

43^{ma} Olimpiade Internazionale della Fisica – Gara Sperimentale

Tartu, Estonia — Giovedì 19 luglio 2012

- La prova dura 5 ore. Ci sono 2 problemi che vengono valutati complessivamente 20 punti. Hai a disposizione due tavoli in due box adiacenti; il materiale per il problema E1 è su un tavolo e quello per il problema E2 è sull'altro; ti puoi spostare liberamente fra questi due tavoli. **Tuttavia non devi spostare nessun elemento dell'apparato sperimentale da un tavolo all'altro.**
- All'inizio l'apparato sperimentale su un tavolo è coperto e l'altro è chiuso in una scatola. **Non devi togliere la copertura né aprire la scatola né aprire la busta con i problemi prima del segnale acustico di inizio della gara (tre brevi squilli).**
- **Non puoi uscire dal tuo spazio di lavoro senza permesso.** Se hai bisogno di aiuto (**strumentazione che non funziona**, calcolatrice rotta, bisogno di andare in bagno, ...), usa la paletta corrispondente "HELP" ("aiuto") o "TOILET" ("gabinetto") alzandola con una lunga maniglia sopra la parete del tuo box, e lasciala alzata finché arriva un assistente.
- Scrivi su una sola facciata di ciascun foglio.
- Per ciascun problema ci sono degli **appositi Fogli di Soluzione** (vedi l'intestazione per il numero e simbolo). Scrivi la tua soluzione sui Fogli di Soluzione corrispondenti. Per ciascun Problema i Fogli di Soluzione sono numerati; usa i fogli seguendo la numerazione. *Scrivi su ciascun foglio il Problema, la Parte e la Domanda che stai svolgendo.* Copia le risposte finali negli spazi appositi dei **Fogli di Risposta**. Ci sono anche dei fogli di **Brutta**; usali per scriverti cose che non desideri che vengano considerate nella valutazione. Se hai scritto sui Fogli di Soluzione qualcosa che non desideri che sia valutato (come un abbozzo o un ragionamento sbagliato) mettilo sopra una croce.
- Se hai bisogno di altra carta per un certo problema, alza la paletta "HELP" e di' a un assistente il numero del problema; hai a disposizione due Fogli di Soluzione (lo puoi fare più di una volta).
- **Scrivi meno testo possibile:** cerca di spiegare la tua soluzione usando soprattutto equazioni, numeri, simboli e grafici. ~~Quando una spiegazione a parole è inevitabile, si consiglia di fornire anche una traduzione inglese accanto al testo in italiano (se la traduzione è sbagliata, o non traduci affatto, il testo in italiano verrà usato in sede di Moderazione).~~
- **Durante l'esperimento col laser è indispensabile evitare vibrazioni e movimenti inutili, toccare l'apparecchiatura e le pareti del box perché richiede stabilità.**
- **Durante l'esperimento col laser non guardare direttamente il fascio del laser neanche dopo riflessione perché può causare danni permanenti alla vista.**
- Ci sarà un primo segnale acustico (singolo) per avvertire quando mancano 30 minuti alla consegna; un secondo segnale (due squilli) significa che mancano 5 minuti; il terzo segnale (tre squilli) indica la fine del tempo della prova. **Al terzo segnale devi smettere di scrivere immediatamente.** Metti tutti i fogli nella busta sul tuo tavolo. **Nessun foglio può essere portato fuori della stanza.** Se finisci il lavoro prima del segnale acustico finale, alza la tua paletta.



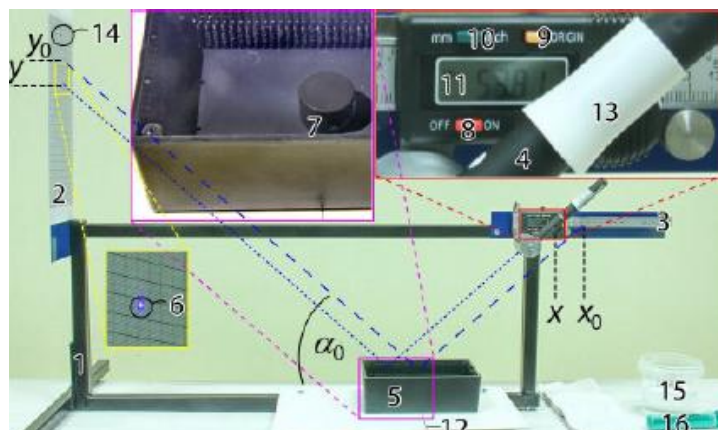
Problema E1. Permeabilità magnetica dell'acqua (10 punti)

L'effetto del campo magnetico è piuttosto debole sulla maggior parte dei materiali (esclusi quelli ferromagnetici). Ciò perché la densità di energia del campo magnetico in sostanze con una permeabilità magnetica relativa μ è data dalla espressione $w = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}$, e μ è normalmente molto vicino a 1.

Tuttavia un protocollo sperimentale appropriato permette di osservare questi effetti a colpo sicuro. In questo problema si studierà l'effetto di un campo magnetico (prodotto da una calamita permanente a neodimio) sull'acqua. In seguito si utilizzeranno i risultati sperimentali per calcolare la permeabilità magnetica dell'acqua. **In questo problema non si richiede il calcolo dell'incertezza di misura e non è necessario prendere in considerazione effetti dovuti alla tensione superficiale.**

L'apparato sperimentale comprende 1 un sostegno (i numeri evidenziati corrispondono ai numeri in figura), 3 un calibro digitale, 4 un puntatore laser, 5 un recipiente contenente acqua con 7 una calamita permanente cilindrica al suo interno (la magnetizzazione è lungo l'asse del cilindro). Il recipiente è mantenuto fisso alla base del sostegno a causa dell'attrazione della calamita. Il laser è fissato al calibro, la cui base è fissata al supporto. Il calibro permette uno spostamento orizzontale del laser. Il pulsante per accendere il laser può essere tenuto premuto stabilmente posizionando il tubo conico bianco 13 sul pulsante. Il livello dell'acqua al di sopra della calamita deve essere il più vicino possibile a 1 mm (se è inferiore la superficie dell'acqua si deforma talmente che sarà difficile fare le misure). Il livello dell'acqua può essere regolato utilizzando un contenitore d'acqua 15 e una siringa 16 (mettendo 13 ml d'acqua il livello si alza di 1 mm). Utilizzando delle piccole calamite 14 si fissa un foglio di carta millimetrata (che funge da schermo) 2 sulla parte verticale del sostegno. Se la macchia del laser sullo schermo si allarga, probabilmente c'è della polvere sulla superficie dell'acqua: soffiate per toglierla.

Gli altri numeri in figura hanno questo significato: 6 punto in cui il fascio del laser colpisce lo schermo; 11 display a LCD del calibro; 10 pulsante che permette di cambiare l'unità di misura del calibro (millimetri o pollici); 8 interruttore di accensione; 9 pulsante per fissare lo zero della misura del calibro. Sotto il puntatore laser c'è un altro pulsante sul calibro che definisce temporaneamente lo zero (se lo premete inavvertitamente, premetelo una seconda volta per tornare al modo normale di misura).



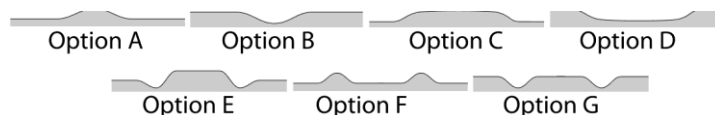
Valori numerici da utilizzare nei calcoli: **distanza orizzontale** fra il centro della calamita e il centro dello schermo $L_0 = 490$ mm. Verifica (e regola se è necessario) l'allineamento del centro della calamita con l'aiuto della riga nera 12 di riferimento sul sostegno; **campo magnetico** sull'asse della calamita, a 1 mm sopra la faccia piana $B_0 = 0.50$ T; **densità dell'acqua** $\rho_w = 1000$ kg/m³; **accelerazione di gravità** $g = 9.8$ m/s²; **permeabilità magnetica del vuoto** $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

ATTENZIONE:

- Il laser è stato posizionato in modo ideale: non modificare l'orientazione!!
- Non guardare direttamente nel fascio del laser anche dopo riflessione!
- Non cercare di staccare la potente calamita a neodimio!
- Non posare degli oggetti metallici o magnetici in vicinanza della calamita!
- Spegni il laser quando non serve: le pile si scaricano in un'ora!

Parte A. Descrizione qualitativa della forma della superficie dell'acqua (1 punto)

Mettendo la calamita sotto la superficie dell'acqua, questa si deforma. Osserva la forma della superficie dell'acqua al di sopra della calamita: da questa osservazione deduci se l'acqua è diamagnetica ($\mu < 1$) oppure è paramagnetica ($\mu > 1$) dove μ è la permeabilità magnetica relativa.



Scrivi sul Foglio Risposte la lettera corrispondente alla forma osservata, ed anche la disuguaglianza corretta: $\mu < 1$ o $\mu > 1$.

In questa parte non è richiesto di giustificare la risposta.



Parte B. Forma esatta della superficie dell'acqua. (7 punti)

La curvatura della superficie dell'acqua può essere osservata con grande precisione misurando la deviazione del fascio laser riflesso dalla superficie. Si utilizza questo effetto per determinare come varia lo spessore dello strato d'acqua al di sopra della calamita in funzione della posizione orizzontale.

i. (1.6 punti) Misura come varia l'altezza y della macchia del laser sullo schermo in funzione della posizione x del calibro (vedi figura). Utilizza il più ampio spostamento possibile x del calibro. Compila le prime due colonne della tabella dei risultati nel Foglio Risposte.

ii. (0.7 punti) Traccia il relativo grafico.

iii. (0.7 punti) Utilizzando il grafico, determina l'angolo α_0 tra il fascio e la superficie orizzontale dell'acqua.

Tieni presente che, conoscendo l'altezza y della macchia del laser sullo schermo e la rispettiva posizione del calibro x , si può conoscere l'inclinazione $\tan \beta$ della superficie dell'acqua, nel punto di riflessione, rispetto all'orizzontale, mediante la formula

$$\tan \beta \approx \beta \approx \frac{\cos^2 \alpha_0}{2} \frac{y - y_0 - (x - x_0) \tan \alpha_0}{L_0 + x - x_0}$$

dove y_0 e x_0 sono, rispettivamente, l'altezza della macchia del laser sullo schermo e la posizione del calibro quando la riflessione avviene sull'asse della calamita.

iv. (1.4 punti) Calcola i valori di tale pendenza e riportali nella tabella del Foglio Risposte. Nota che si possono semplificare i calcoli sostituendo certe espressioni dei calcoli precedenti con i valori letti sul grafico già fatto.

v. (1.6 punti) Calcola l'altezza della superficie dell'acqua (rispetto alla superficie lontano dalla calamita) in funzione di x e riporta i risultati nella tabella del Foglio Risposte.

vi. (1 punto) Traccia il corrispondente grafico. Indica nel grafico la regione in cui il fascio laser colpisce la superficie al di sopra della calamita.

Parte C. Permeabilità magnetica (2 punti)

Utilizzando i risultati della parte B, calcola il valore di μ^{-1} (detta *suscettività magnetica*), dove μ è la permeabilità magnetica relativa dell'acqua. Riporta nel Foglio Risposte la formula finale e il valore numerico.

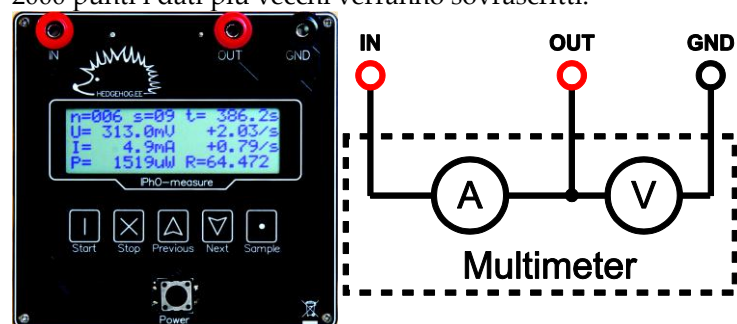


Problema E2. Scatola nera non lineare (10 punti)

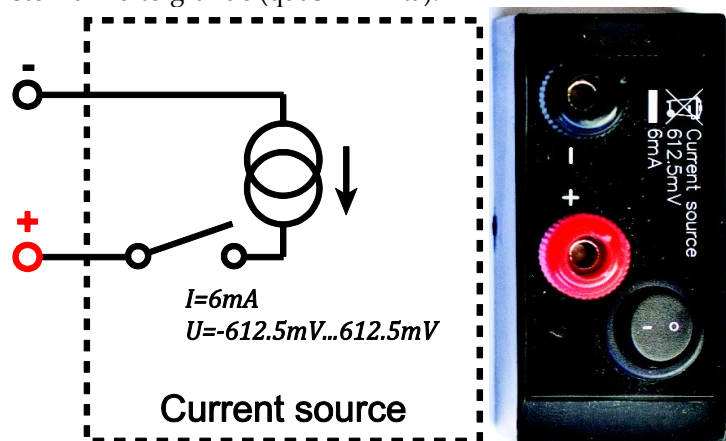
Nei problemi semplici, i circuiti elettrici si considerano come composti di elementi lineari, in cui c'è una relazione di proporzionalità diretta fra le grandezze in gioco (tensione, corrente e carica). Ad esempio, per la resistenza $V = RI$, per la capacità $Q = CV$ e per l'induttanza $V = LI$ dove R , C e L sono costanti. In questo problema invece si considera un circuito che contiene elementi non lineari, chiusi in una scatola nera, per cui l'ipotesi di proporzionalità non è più valida.

Il materiale si compone di un **multimetro** (con l'etichetta "IPhO-measure"), di un **generatore di corrente**, di una **scatola nera** che contiene elementi non lineari, e di quattro cavi di collegamento. **Stai attento a non rompere l'etichetta sulla scatola nera che funge da sigillo.**

Il multimetro può misurare sia tensione che corrente nello stesso tempo. Ti permette di registrare fino a 2000 misure, e ciascuna comprende: la **tensione** V , la **corrente** I , la **potenza** $P=VI$, il valore locale della resistenza $R=V/I$, la derivata temporale della tensione \dot{V} , quella della corrente \dot{I} e il tempo t . Guarda il manuale per maggiori spiegazioni. Se oltrepassi i 2000 punti i dati più vecchi verranno sovrascritti.



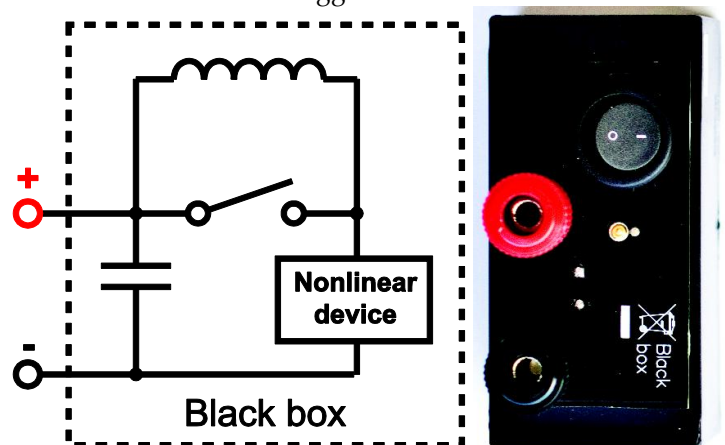
Il generatore di corrente fornisce una corrente costante finché la tensione ai suoi capi è compresa fra -0.6125 V e 0.6125 V . Quando è spento, il generatore si comporta come una resistenza molto grande (quasi infinita).



La scatola nera contiene un condensatore a doppio strato di grande capacità, leggermente non lineare, un elemento non lineare incognito e un'induttanza $L = 10\text{ mH}$ di resistenza tra-

scurabile. Questa può essere cortocircuitata come indicato nello schema. L'elemento non-lineare può essere modellizzato come una resistenza in cui la relazione fra tensione e corrente è non-lineare [I è una funzione continua di V , con $I(0)=0$]. Del pari, la capacità differenziale del condensatore $C(V)=dQ/dV$ non è del tutto costante. **La tensione ai capi della scatola nera si considera positiva quando il potenziale del connettore rosso è maggiore di quello del connettore nero. Quando il generatore e la scatola nera sono collegati rispettando i colori si ottiene una tensione positiva (se vuoi puoi usare tensioni negative).**

Si può scaricare il condensatore della scatola nera senza alcun pericolo sia collegando i suoi capi fra loro direttamente, sia attraverso i collegamenti IN e OUT del multimetro: la resistenza interna del condensatore è abbastanza elevata perché la corrente non danneggi nulla.



In questo problema non è richiesto alcun calcolo sulle incertezze.

PROBLEM

Problem E2



Parte A. Circuito senza induttanza (7 punti)

In questa parte l'interruttore della scatola nera è lasciato in posizione "I" in modo che l'induttanza sia cortocircuitata.

Certe misure possono richiedere un tempo notevole: quindi leggi subito per intero la parte A per evitare un lavoro inutile.

i. (1 punto) Verifica che la corrente di uscita del generatore di corrente è approssimativamente 6 mA e determina entro quali limiti la corrente varia nell'intervallo di tensioni comprese fra 0 e +480 mV. Disegna lo schema dei collegamenti e indica l'intervallo di tensione studiato.

ii. (1.2 punti) Mostra che il valore della capacità differenziale $C(V)$ utilizzata nella scatola nera è pari a circa 2 F, misurando il suo valore $C(V_0) = C_0$ per una tensione V_0 di tua scelta. Disegna lo schema del circuito.

iii. (2.2 punti) Senza considerare la non-linearità del condensatore [$C(V) \approx C_0$], calcola la caratteristica corrente-tensione dell'elemento non-lineare presente nella scatola nera. Traccia sul Foglio Risposte la curva $I(V)$ che si ottiene per tensioni positive. Disegna lo schema del circuito.

iv. (2.6 punti) Utilizzando le misure prese in tutto l'intervallo di valori di tensioni positive accessibili, calcola $C(V)$ e traccia la curva sul Foglio Risposte. Prendi nota del valore minimo e massimo della capacità differenziale, C_{min} e C_{max} . Disegna lo schema del circuito.

Parte B. Circuito con induttanza (3 punti)

Inserisci l'induttanza aprendo l'interruttore sulla scatola nera (passando alla posizione "0"). Utilizzando lo stesso metodo del punto A-iii, misura e traccia il grafico della caratteristica corrente-tensione dell'elemento non-lineare. Illustra tutte le differenze significative fra le curve delle parti A e B. Danne una ragione usando argomenti qualitativi. Qui, devi sapere che l'elemento non lineare ha anche una capacità (circa 1 nF) in parallelo alla resistenza non-lineare.

PROBLEM

Problem E2

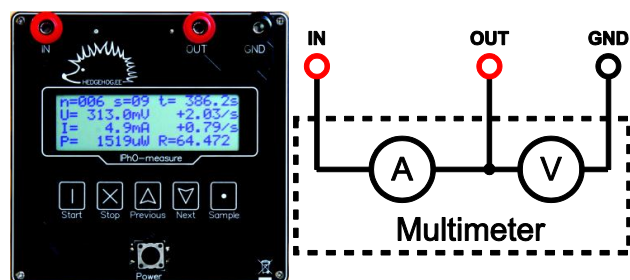


IPhO-measure: piccolo manuale d'uso

IPhO-measure è un multimetro in grado di misurare simultaneamente la tensione V e la corrente I . Registra anche le loro derivate temporali \dot{V} e \dot{I} , il loro prodotto $P=VI$, il loro rapporto $R=V/I$, e l'istante di tempo t della misura. Le misure sono immagazzinate in serie separate: ogni misura è catalogata con il suo numero di serie s e la sua posizione n nell'ambito della serie. Tutte le misure sono registrate in una memoria flash interna e possono essere recuperate in seguito.

Comportamento elettrico

L'apparecchio si comporta come un amperometro e un voltmetro collegati nel modo seguente.



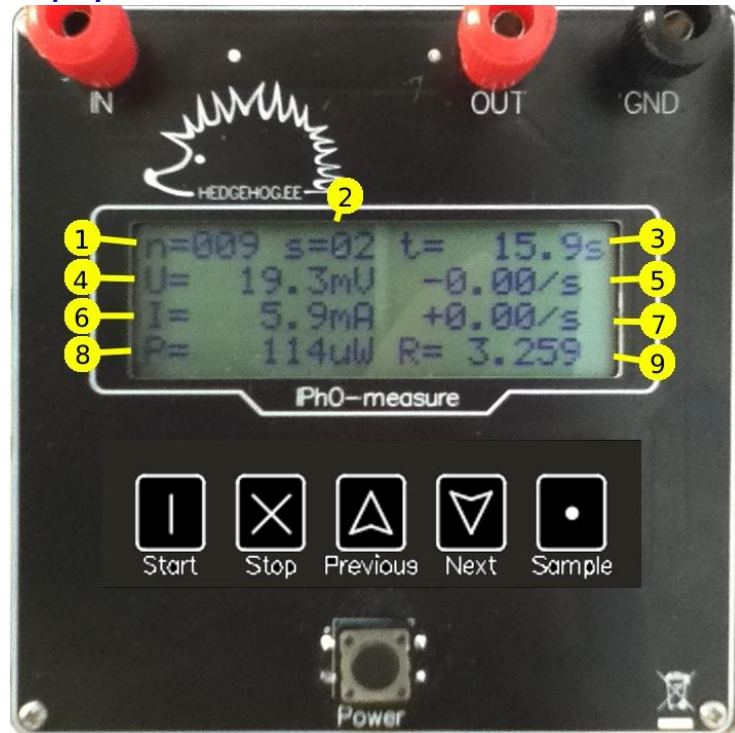
	Intervallo di misura	Resistenza interna
Voltmetro	0...2 V	1 MΩ
Voltmetro	2...10 V	57 kΩ
Amperometro	0...1 A	1 Ω

Guida rapida

- Premi il pulsante "POWER" per accendere l'apparecchio. L'apparecchio non sta ancora misurando; per iniziare le misure devi premere il tasto "START". In alternativa, puoi visualizzare i dati registrati, come spiegato sotto.
- Per visualizzare le misure prese in precedenza (per tutte le serie) premi "PREVIOUS" o "NEXT". Tieni premuto più a lungo per passare da una serie all'altra.
- Se non ci sono misure in corso, premi "START" per iniziare una nuova serie di misure.
- Durante la misura, premi "SAMPLE" per registrare il dato corrente.
- Puoi consultare le misure precedentemente registrate, premendo "PREVIOUS" e "NEXT", anche mentre stai facendo delle altre misure.
- Per terminare una serie di misure, premi "STOP". L'apparecchio è ancora acceso, e puoi iniziare nuove misure o visualizzare i dati registrati.
- Il pulsante "POWER" permette anche di spegnere l'apparecchio. L'apparecchio visualizzerà la scritta: "my mind is going..."; ma non preoccuparti, tutte i dati registrati

saranno conservati, e potrai nuovamente visualizzarli dopo aver riacceso l'apparecchio. I dati registrati saranno conservati.

Display



Il display fornisce i valori di nove variabili:

1. l'indice n della misura nella serie;
2. il numero della serie s ;
3. il tempo t trascorso dall'inizio della serie di misure;
4. la tensione V misurata dal voltmetro;
5. la velocità di variazione di V (la sua derivata temporale \dot{V}); se V varia troppo rapidamente per poterla derivare, l'apparecchio indica "+nan/s";
6. la corrente I misurata dall'amperometro;
7. la velocità di variazione di I (la sua derivata temporale \dot{I}); se I varia troppo rapidamente per poterla derivare, l'apparecchio indica "+nan/s";
8. il prodotto $P=VI$
9. il rapporto $R=V/I$

Se una grandezza risulta fuori dell'intervallo di lavoro, viene indicato "+inf" o "-inf".