

E1 - Pendolo Magnetico (10 punti)

La frequenza di oscillazione di un pendolo può essere modificata da forze magnetiche tra il pendolo e il suo supporto. In questo esperimento studierete il moto del pendolo in un potenziale dato alla somma di termini di campo gravitazionale e magnetico, utilizzando l'impostazione mostrata in Fig. 3.

Apparecchiatura (vedi anche Fig. 3)

- A Corpo del pendolo con supporti puntiformi e specchio per la misurazione dell'angolo
- B Sostegno del pendolo con placchette di plastica rigide per appoggiare il pendolo e un profilo laser per la misurazione dell'angolo
- C Guide per il supporto di magneti esterni
- D 2 piccoli dipoli magnetici da fissare al corpo del pendolo
- E 2 altri dipoli magnetici esterni identici (**neri**)
- F 2 magneti esterni incogniti F1, F2 (**blu**, F2 è contrassegnato con un punto **bianco** a un estremo)
- G Schermo per visualizzare lo spot del laser per la misurazione dell'angolo
- H Cronometro
- I Nastro adesivo, che serve per esempio per fissare il sostegno del pendolo al tavolo
- J Matita e righello

I magneti sono piuttosto forti. Fate attenzione a non farvi male e a non danneggiare i magneti.

Non guardare direttamente nel laser e spegnerlo quando non lo usate

Quando si lavora con il pendolo, assicurarsi che le viti di supporto siano appoggiate nelle scanalature sostegno del pendolo.

Se servisse, segnare il pendolo con la matita.

Domanda E1.1 - Masse (1.0 punti)

La massa totale del corpo del pendolo con attaccati i piccoli dipoli magnetici è $M_{\text{pen}} + M_{\text{mag}} = (52.3 \pm 0.2) \text{ g}$.

Misura sia M_{pen} che M_{mag} più accuratamente possibile.

Domanda E1.2 - Momenti di dipolo magnetico (4.0 punti)

Quando i magneti esterni sono posti vicino al pendolo magnetico, esso si muove in un potenziale dato dalla somma del campo gravitazionale e del campo magnetico. La frequenza del pendolo risultante, ω , può essere scritta come una funzione della frequenza naturale ω_1 e dello "spostamento della frequenza magnetica" ω_{mag} :

$$\omega^2 = \omega_1^2 \pm \omega_{\text{mag}}^2 \quad (1)$$

Nel caso in cui i dipoli magnetici esterni **neri** siano posizionati simmetricamente alla distanza d vicino alla posizione di equilibrio del pendolo (vedi Fig. 1) e

l'ampiezza delle oscillazioni siano piccole, lo "spostamento della frequenza magnetica" è:

$$\omega_{\text{mag}}^2 = \frac{6\mu_0}{I\pi} \cdot j_1 \cdot j_2 \cdot \frac{\ell^2}{d^5}, \quad (2)$$

Dove $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ è la permeabilità magnetica del vuoto, I è il momento di inerzia del pendolo magnetico rispetto all'asse di rotazione, j_1 è il momento magnetico combinato dei magneti sul pendolo, j_2 è il momento magnetico di ogni dipolo esterno, e ℓ è la distanza dei magneti sul pendolo dall'asse di rotazione. Per la forza relativa dei momenti di dipolo si può ipotizzare $j_2 = 2.4 \cdot j_1$. La gravità locale è $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

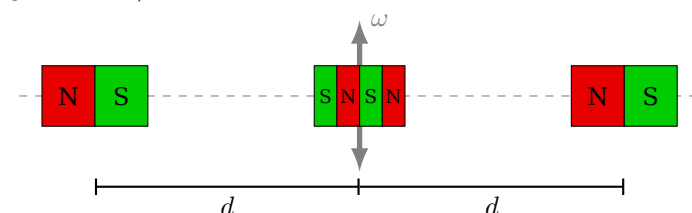


Figure 1: Variazione della frequenza con dipoli magnetici esterni (vista dall'alto). d indica la distanza tra i centri dei magneti. Si noti che è possibile invertire l'orientamento dei magneti esterni.

a) Misurare le frequenze del pendolo per diverse distanze d dei magneti, usando ampiezze di oscillazione molto piccole. Accertarsi di coprire tutto il range di frequenze accessibili.

b) Determinare la "magnetizzazione media" (momento magnetico per unità di massa) del materiale di cui sono fatti i magneti del pendolo e i dipoli magnetici esterni. Tracciare un grafico fatto bene dei dati per sostenere l'analisi. Si può trascurare la massa e lo spessore delle protezioni non magnetiche dei magneti.

È importante l'allineamento preciso delle rotaie. Assicurarsi che, con il pendolo in posizione di equilibrio, i centri di tutti i magneti si trovino su un'unica linea.

Assicuratevi di utilizzare configurazioni simmetriche per annullare la forza sui magneti del pendolo lungo la direzione delle rotaie.

Domanda E1.3 - I magneti esterni incogniti (3.0 pts)

Ciascuno dei due magneti esterni incogniti **blu** comprende diversi dipoli magnetici. I dipoli di F1 sono invertiti rispetto a quelli di F2. Lo spostamento di frequenza magnetica in una configurazione analoga a quella di Fig. 1 segue anch'esso una legge di potenza del tipo:

$$\omega_{\text{mag,F}}^2 \propto d^\alpha. \quad (3)$$

a) Misurare le frequenze del pendolo a diverse distanze d , utilizzando ampiezze di oscillazione molto

piccole. Scegliere le impostazioni che consentono di trovare lo spostamento della frequenza magnetica nel modo più accurato possibile.

b) Determinare l'esponente della legge di potenza α .

c) Disegna uno schema della possibile configurazione interna di dipoli magnetici F1 ed F2 e motiva la tua scelta.

Domanda E1.4 - Pendolo non lineare (2.0 pts)

Riporta il montaggio alla configurazione utilizzata nella Domanda E1.2, con i dipoli magnetici esterni **neri** disposti come in Fig. 1. Utilizzando la Eqn. 1, la frequenza delle piccole oscillazioni del pendolo può essere completamente azzerata, $\omega \rightarrow 0$.

a) Determina con la massima precisione possibile la separazione del magnete d necessaria per questo azzeramento completo.

b) Studia la dipendenza del periodo del pendolo dalla sua ampiezza quando è regolato sul migliore azzeramento che si è riusciti a ottenere.

Suggerisci una dipendenza funzionale e confrontala con i tuoi dati.

Discuti l'origine delle possibili discrepanze.

E2 - Scatola nera ottica (10 punti)

ATTENZIONE!

Non aprire la scatola nera. Non scuotere la scatola nera. Non toccare le finestre delle porte ottiche. Se si rompe la scatola nera o le finestre o si tenta di aprirla, si verrà squalificati.

Il vostro compito è quello di determinare il contenuto di una scatola nera ottica senza aprirla.

La scatola nera è dotata di quattro porte ottiche (A, B, C e D) per la luce e di due assi ottici (Fig. 2). Gli assi ottici sono perpendicolari tra loro. C'è al massimo un elemento ottico dietro ciascuna delle porte e un altro al centro della scatola. Per ruotare sul suo asse il laser è possibile utilizzare il laser e la rotella del supporto laser (su cui si possono apporre segni con una matita).

Materiale (vedi anche la Fig. 4)

- A Scatola nera
- B Modulo laser sul supporto con rotella (lo stesso modulo laser viene utilizzato per entrambi gli esperimenti, da posizionare sulla superficie del tavolo)
- C Blocco trasparente
- D Nastro adesivo, matita, righello, carta con scala diagonale

Non guardare direttamente il raggio laser e assicurati che non colpisca altre persone. Non guardare nelle porte ottiche della scatola se il laser è acceso e spegni il laser quando non è necessario.

Domanda E2.1 - Elemento centrale (~0.3 pts)

I due assi ottici si incrociano al centro della scatola nera. All'incrocio potrebbe trovarsi: nessun elemento, uno specchio completamente riflettente (su entrambi i lati), uno specchio semitrasparente o un prisma a forma di triangolo regolare.

Determina quale elemento è posizionato al centro della scatola nera. Descrivi il suo orientamento verso le porte ottiche (A, B, C, D), ad esempio utilizzando uno schizzo. Giustifica le tue scelte.

Domanda E2.2 - Elementi negli slot restanti (~2.2 pts)

C'è un elemento elencato nella Tabella 1 in ciascuno dei quattro slot dietro le porte ottiche A, B, C, D, rispettivamente.

Determina per ogni slot il tipo di elemento presente. Giustifica le tue scelte.

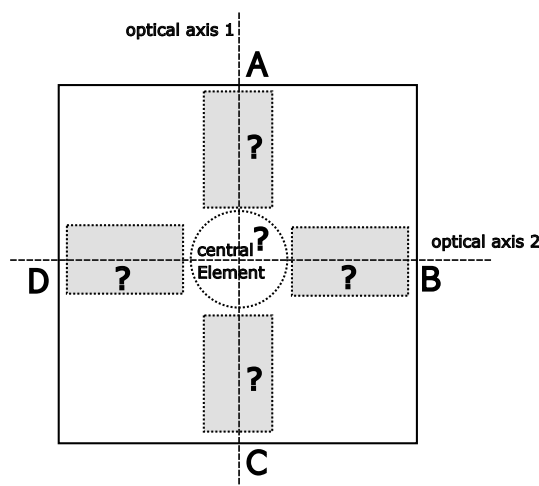


Figure 2: Disposizione della scatola nera e degli slot degli elementi sconosciuti

Table 1: Elementi possibili negli slot della scatola nera

nessun elemento	c'è solo aria nella fessura
specchio	angolo tra l'asse dello specchio e uno degli assi ottici
prisma	angolo tra uno dei suoi lati e uno degli assi ottici della scatola nera, a forma di triangolo regolare
lente concava o convessa	distanza dal centro della scatola, valore e segno della lunghezza focale. <i>Nota: Gli assi delle lenti sono sempre lungo gli assi ottici.</i>
polarizzatore	angolo di orientamento rispetto all'asse verticale della scatola nera
singola fenditura sottile	distanza dal centro della scatola, larghezza della fenditura
reticolo di diffrazione	distanza dal centro della scatola, direzione delle fenditure, distanza tra le fenditure
foro circolare	distanza dal centro della scatola, diametro del foro

Domanda E2.3 - Proprietà (~7.5 pts)

Nella Tabella 1, si trova una seconda colonna contenente le proprietà caratteristiche dei possibili elementi.

Determinare le proprietà caratteristiche degli elementi ottici utilizzati all'interno della scatola negli slot A, B, C e D. **nel modo più preciso possibile.**

Suggerimenti importanti:

- La lunghezza d'onda del laser è (650 ± 5) nm.
- L'indice di rifrazione degli elementi trasparenti può essere assunto pari a 1.5.

Foto dei materiali e del dispositivo sperimentale

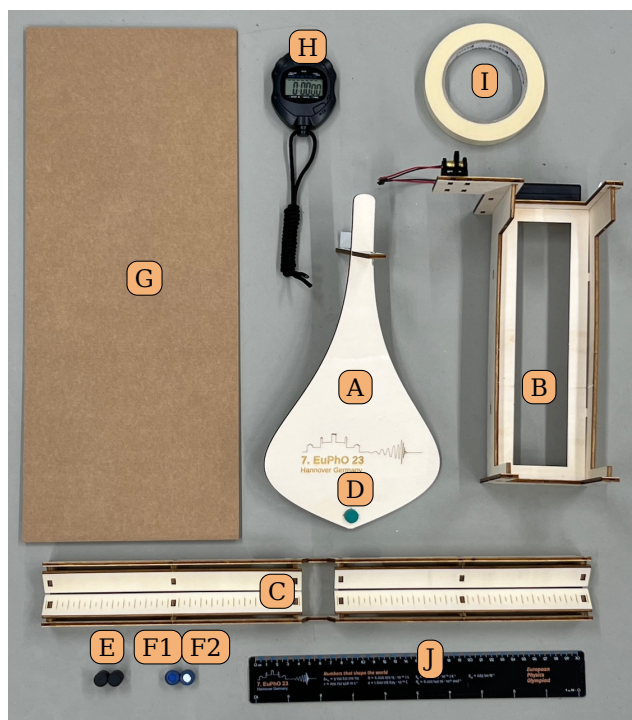
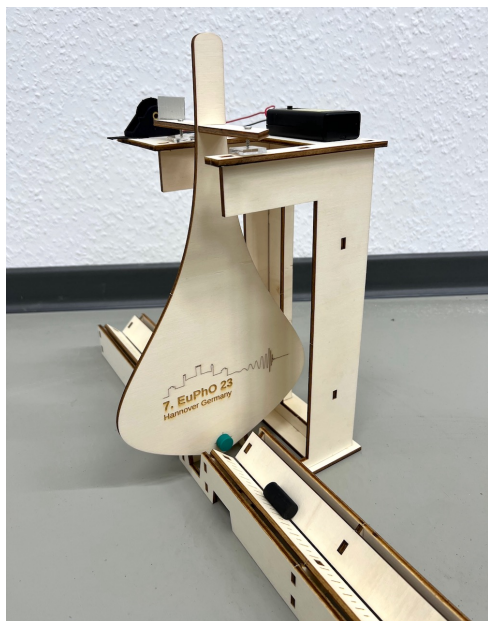


Figure 3: Setup e apparecchiatura per il problema sperimentale E1.

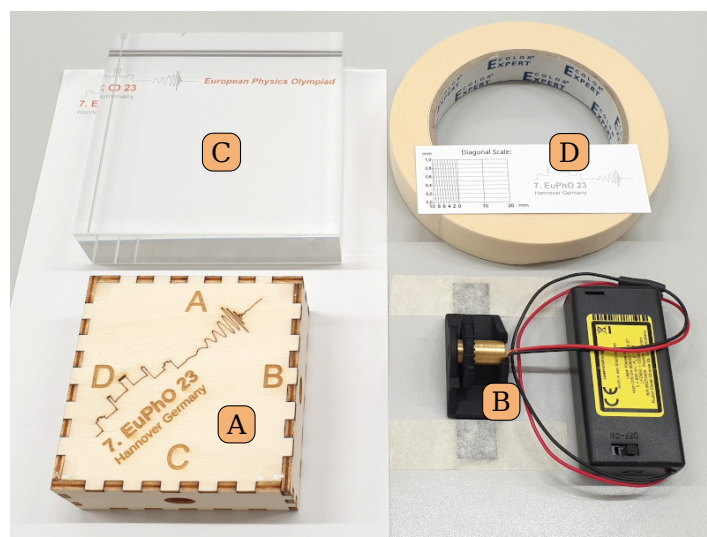


Figure 4: Setup e materiale per il problema sperimentale E2.

Nota: È possibile fissare il modulo laser al tavolo utilizzando il nastro adesivo - vedere D.

Nota: il modulo laser è inizialmente montato sulla configurazione per E1. È necessario toglierlo per poterlo utilizzare per E2. È anche possibile rimetterlo a posto (facendo attenzione all'allineamento) quando si desidera tornare a E1.