

Equilibrio Termico tra Due Corpi



OBIETTIVO

L'attività ha l'obiettivo di fare acquisire allo sperimentatore la consapevolezza che:

- 1 il raggiungimento dell'equilibrio termico non è istantaneo
- 2 studiare l'equilibrio termico tra due corpi è più semplice se essi sono isolati termicamente dall'ambiente esterno
- 3 il fenomeno può essere modellizzato utilizzando una funzione esponenziale

Questa esperienza consiste nel seguire la dinamica di riscaldamento e di raffreddamento di due oggetti che possono scambiare calore all'interno di un contenitore adiabatico. Si misurano simultaneamente le due temperature in funzione del tempo.

ALCUNI ASPETTI TEORICI

Se un corpo di massa m_1 , alla temperatura T_1 , viene messo in contatto termico con un altro corpo di massa m_2 , alla temperatura T_2 diversa da T_1 , ha luogo un passaggio di calore dal corpo a temperatura più alta a quello a temperatura più bassa. Il flusso di calore termina non appena i due corpi hanno la stessa temperatura T_e , cioè hanno raggiunto l'equilibrio termico.

Se i due corpi sono contenuti in un recipiente adiabatico non vi sono perdite di calore nell'ambiente esterno, per cui tutto il calore ceduto dal corpo più caldo viene assorbito da quello più freddo.

Detto Q_1 il calore ceduto del primo corpo, e c_1 il calore specifico del materiale di cui è costituito, si avrà

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_1 - T_e) \quad (1)$$

Detto Q_2 il calore acquisito dal secondo corpo, e c_2 il calore specifico si avrà

$$Q_2 = m_2 c_2 (T_e - T_2) \quad (2)$$

Eguagliando le quantità Q_1 e Q_2 e risolvendo rispetto alla temperatura di equilibrio T_e si ottiene:

$$T_e = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \quad (3)$$

Il caso più semplice si ha quando i due corpi sono uguali, cioè sono costituiti dallo stesso materiale

(quindi hanno lo stesso calore specifico) ed hanno esattamente la stessa massa. In questo caso la temperatura di equilibrio risulta uguale alla media delle temperature iniziali dei due corpi.

E' interessante studiare la dinamica del fenomeno. Il raffreddamento ed il riscaldamento dei due corpi sono descritti da una funzione esponenziale.

Detta ΔT la differenza tra la temperatura istantanea del corpo e la sua temperatura all'equilibrio, e ΔT_0 la stessa differenza all'istante iniziale, risulta:

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-ht} \quad (4)$$

Il parametro h dipende dalla geometria del sistema ed è tanto più elevato quanto più rapidi sono gli scambi termici.

Il valore di h può essere determinato linearizzando la curva descritta dall'equazione (4); passando ai logaritmi si ottiene infatti:

$$\ln(T - T_e) = \ln(T_0 - T_e) - ht \quad (5)$$

che è formalmente analoga all'equazione di una retta con coefficiente angolare pari ad h .

ASPETTI SPERIMENTALI

Abbiamo provato questa esperienza cercando di trovare soluzioni sempre migliori e più adatte ad un'esecuzione che da una parte fosse semplice e dall'altra fornisse dati abbastanza accurati per la costruzione di un modello matematico preciso.

Nelle misure calorimetriche classiche si rinuncia a seguire la dinamica del fenomeno. La strumentazione *on-line* permette invece di esaminare l'andamento delle temperature istante per istante e di comprendere meglio le condizioni attraverso le quali si raggiunge l'equilibrio e studiare come e quanto il fenomeno reale si discosti dal modello teorico.



Abbiamo provato a far scambiare calore tra due liquidi, senza mischiarli confinandone uno dentro un palloncino. Come ambiente adiabatico abbiamo utilizzato un thermos a pozzetto, come mostrato nella foto. Questo sistema ha il pregio di essere facilmente ricostruibile anche in assenza di un laboratorio dedicato, ma si è rivelato poco adiabatico; l'analisi dei dati risulta perciò abbastanza complessa. Inoltre possono sorgere dei problemi di posizionamento delle sonde e le misure risultano falsate se esse toccano le pareti del recipiente o i bordi del palloncino.



Abbiamo provato anche a far costruire dei cilindri metallici, opportunamente forati in modo da poter inserire le sonde di temperatura. Anche questo sistema presenta gli stessi problemi del precedente; inoltre è poco flessibile perché non permette di variare le quantità ed i materiali liberamente.



Il sistema che sinora ci è sembrato migliore è costruito da contenitori di polistirolo per alimenti recuperati. E' un sistema molto flessibile e permette molte varianti dello stesso esperimento. Abbiamo messo dell'acqua, a temperatura leggermente inferiore alla temperatura ambiente, direttamente dentro il contenitore ed una stessa quantità d'acqua calda all'interno di un bicchiere rinforzato, di quelli che vengono usati per le bevande calde. In questo modo lo scambio termico è molto lento ed il tempo necessario perché si raggiunga la temperatura di equilibrio è molto lungo, ma questo non presenta un problema se si dispone di un sistema di acquisizione dati automatico.

Per la misura occorrono

- 1 due sonde di temperatura
- 2 un contenitore di polistirolo
- 3 un tappo di polistirolo forato per far uscire i cavi delle sonde
- 4 uno o più bicchieri di plastica o di polistirolo
- 5 dell'acqua fresca (qualche decina di gradi inferiore alla temperatura ambiente)
- 6 dell'acqua calda
- 7 eventualmente altri liquidi a diverse temperature

Esecuzione

- 1 Predisponi il sistema per l'acquisizione
- 2 Inserisci i due termometri nel tappo forato e sistemali in modo da misurare le temperature dell'acqua contenuta nel bicchiere e direttamente nel recipiente
- 3 Metti l'acqua calda nel bicchiere e l'acqua fredda nel contenitore
- 4 Inizia l'acquisizione (se non sai come predisporre l'esperimento vai alla guida)

Abbiamo acquisito le temperature ogni 60 secondi per 120 volte. La misura quindi è durata 2 ore. Ripeti l'esperienza cambiando liquido.

Come sono venuti i tuoi grafici?

Se vuoi confrontali con i nostri; se non hai la possibilità di fare l'esperimento puoi utilizzare i nostri dati (data sample).

L'insegnante può trovare alcuni suggerimenti nella parte relativa alle considerazioni didattiche.

GUIDA PASSO-PASSO ACQUISIZIONE DATI CON TI84 E DATAMATE

Acquisizione dati (TI84)

In questo esperimento misuriamo istante per istante le due temperature rilevate dalle sonde.

Le misure possono essere impostate utilizzando il programma DataMate.
Per saper come caricarlo sulla calcolatrice si può vedere la finestra d'aiuto.

La procedura sperimentale consiste di due parti: preparazione ed acquisizione dati.

Preparazione:

- Connetti tutti i cavi:
 - la calcolatrice all'interfaccia con il cavo nero (foto)
 - le tre sonde ai tre ingressi CH1, CH2
 - Sistema i materiali:
 - 3 riempi in bicchiere ed il contenitore con stesse quantità di acqua calda e fredda
 - 4 Lancia il programma DataMate
- compare la scritta CHECKING SENSOR
si legge CH 1: TEMP (C) - CH 2: TEMP (C)
vicino all'indicazione del canale si legge la temperatura rilevata dalla sonda collegata

Adesso occorre impostare la misura

Scegli 1:SETUP digitando 1

dal menu' scegli MODE:TIME GRAPH col cursore, poi ENTER

dal MENU' SELECT MODE scegli 2:TIMEGRAPH

scegli 2:CHANGE TIME SETTINGS

compare ENTER TIME BETWEEN SAMPLE digita 60

compare ENTER NUMBER OF SAMPLES digita 120 quindi ENTER

per confermare scegli 1:OK digitando 1

inserisci le sonde nel contenitore

ed inizia la misura scegliendo 2:START

ripeti la misura con gli altri liquidi

mentre avviene la misura il sistema mostra il grafico della temperatura delle due sonde in tempo reale;
al termine della misura il grafico viene riscaldato.

i dati di nostro interesse sono registrati nelle liste

1 L1 tempo

2 L2, L3, temperatura

Per vedere il grafico che abbiamo ottenuto fai un click qui o vai al documento EXCEL.

Conviene predisporre il sistema in modo che la temperatura finale sia prossima alla temperatura ambiente in modo che gli scambi tra il contenitore e l'ambiente esterno non siano troppo veloci. Per questo motivo è bene utilizzare acqua calda ed acqua tenuta in frigorifero per qualche ora.

Prima di iniziare ad acquisire è bene aspettare qualche minuto che il sistema si stabilizzi.

DATI CAMPIONE

I dati raccolti sono stati ottenuti con

- 1 Calcolatrice grafica TI84 Plus SI
- 2 Interfaccia CBL2 (foto)
- 3 Programma DATAMATE, disponibile sul sito (download)
- 4 Due sonde di temperatura
- 5 Cavo di collegamento tra interfaccia e calcolatrice (foto)

Per i collegamenti col Personal Computer (opzionale)

- 1 Cavo TI-GRAPH LINK™ (foto)
- 2 software TI Connect™ – descritto sul sito TI all’indirizzo
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/software.html> and download:
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/download.html>

I dati originali raccolti con la calcolatrice TI84-plus si trovano nelle liste

- 1 L1 gli istanti di tempo, in secondi
- 2 L2, L3, le temperature in °C

I dati in formato EXCEL si trovano nei documenti equ2.xls e equ3.xls

ANALISI ED ELABORAZIONE DATI CON LA CALCOLATRICE

L’elaborazione dati con la calcolatrice è piuttosto complessa perché richiede la selezione dei dati, il calcolo delle differenze di temperatura e il calcolo dei logaritmi; si suggerisce di trasferire i dati su PC e procedere all’elaborazione utilizzando programmi specifici o il foglio di calcolo.

ANALISI ED ELABORAZIONE DATI CON MS Excel™

La visualizzazione e l'analisi dei dati può essere fatta utilizzando programmi specifici di elaborazione dati ma anche con il foglio di calcolo MS Excel™.

Trasferimento dati al PC

Dopo che la misura è completata i dati sperimentali possono essere trasferiti dalla calcolatrice grafica al PC attraverso il cavo TI GRAPH LINK™ utilizzando il software TI Connect che permette di esplorare il contenuto della calcolatrice (TI DEVICE EXPLORER) e di editare i dati (TI DATA EDITOR).

I dati si trovano nelle liste della calcolatrice

- la lista L1 contiene i tempi
- le liste L2, L3 le temperature

Le istruzioni passo-passo per effettuare il trasferimento dei dati dalla calcolatrice al PC sono disponibili nella finestra di aiuto.

All'interno del programma TI Connect™ - usando l'opzione TI DEVICE EXPLORER - si possono salvare le liste della calcolatrice sul PC.

Si può visualizzare e modificare il contenuto delle liste usando TI DATA EDITOR.

Da qui, coi comandi Copia ed Incolla si possono portare all'interno di un foglio MS Excel™. Per la

versione italiana è necessario cambiare i punti con le virgole.

Il documento MS Excel™ con i dati campione e le elaborazioni è disponibile qui.

Elaborazioni:

In effetti il sistema anche dopo 2 ore non è ancora arrivato all'equilibrio termico. Le temperature differiscono per più di 1°C.

Calcoliamo la media tra le due temperature finali ed assumiamo questo valore come temperatura finale (Te nelle formule).

In altre due colonne calcoliamo ΔT , utilizzando le formula

$$\Delta T_1 = T_1 - T_e$$

per il corpo a temperatura superiore, che quindi si raffredda

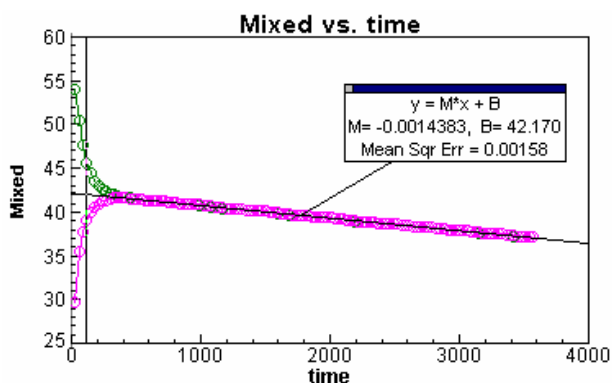
$$\Delta T_2 = T_e - T_2$$

per il corpo a temperatura inferiore, che quindi si riscalda

In altre due colonne calcoliamo il logaritmo naturale di ΔT_1 e ΔT_2 .

Riportando in un grafico il logaritmo di ΔT_1 e ΔT_2 in funzione del tempo si vede che l'andamento, almeno per la parte centrale dei dati, è di tipo lineare. Il foglio Excel ci consente di aggiungere una linea di tendenza e fornisce automaticamente i valori dei parametri della retta di interpolazione. Negli esempi riportati sul foglio Excel vengono mostrati grafici e le elaborazioni sia con l'intero insieme di dati raccolti che selezionando la sola parte centrale.

Se il sistema scambia calore troppo rapidamente con l'esterno si può osservare una deriva termica.



Nei calcoli occorre fare attenzione a valutare la temperatura di equilibrio e a scegliere l'intervallo nel quale modellizzare la curva.

DIDATTICA – SUGGERIMENTI PER IL DOCENTE

A seconda del sistema utilizzato questa misura può durare molto tempo. E' opportuno quindi avviare l'esperienza e prevedere nel frattempo un'attività diversa per il gruppo classe.

Per fare questa serie di misure si può dividere la classe in gruppi ed affidare ad ognuno di un sistema diverso. E' utile chiedere agli studenti di preparare il sistema adiabatico da soli utilizzando materiali della vita quotidiana. Si possono usare vari recipienti (thermos a pozzetto, contenitori di diversi materiali, scatole di polistirolo di diverse forme) che possono essere più o meno adiabatici; possono variare i liquidi (acqua, olio, alcol per citare solo i più comuni); può variare anche il contenitore per il secondo liquido (un palloncino, dei bicchieri isolanti o non isolanti); possono variare le quantità di liquido utilizzate. Ogni gruppo deve avere cura di misurare ed annotare le quantità di liquido utilizzate; queste vanno scelte anche in base al sistema che si utilizza.

Si possono completare le misure impostando una misura molto lunga (12-16 ore) di un po' di acqua calda messa semplicemente all'interno di un bicchiere. E' sorprendente quanto siano lunghi i tempi necessari per il raggiungimento dell'equilibrio termico con l'ambiente.

Diversificando le attività si stimolano gli studenti alla ricerca delle analogie e delle differenze tra un caso e l'altro. Dopo la raccolta dati e la sua analisi ogni gruppo presenta e mette a disposizione dei compagni i risultati ottenuti; in questo modo il docente stimola la discussione ed invita tutti gli studenti al confronto fra i vari casi. In questo modo si abituanano gli studenti al confronto ed alla collaborazione; questi sono elementi che fanno parte della ricerca scientifica.

In questo modo possono essere chiariti e rinforzati i concetti di:

- 1 Sistema adiabatico (si vede che un sistema perfettamente adiabatico nella realtà non esiste, si osserva sempre una deriva nella temperatura)
- 2 Equilibrio termico (si osserva che l'equilibrio termico non è immediato; i sistemi per entrare in equilibrio possono avere bisogno anche di molto tempo; questo aspetto è spesso trascurato nella trattazione teorica della termodinamica che tipicamente tratta solo di fenomeni quasistatici)
- 3 Calore specifico
- 4 Capacità termica
- 5 Trasmissione di calore.

Questa esperienza fornisce un ottimo esempio di un fenomeno che diventa man mano in cui l'andamento decresce in modo continuo.

Costituisce un'occasione per parlare degli andamenti di tipo esponenziale che si trovano molto frequentemente nella descrizione di fenomeni che appartengono a settori della fisica (la scarica di un condensatore, lo svuotamento di un tubo pieno d'acqua,...).

L'analisi dei dati può essere fatta in maniera diversa a seconda dell'età degli studenti. Per studenti più giovani sarà sufficiente la descrizione delle curve di raffreddamento e di riscaldamento ed il confronto tra i vari casi; per studenti con maggiori competenze matematiche si può arrivare alla linearizzazione del fenomeno ed alla determinazione dei parametri del modello.

Queste esperienze sono descritte in parte anche in:

M.Branca, I.Soletta, Esperimenti on-line sull'equilibrio termico, Ipotesi, anno 4, n°1, 2001, pag. 14.

G.Pezzi, Esperimenti on-line sul raffreddamento di un corpo, Ipotesi, anno 1, n°1, 1998

<http://www.fisica.uniud.it/irdis/Termologia/Equilibrio2Corpi/Presentazione.htm>