
Anno Accademico 2003-2004

Prof. Claudio Luci

Laboratorio di Termodinamica

http://www.roma1.infn.it/people/luci/corso_labotermo.html

- Introduzione al corso
- Richiami di termologia
- Termometri
- Calorimetria
- Primo principio della termodinamica
- Leggi dei gas
- Secondo principio della termodinamica
- Gas reali
- Teoria cinetica dei gas
- Fenomeni di trasporto
- Sistemi da vuoto

Introduzione al corso

■ **Conoscenze richieste**

Sono richieste le conoscenze dei corsi di Matematica e Fisica precedenti ed in particolare del corso di Termodinamica ed Energetica. Nelle prove di laboratorio vengono utilizzati i metodi già appresi di trattazione statistica degli errori e dei dati sperimentali.

■ **Contenuti del corso**

Il corso è finalizzato allo studio sperimentale di alcuni fenomeni fondamentali di termologia e termodinamica, nonché all'apprendimento degli elementi introduttivi della fisica e tecnologia del vuoto. Il corso è basato su alcune esercitazioni di laboratorio.

■ **Alla fine del corso gli studenti dovrebbero**

Alla fine del corso gli studenti dovrebbero saper progettare e realizzare in laboratorio semplici esperienze di termologia e termodinamica.

■ **Modalità del corso e delle prove d'esame**

Il corso consiste di 30 ore di lezioni, 24 ore di esercitazioni di laboratorio a gruppi di 2-3 studenti, con relative relazioni, da compilare su un quaderno personale dello studente e di 4 ore dedicate ad una prova pratica individuale. Per l'acquisizione dei crediti è necessario superare una prova individuale di laboratorio (voto minimo per l'ammissione all'orale: 15/30), aver frequentato regolarmente le esercitazioni di laboratorio, riportate sul quaderno individuale (numero massimo di assenze: 1) ed una prova orale finale.

■ **Voto finale:**

Al voto finale concorreranno i voti riportati sul quaderno individuale, il voto della prova pratica individuale ed il voto della prova orale finale.

Finalità del corso:

- Un corso di laboratorio deve insegnare agli studenti le metodologie necessarie per effettuare degli esperimenti in grado di verificare delle leggi fisiche ricavate in base a considerazioni teoriche di carattere generale, oppure trovare delle leggi empiriche che governano un dato fenomeno e trovare il valore sperimentale dei parametri che caratterizzano tale leggi.
- Nel fare ciò lo studente, ed in genere qualsiasi sperimentatore, si imbatte in due grandi difficoltà che non si incontrano di solito nei corsi di fisica generale: gli **errori di misura** degli strumenti e/o gli errori stocastici inerenti al processo di misura e la **presenza di effetti secondari** che alterano il processo di misura e dei quali occorre ridurre gli effetti oppure tenerli nel dovuto conto nella fase di analisi dei dati. Un esempio di tali effetti secondari è l'attrito, che in genere nella trattazione teorica del fenomeno fondamentale viene trascurato. Ad esempio in termodinamica viene spesso usato il dispositivo costituito da un cilindro contenente del gas e chiuso da un pistone che può scorrere senza attrito, ma che naturalmente non fa uscire il gas dal cilindro. Come vedremo in due delle esperienze di questo corso, questa condizione è tutt'altro che semplice dall'essere realizzata sperimentalmente.
- La "bravura" di un fisico sperimentale consiste quindi nel tenere conto nel modo dovuto di tutti gli errori, siano essi di misura, statistici e sistematici, e nel ridurre gli effetti secondari con un apparato sperimentale opportuno.

Suggerimenti generali per la realizzazione di un esperimento

- Nella realizzazione di un esperimento è bene seguire alcune regole generali, sebbene ogni esperimento costituisca un caso a sé stante:
 1. Conoscere a fondo la trattazione teorica del fenomeno che si vuole misurare e di tutti i fenomeni secondari presenti (se c'è attrito non potete far finta che non ci sia)
 2. Studiare un procedimento di misura ed un apparato sperimentale che vi permetta di verificare il vostro fenomeno riducendo al massimo nello stesso tempo gli altri effetti secondari.
 3. Cercare di valutare la precisione (errore) che volete, o dovete, raggiungere sul risultato finale e scegliere quindi gli strumenti di misura che abbiano una precisione tale da raggiungere il vostro scopo.

Nelle esperienze di laboratorio non potete in genere scegliere gli strumenti più opportuni; dovete comunque conoscere gli errori di misura di questi strumenti per risalire all'errore che commetterete nella vostra misura. Ignorare questo aspetto è un grave errore.
 4. Fatto ciò inizia la fase di presa dati. Qui interviene la “manualità” dello sperimentatore, la sua pignoleria, accuratezza, profondità, meticolosità. In genere uno sperimentatore superficiale, frettoloso e poco attento rischia di commettere degli errori. Tutti i dati presi vanno opportunamente registrati, insieme con le condizioni sperimentali generali, nel vostro “diario di bordo” (logbook)
 5. Durante la presa dati occorre fare un'analisi degli stessi, grossolana ma veloce, in tempo reale (online) che permetta di scoprire eventuali errori nella presa dati, oppure la necessità di prendere dati in condizioni diverse, ed effettuare quindi le nuove misure necessarie.

6. Terminata quindi la “campagna di misure”, si procede all’analisi dati successiva (offline), dove andranno applicate le opportune tecniche di analisi statistica dei dati. In questa fase occorre anche valutare la presenza di errori sistematici, correggerli se possibile, oppure valutarne l’entità ed includere questa incertezza nell’errore finale.
 7. Occorre infine trarre delle conclusioni dall’esperimento effettuato. La prima conclusione ovvia è il valore trovato, con il suo errore, della grandezza che si voleva misurare. Si può quindi discutere se il nostro esperimento verifichi o meno l’ipotesi teorica di partenza e con quale significatività statistica. Si possono eventualmente suggerire dei cambiamenti all’apparato sperimentale che permettano di migliorare la bontà della misura. Oppure si può concludere di aver fatto una nuova scoperta!
 8. Ultima parte dell’esperimento, da non trascurare affatto, è la scrittura del “lavoro”. Questa consiste nella pubblicazione su una rivista scientifica da parte del ricercatore e nella scrittura della relazione da parte degli studenti. Quest’ultimo passo è in genere “odiato” da tutti, sia dagli studenti che dai ricercatori affermati, tuttavia senza quest’ultimo sforzo tutto il resto sarà stato inutile!
- La progettazione, realizzazione ed esecuzione di un esperimento è, a mio giudizio, difficile da insegnare in quanto non ci sono regole ferree valide per tutte le situazioni, ma occorre soprattutto, da parte dello studente, esercitare molto buon senso, elasticità mentale, inventiva e fantasia. Gli studenti in genere reagiscono “male” a queste sollecitazioni e preferiscono la strada sicura della regola matematica; tuttavia la valenza positiva che fa sì che in generale un fisico si adatti facilmente a qualsiasi contesto lavorativo e/o di ricerca, risiede proprio nell’abitudine a lavorare senza “regole” preconcepite.

Quaderno di laboratorio (logbook) e relazione di laboratorio

- Occorre innanzitutto fare una distinzione tra il quaderno di laboratorio (logbook) e la relazione di laboratorio. Il logbook va riempito durante lo svolgimento dell'esperimento. Nel logbook vanno riportati:
 - Una descrizione dell'apparato sperimentale
 - Gli strumenti utilizzati con le loro caratteristiche
 - Una descrizione del procedimento di misura
 - Una o più tabelle con i dati dell'esperimento
 - Uno o più grafici che permettano un controllo immediato se i dati seguono l'andamento previsto o meno. Non è necessario a questo livello un'analisi statistica accurata.
 - Una prima stima, anche senza errori, della grandezza che si vuole misurare.
- E' importante imparare a registrare accuratamente tutti i dati sperimentali, così come sono stati misurati, in modo che chiunque altro possa comprenderli ed utilizzarli (ad esempio se vuole ripetere il vostro esperimento).
- I dati vanno registrati tenendo conto del corrispondente errore di misura. Come regola, non ferrea, si possono utilizzare due cifre significative per l'errore.
- Il logbook costituisce la base di partenza per la stesura della relazione di laboratorio, quindi tanto più esso sarà ordinato e completo, tanto più sarà facilitata l'analisi dei dati offline e la scrittura della relazione.
- **Per ogni esperienza va consegnata la relazione di laboratorio, sulla quale avrete un voto. In questo corso dovete consegnare la relazione entro 2 giorni. Chi la consegna entro 1 giorno avrà un bonus di 1 punto, mentre per ogni giorno di ritardo ci sarà una penalità di 1 punto.**

Suggerimenti per la scrittura della relazione di laboratorio

- In genere gli studenti al secondo anno di fisica non hanno molta familiarità con la scrittura di una relazione di laboratorio. E' importante tuttavia imparare a scrivere una relazione scientifica in quanto risulterà utile sia per i laboratori successivi che per la scrittura della tesi, ed eventualmente anche per la compilazione di relazioni scientifiche durante la vita professionale.
- La prima regola base da seguire per la scrittura di una relazione scientifica è che questa deve essere "anonima", non deve cioè rivelare le emozioni o l'identità dello scrittore. Questo vuol dire ridurre allo stretto necessario l'uso degli aggettivi o di qualunque altro commento soggettivo. Questo può sembrare un suggerimento "stupido", ma ho visto molte relazioni che descrivevano lo stato d'animo degli studenti durante la presa dati, o che commentavano il risultato finale dicendo che era "bello".
- Non va scritta una lettera al professore !!!
- Una buona relazione scientifica deve spiegare l'esperimento che avete realizzato, e deve mettere in grado il lettore di riprodurre i vostri dati e/o l'analisi degli stessi.
- La relazione deve spiegare cosa volete misurare, perché volete farlo, come lo avete fatto e cosa avete ottenuto.
- La relazione deve essere succinta ma completa. E' importante che il risultato finale sia indicato chiaramente con il proprio errore.

Relazione

- Ecco alcuni suggerimenti generali per la scrittura della relazione, che vanno interpretati dallo studente caso per caso:

1. Introduzione teorica:

descrivete brevemente cosa volete misurare e perché, oppure quale relazione teorica volete verificare. Non dovete scrivere nessuna dimostrazione, ma limitatevi a riportare la formula finale, illustrando eventualmente i parametri che la caratterizzano e/o i limiti di validità di applicazione.

2. Procedimento di misura:

illustrate il procedimento di misura che si vuole adottare. In genere questo aiuta a capire la descrizione successiva della presa dati.

3. Descrizione dell'apparato sperimentale:

descrivete brevemente l'apparato sperimentale utilizzato, le caratteristiche degli strumenti e qualunque altra informazione utile per riprodurre l'esperimento da voi effettuato.

4. Descrizione della presa dati:

descrivete la procedura da voi seguita per la presa dati, discutete gli errori che attribuite alle varie grandezze, riportate una o più tabelle di dati delle vostre misure.

Relazione

5. Analisi dei dati:

descrivete il tipo di analisi dati che avete effettuato. Nella maggior parte dei casi avrete a che fare con delle relazioni lineari delle quali dovrete trovare il coefficiente angolare tramite un fit con i minimi quadrati. Indicate il tipo di fit effettuato indicando la grandezza che volete minimizzare. Non ha alcuna importanza se il fit lo avete fatto con xcel, con la calcolatrice, o con altri programmi. Ha importanza che voi sappiate cosa state facendo. Riportate uno o più grafici che descrivono i vostri dati includendo nel grafico anche la retta risultante dal fit. Illustrate le successive elaborazioni che conducono al risultato finale.

6. Conclusioni e Commenti:

riportate chiaramente il risultato finale da voi trovato. Aggiungete poi ogni tipo di commento volto alla comprensione del risultato, oppure a come migliorare la misura. Potete fare ad esempio un'analisi dei vari errori che concorrono all'errore finale per determinare la causa dominante, e così via. E' molto importante che il risultato finale sia chiaramente indicato; ho letto delle relazioni di più di 10 pagine in cui non sono riuscito a trovare quale fosse stato il risultato della misura.

Voto sulla relazione:

- La valutazione della relazione è ovviamente soggettiva, tuttavia voglio provare ad indicare alcuni criteri da me seguiti. Ad ogni relazione attribuisco 4 voti in base ai seguenti criteri:
- **Stesura della relazione, 0 ÷ 10**
attribuisco un voto, da 0 a 10, in base alla chiarezza espositiva della relazione, l'ordine, la pulizia, la proprietà di linguaggio.
- **Presenza dati, 0 ÷ 10**
questo voto tiene conto della procedura della presa dati, di come sono stati valutati gli errori, di eventuali accortezze sperimentali per ridurre effetti sistematici e di qualunque altra cosa legata alla fase sperimentale.
- **Analisi dei dati, 0 ÷ 10**
questo voto tiene conto dell'analisi dei dati. Del tipo di fit effettuato, della valutazione dei residui, di eventuali test di ipotesi, del tipo di linearizzazione effettuata, della valutazione degli errori del fit e di qualunque altra cosa concernente l'analisi dei dati.
- **Commenti, 0 ÷ 5**
la somma dei voti precedenti assomma a 30, ai quali va aggiunto un bonus da 0 a 5 punti che tiene conto di eventuali commenti originali sull'esperienza, del tipo di quelli brevemente accennati in precedenza.
- **Tempo di consegna.**
Va poi tenuto conto il tempo di consegna: 1 giorno: +1; 2 giorni: 0; 3 giorni: -1; 4 giorni: -2 e così via.

Richiami di analisi dati

- Errore massimo -> errore statistico
- Propagazione dell'errore statistico
- linearizzazione
- Minimi quadrati
- Minimi quadrati con errore sulle X e sulle Y
- Residui
- Fit lineare a due parametri ed ad un parametro
- Fit "pesato" (importante quando si linearizza il log)
- Test di ipotesi
- Cifre significative
- Uso dei sottomultipli delle unità di misura
- Tabella con i dati e gli errori