

OLIMPIADI DI FISICA 2001

19 Aprile 2001

SOLUZIONE della Gara Nazionale (Sperimentale)

SOLUZIONE della PROVA SPERIMENTALE

Temperatura superficiale di una lampadina

(1). La taratura della termocoppia (che d'ora in poi indicheremo con il simbolo abbreviato TC) si esegue immergendo questo termometro non tarato, assieme al termometro tarato, cioè quello a mercurio, nell'acqua a varie temperature. Quest'ultima viene ottenuta mescolando acqua calda e acqua fredda, in maniera da poter coprire un intervallo da circa 30°C a circa 60°C . Per la buona riuscita della taratura è essenziale che i due bulbi siano molto vicini (può essere utile servirsi dello scotch per fissare le parti superiori dei termometri), e che vengano tenuti in acqua per un tempo abbastanza lungo in maniera che anche il termometro a mercurio, che ha capacità termica molto maggiore dell'altro, abbia il tempo per andare all'equilibrio con l'acqua circostante. Per accelerare i tempi, l'insieme dei due termometri può venire mosso incessantemente, in maniera che lo scambio termico con l'acqua sia più efficace. Servendosi dei valori ottenuti si deve tracciare un grafico con la temperatura espressa in $^{\circ}\text{C}$ su un asse, mentre sull'altro va messa la d.d.p. espressa in mV. Se gli errori di misura sono piccoli, il grafico risulterà all'incirca lineare, quindi è possibile estrapolare abbastanza rigorosamente, anche perché è risaputo che la termocoppia usata (ferro-costantina) ha un comportamento lineare in un intervallo molto grande, anche se in questa sede non è stato possibile verificarlo. In effetti, la lampadina più calda risulta avere una temperatura di poco superiore ai 100°C , e quindi è sicuramente dentro l'intervallo di linearità, in base ai valori dei manuali. La pendenza della retta interpolatrice, trovata sperimentalmente, si aggira attorno a $0.051 \div 0.053 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. La precisione delle misure di temperatura con la TC è inferiore a quella con il termometro, in quanto oltre all'incertezza della TC si somma anche l'incertezza del termometro a mercurio che è servito di confronto e che ha sensibilità di 1°C .

(2). Ci si può servire del pennarello per segnare i punti caratteristici sul bulbo della lampadina disposta in verticale, indi con il nastro adesivo trasparente si fissa l'estremità "nuda" della TC in uno dei punti prescelti, assicurandosi che il contatto termico col bulbo sia il migliore possibile. Per questo scopo, è forse meglio sovrapporre almeno un altro pezzetto di nastro adesivo al primo. Quando l'indicazione del millivoltmetro non aumenta più, si può leggere il valore in mV indicato dallo strumento, indi passare al valore in $^{\circ}\text{C}$, servendosi del grafico di taratura. Poi si cambia posizione e si procede nella stessa maniera per determinare le temperature degli altri punti caratteristici. Questi ultimi saranno stati scelti considerando la loro "diversità": ad esempio, il punto più alto del bulbo è senz'altro un punto caratteristico, poiché geometricamente e fisicamente è in una posizione molto speciale (infatti risulta essere sempre il punto più caldo, anche quando la lampadina è disposta in orizzontale, vedi punto 3), così pure i punti alla stessa altezza del filamento, in particolare quello di fronte ad esso, esattamente sull'asse, e quello dalla parte diametralmente opposta, e i due laterali che sono determinati dall'intersezione col bulbo della retta che passa per i due sostegni del filamento (lo schizzo della situazione aiuta molto a far comprendere quali sono i punti considerati dal singolo candidato). Almeno un altro punto caratteristico potrebbe essere individuato nella parte inferiore del bulbo, in prossimità dello zoccolo. È importante attendere alcuni minuti, con la TC sempre fissa in uno dei punti precedenti, per essere sicuri che la TC vada all'equilibrio termico. In un secondo momento può essere interessante eseguire quest'altro controllo: dopo 20 minuti, ad esempio, si può tornare sullo stesso punto con la TC per controllare se la temperatura segnata ha lo

stesso valore di prima. Tali prove permettono di stabilire il grado di stabilità del sistema e di rendersi conto delle cause che possono influenzare la variabilità del valore letto. Tali cause possono essere elencate come segue: TC che non era ancora all'equilibrio termico, TC che si è “scollata” dalla superficie, variazione della tensione di alimentazione, filamento che si è apprezzabilmente consumato, condizioni esterne mutate (perché l'ambiente ha cambiato temperatura, perché l'operatore si muove troppo in vicinanza della TC, ecc.). Ovviamente, se la TC è stata spostata da una misura all'altra è necessario che tale posizione sia stata individuata molto bene (ad esempio servendosi dei segni tracciati in precedenza), per ritrovare con buona precisione il valore di temperatura precedentemente segnato. Anche l'orientamento della TC stessa può influire sul valore letto dalla TC.

(3). Con la lampadina disposta in orizzontale la mappa delle temperature risulta alquanto diversa. Ora la temperatura più elevata non coincide con la punta della lampadina, bensì con la zona più alta. Oltre a questo punto caratteristico, si devono considerare altri punti: esattamente di fronte e di dietro, oltretutto di fianco al filamento (però ora è più difficile individuare i due punti contrapposti alle estremità del filamento, a meno che il filamento non sia esattamente orizzontale o verticale), poi uno o più punti attorno allo zoccolo.

(4). Sostituendo il nastro adesivo trasparente con quello nero (ma la sua caratteristica essenziale, qui, non è il colore, bensì la sua opacità!), si dovrebbe trovare che negli stessi punti segnati in precedenza col pennarello, sia nel caso della lampadina in verticale sia in orizzontale, la temperatura risulta un po' più elevata di alcuni decimi di mV.

QUESITI

Qp – Poiché il bulbo del termometro a mercurio non aderisce bene al bulbo della lampadina, data la forma geometrica convessa di entrambi, il suo contatto termico è pessimo. Questo termometro quindi misurerebbe una temperatura molto inferiore di quella effettiva della superficie. Anche la sua grande capacità termica, rispetto a quella della TC, lo rende meno utile poiché si dovrebbe aspettare un tempo troppo lungo per raggiungere l'equilibrio termico col bulbo.

Q1 – (a) Le estrapolazioni sono sempre azzardate, soprattutto dove i grafici hanno un andamento molto variabile.

(b) Quando il grafico è lineare e quando non ci si deve discostare tanto dalla zona in cui è stata effettuata la taratura, come nel nostro caso, l'incertezza dovuta a questa operazione è generalmente più accettabile.

Q2 (a) Essenzialmente vanno scelti per la loro “rappresentatività” sia di tipo geometrico (punti di simmetria geometrica del bulbo), sia di tipo termico (punti in cui la temperatura si può sospettare che sia diversa da quella degli altri punti, perché ad esempio “vedono” una zona più ampia e più ravvicinata di filamento).

(b) Sia le prove con la lampadina disposta in verticale sia in orizzontale (vedi al punto successivo) dimostrano che le differenze di temperatura sulla superficie della lampadina derivano da due meccanismi di trasporto di calore all'interno del bulbo: l'irraggiamento dovuto al filamento (e questo era ovvio) e la convezione dovuta al gas di riempimento (è questa una cosa forse non prevista, ma essenziale: se non ci fosse gas di riempimento, e quindi se non ci fossero i moti convettivi, come potrebbe essere spiegata la temperatura molto più alta che esiste alla sommità della lampadina, in entrambi i casi?). Soffermiamoci sui due meccanismi di cui sopra. Il filamento è indubbiamente ad altissima temperatura (maggiore in ogni caso di 700°C , poiché è incandescente) quindi emette molta radiazione e.m. perché vale all'incirca la legge di Stefan-Boltzmann, in cui P dipende dalla quarta potenza di T , cioè $P = KT^4$. La conclusione è che i punti del bulbo più vicini al filamento e che “vedono” una zona di filamento più ampia dovrebbero avere una temperatura maggiore. La convezione, come ognuno sa, è invece un meccanismo che avviene solo nei fluidi e che consiste nel nostro caso nel movimento verso l'alto (a causa della densità minore del gas caldo) del gas inerte con cui è riempito il bulbo. Questo, lambendo il filamento, viene riscaldato per contatto, quindi sale e si accumula nella parte alta della lampadina. E questo meccanismo è prevalente sull'altro, altrimenti non si spiegherebbe come mai all'altezza del filamento i punti che vedono per intero il filamento stesso (e che dovrebbero essere più caldi, per l'irraggiamento) hanno circa la stessa temperatura

dei punti molto laterali, alla stessa altezza, che vedono a malapena il filamento. (Facciamo notare che in commercio vi sono anche lampadine, in genere da 230 V e di potenza non superiore a 25 W, il cui bulbo è a vuoto, appunto per diminuire le perdite di calore dovute alla convezione).

Q3 – Le differenze di temperatura sono spiegabili anche in questo caso con i ragionamenti visti al punto precedente, anzi li confermano in pieno. La quantità di gas inerte presente all'interno del bulbo deve essere notevole, stante l'effetto globale assai rilevante, maggiore di quello dovuto all'irraggiamento. La conclusione più importante è la seguente: la temperatura massima non si ha più al vertice della lampadina, bensì nella zona più alta della stessa, a causa indubbiamente dei moti convettivi interni. In effetti, poiché la distribuzione dell'energia radiante proveniente dal filamento è identica, sia quando la lampadina è in verticale che in orizzontale, il solo motivo che giustifica tale differenza è proprio la diversa convezione, ovviamente tenendo presente che l'aria calda va sempre verso l'alto. Un altro parametro che influenza un po' la mappa delle temperature superficiali sul bulbo è la disposizione del sostegno della lampadina, vale a dire: se il ramo laterale della **L** è disposto orizzontalmente sul tavolo oppure in verticale. In linea di principio, anche i moti convettivi dell'aria che lambisce l'esterno del bulbo potrebbero un po' influenzare la temperatura superficiale delle varie parti del bulbo stesso (in qual senso è difficile dire, senza fare esperimenti oppure ragionamenti complessi). I candidati dovrebbero applicare i ragionamenti sopra riportati ai vari punti caratteristici da loro presi in considerazione.

Q4 – Poiché il nastro adesivo nero è opaco, blocca più radiazione di quello trasparente, il quale opaco non è, quindi la **TC** viene riscaldata di più. Questa considerazione permette tra l'altro di rendersi conto del bilancio energetico di una lampadina (qui non richiesto). In realtà, il vetro della lampadina coperto dal nastro "trasparente" lascia passare un 10 % circa – è questo l'ordine di grandezza dell'efficienza luminosa di una lampadina elettrica a filamento incandescente – della radiazione proveniente dal filamento, radiazione che per la maggior parte costituisce la luce visibile (in effetti, quest'ultima è un po' minore del 10 %, poiché il vetro blocca non da $0.7\ \mu\text{m}$ in su, bensì da circa $2\ \mu\text{m}$ in su). Questo 10 % non è una quantità trascurabile, quindi quando viene assorbito dal nastro opaco localmente la temperatura si innalza e perciò la **TC** indica un valore più elevato che nel caso del nastro adesivo trasparente.

Q5 – Probabilmente è più precisa la seconda misura perché il bulbo introdotto nel foro è a contatto termico migliore che il bulbo adagiato sulla superficie. In quest'ultimo caso, infatti, il bulbo misurerà una temperatura intermedia tra quella della superficie e quella dell'aria ambiente. Qui si dice che è probabile che sia così, però non è possibile affermarlo con sicurezza, poiché ad esempio il foro può essere troppo largo e impedire quasi completamente il contatto termico col bulbo.

Materiale prodotto dal gruppo



PROGETTO OLIMPIADI

Segreteria Olimpiadi Italiane della Fisica

presso Liceo Scientifico "U. Morin"

VENEZIA MESTRE

fax: 041.584.1272

e-mail: olifis@libero.it