminazione posteriore scala graduata, distanza, risoluzione, fuoco manuale, esposizione automatica) per scattare le foto con la macchina digitale.

b. Fissato il valore di $V_{heat}=6V$, variare I_{coil} e V_{acc} in modo da poter misurare (mediante le foto) i raggi r delle traiettorie.

Durante la fase di presa dati, stimare il raggio di curvatura r dell'orbita circolare con la scala graduata e verificare l'ordine di grandezza ottenuto per e/m .

Finita la fase di presa dati, mediante la digitalizzazione delle immagini [5], sarà possibile fare una misura più accurata di r .

c. Correggere r per l'effetto della geometria proiettiva: il piano della scala graduata è diverso dal piano dell'orbita. Misurare le distanze dalla lente dell'obiettivo della macchina fotografica ai piani delle bobine e alla scala graduata.

Vale la relazione:

$$e/m = v_e / (B_z r) \quad (m v_e^2 / r = e v_e B_z, \text{ con } \frac{1}{2} m v_e^2 = e V_{acc})$$

Trovare la media dei valori ottenuti per e/m con l'errore statistico

Riportare in un grafico $(B_z r)^2$ in funzione di V_{acc} .

3. Valutazione errori sistematici.

Quantificare:

a. La variazione $B_z(r \text{ orbita}) / B_z^{MAX}$

b. Considerare se prendere le foto sempre con la macchina fotografica nella stessa posizione e con il solito ingrandimento, per una successiva unica correzione su tutte le immagini.

c. il pennello di elettroni ha uno "spessore": r_{min}, r_{max} .

d. dividere i dati in più serie di V_{acc} crescente e confrontare i valori ottenuti per e/m .

Sicurezze:

Indossare un paio di occhiali durante l'esperimento, per proteggersi in caso di (improbabile!) implosione del bulbo.

Quando viene applicata la d.d.p. V_{acc} (150→300V DC), fare attenzione a non toccare assolutamente il circuito.

Azzerare (agendo sui potenziometri) la V_{acc} e la V_{coil} prima di spegnere i relativi alimentatori

Appendice:

Acquisizione foto:

Impostare il fuoco su manuale e l'esposizione su automatico.
Prendere nota del numero di foto e della corrispondenza con I
valori impostati per V_{acc} , I_{coil} , V_{heat} .
Alla fine della presa dati scaricare i dati sul PC del laboratorio.

Digitizzazione foto:

Aprire con il programma plotdigitizer il file della foto.

1. "Calibrate":
 - a. Fare click sul primo punto sulla scala graduate
 - b. Immettere X_{min} (usare la stessa calib. sull'asse y) e X_{max}
 - c. Nominare gli assi (per es. X e Y)
2. "Digitize": Click su (almeno) tre punti (distanti) sulla traiettoria
3. "Done":
 - a. Salvare il file con le coordinate dei punti in formato csv
 - b. Chiudere il file di dati e quello dell'immagine

Il file csv puo' essere successivamente importato da un foglio elettronico (per es. da excel: Data->Get External Data -> Import text file).

Il raggio della traiettoria:

Metodo 1:

Presi tre punti e scelte due corde, trovare il punto di intersezione $C(x_c, y_c)$ tra le rette ortogonali alle corde passanti per il loro punto di mezzo. Calcolare r come la distanza media dei tre punti da C.

Metodo 2:

Eseguire un fit (minimi quadrati), secondo quanto riportato in [4].

Documenti utili:

- [1]: Manuale apparato: e-m-Apparatus-Manual-SE-9638.pdf
- [2]: Landau-Lifshitz "Elettrodinamica dei mezzi continui", pg. 171
- [3]: Datasheet sonda Hall:sensore_Hall_specs.pdf; calibrazione amplificatore: sottrattore_ampl.pdf; calib_ampl.pdf
- [4]: Articolo Fit cerchio con minimi quadrati: kasa.pdf
- [5]: Programma per la digitizzazione foto:
 - <http://plotdigitizer.sourceforge.net> installato sul pc del lab
 - <http://getdata-graph-digitizer.com>
 - <http://www.digitizeit.de>