

AI MIEI ALLIEVI DI QUARTA



Che facciamo di fisica in quarta?

Per gli appassionati: “cose molto interessanti”

Per i meno appassionati: “una fatica necessaria”

Per gli altri: “lavoriamo per imparare qualcosa: diciamo il minimo accettabile”.

Una notizia (ognuno decida se bella o brutta): la matematica è sempre necessaria.

Che ne dite?

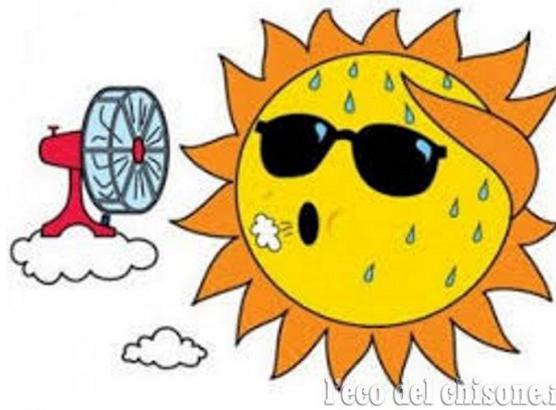
Domanda retorica: “partiamo?”



1) UNA SENSAZIONE DA TRASFORMARE IN GRANDEZZA FISICA



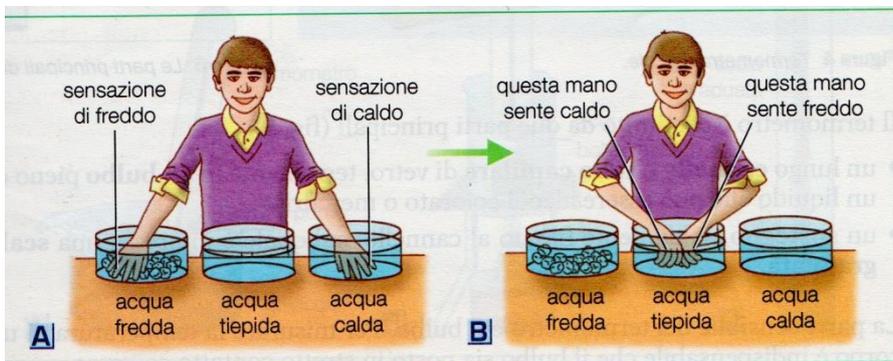
Non abbiamo nessun dubbio nell'affermare che un bicchiere con cubetti di ghiaccio d'estate La e freddo



è freddo mentre il sole è caldo. sensazione di caldo tuttavia non è univoca: lo stesso ambiente può giudicato caldo da

essere qualcuno e freddo da qualcun altro.

Se ne avete voglia potete fare un facile esperimento. Preparate una bacinella con acqua molto fredda ed una con acqua molto calda (però non troppo da scottarvi). Immergete una mano nell'acqua fredda e l'altra nella calda tenendole per qualche minuto in modo che la pelle si abitui. Ora, senza perdere troppo tempo, versate



l'acqua fredda nella bacinella della calda in modo da avere acqua tiepida ed immergetevi entrambe le mani. La mano fredda sentirà caldo e la mano calda sentirà freddo, eppure stanno alla stessa temperatura.

Qual è la morale di questa favola? Per stabilire se un oggetto è caldo o freddo non ci possiamo fidare dei nostri sensi.

Se vogliamo trasformare questa sensazione in una grandezza fisica, è necessario fissare un criterio oggettivo che permetta di associare un numero alla parola "caldo" (e di conseguenza alla parola "freddo"). Occorre poi verificare se è universale (cioè se altri sperimentatori, applicando lo stesso criterio, ottengono lo stesso risultato) e se è ripetibile (cioè se ripetendo l'esperimento a distanza di tempo si ottengono ancora gli stessi risultati entro i limiti degli errori sperimentali).

Intanto cominciamo a chiamarla con il suo nome: "temperatura", e sfruttiamo il fenomeno della "dilatazione termica" per realizzare uno strumento che possa misurarla.

Utilizziamo un apparecchio molto semplice costituito da una bottiglietta sormontata da una cannuccia contenente acqua fino ad un certo livello. Verifichiamo subito che se la mettiamo al sole, oppure la riscaldiamo in qualche altro modo, il livello dell'acqua nella cannuccia sale. Se invece la mettiamo nel frigorifero il livello scende.

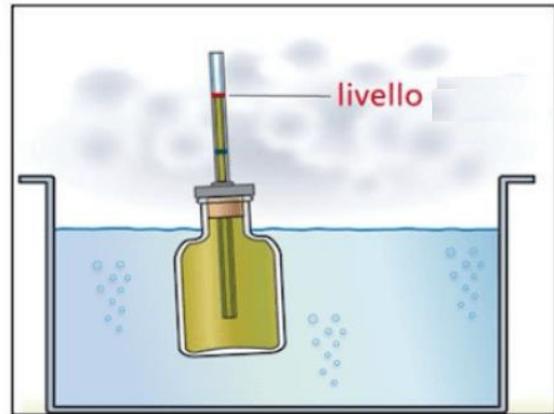
Questo non è ancora un termometro. Perché? (scrivere la risposta)

.....

.....

.....

Mettiamo il nostro strumento in una pentola di acqua bollente e mettiamo un segnetto al livello dell'acqua nella cannuccia. Ripetendo l'esperimento in tempi diversi vediamo che l'acqua nella cannuccia raggiunge sempre lo stesso livello. Possiamo concludere perciò che l'acqua bolle sempre alla stessa temperatura, indipendentemente dallo sperimentatore, dal luogo e dal tempo in cui si effettua la misura (veramente sul luogo c'è da fare qualche precisazione che per ora tralasciamo).

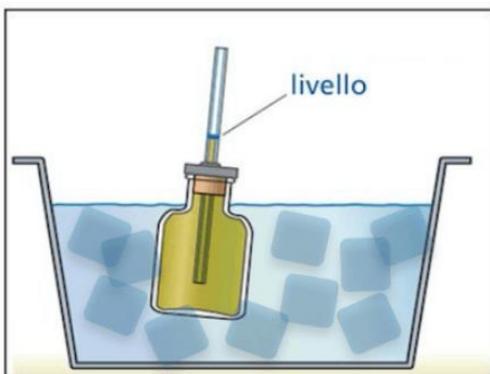


Acqua bollente

Diciamo allora che

l'acqua bollente è un punto fisso della temperatura.

Attenzione però che deve essere acqua distillata, cioè solo acqua, senza i sali minerali e le altre sostanze normalmente presenti nell'acqua di rubinetto.



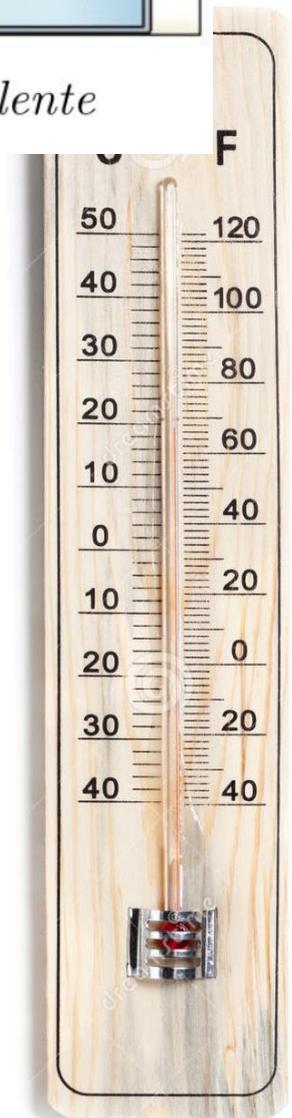
Ghiaccio fondente

Allo stesso modo se consideriamo molti cubetti di ghiaccio che galleggiano nell'acqua in equilibrio termico, abbiamo una miscela detta "ghiaccio fondente", che è un altro punto fisso della temperatura.

Prendiamo ora il nostro apparecchio rudimentale e mettiamo un altro

segnetto al livello del ghiaccio fondente, che ovviamente si troverà più in basso di quello dell'acqua bollente.

Scriviamo il numero 100°C in corrispondenza del segno dell'acqua bollente e il numero 0°C in corrispondenza del segno ghiaccio fondente e dividiamo in 100 parti uguali l'intervallo. Abbiamo realizzato il termometro e siamo in grado di misurare



questa nuova grandezza che chiamiamo temperatura, espressa in gradi Celsius. Se ce lo mettiamo sotto l'ascella ed aspettiamo il tempo sufficiente perché raggiunga l'equilibrio termico, vedremo che il livello dell'acqua nella cannuccia si ferma tra la tacchetta 36°C e 37°C (veramente è un poco scomodo come termometro).

Se invece alla temperatura del ghiaccio fondente assegniamo 32°F, a quella dell'acqua bollente assegniamo 212°F e dividiamo l'intervallo in 180 parti uguali, abbiamo un termometro graduato in gradi Fahrenheit.

In Europa misuriamo la temperatura in °C, negli Stati Uniti la misurano in °F. Spesso trovate termometri con entrambe le scale.

La formula per trasformare i valori di temperatura da °C a °F si ricava semplicemente considerando che l'intervallo tra i punti fissi è 100 nella scala Celsius e 180 in quella Fahrenheit perciò c'è un fattore moltiplicativo di 180/100, a cui va aggiunta la temperatura del ghiaccio fondente di 32°F perciò:

$$t_{°F} = 1.8 t_{°C} + 32$$

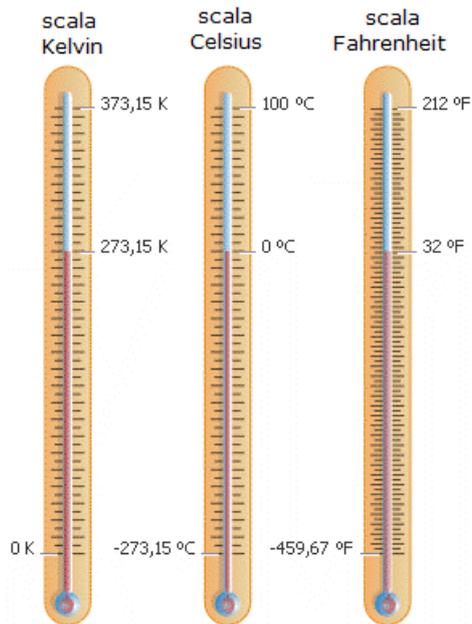
Da questa sapete facilmente ricavare la trasformazione da °F a °C (o non lo sapete più fare?)

Come semplice esercizio trasformate in °F la temperatura corporea normale di 36.5 °C. Gli americani fanno la doccia a 104 °F, a quanti °C corrispondono?

Sia la scala Celsius che la scala Fahrenheit sono legate in modo arbitrario a fenomeni sperimentali che avvengono a temperatura fissa.

Come avremo modo di capire in seguito, anche con simulazioni al computer, la temperatura è legata alla velocità delle molecole che costituiscono la materia. Su questa base appare naturale utilizzare la velocità delle molecole come riferimento per misurare la temperatura e fissare come temperatura zero la condizione in cui le molecole hanno velocità zero, cioè sono ferme. Si indica perciò come ZERO ASSOLUTO la temperatura di un oggetto le cui molecole sono ferme. Ogni aumento della loro velocità corrisponde ad un aumento di temperatura.

Questa nuova scala delle temperature è detta "scala assoluta" o, più comunemente, scala Kelvin ed i gradi si indicano con °K. Per convenzione si suole indicare con t (minuscola) la temperatura espressa in °C o °F e con T (maiuscola) quella espressa in °K.



Lo zero assoluto corrisponde a -273.16°C cioè

$$0^{\circ}\text{K} = -273.16^{\circ}\text{C}$$

Ed un aumento di 1°K corrisponde all'aumento di 1°C . Il passaggio tra la scala Celsius e la scala Kelvin è semplicissimo:

$$T_{\circ\text{K}} = t_{\circ\text{C}} + 273.16$$

E quindi, ancora più semplicemente, la trasformazione inversa:

$$t_{\circ\text{C}} = T_{\circ\text{K}} - 273.16$$

Non vi chiedo di fare qualche trasformazione perché sarebbe come chiedervi la prima declinazione in latino (o non la sapete?)

Normalmente, per comodità di calcolo, invece di 273.16 si usa solo 273.

2) LA DILATAZIONE TERMICA

“E’ quel fenomeno fisico secondo cui un corpo (solido, liquido o gassoso) aumenta di volume all’aumentare della temperatura”.

Chi non conosce l’argomento resta perplesso. Non ha mai notato che la pentola che utilizza per cuocere la pasta si ingrandisce sul fornello mentre attende che l’acqua viene a bollire, non ha mai visto crescere la sua tazza mentre la riempie del caffè caldo appena uscito dalla moka né il suo cucchiaino è mai diventato grande come un mestolo quando lo immerge nel brodo bollente.

In realtà gli ingrandimenti sono dell’ordine dei centesimi di millimetro, perciò non sono appariscenti e si possono misurare solo con apposita strumentazione.

La lunghezza di un oggetto è legata alla temperatura dalla formula

$$l_t = l_0(1 + \lambda t)$$

dove

l_t è la lunghezza dell’oggetto ad una certa temperatura t

l_0 è la lunghezza dello stesso oggetto alla temperatura di 0°C

λ è il così detto “coefficiente di dilatazione lineare”

t è la temperatura espressa in $^{\circ}\text{C}$

Se riscriviamo la formula in modo diverso:

$$l_t = l_0 + l_0 \lambda t$$

si vede più facilmente che la lunghezza di un oggetto è uguale alla lunghezza che aveva a 0°C più un certo allungamento che dipende dal coefficiente di dilatazione lineare e dalla temperatura.

Il coefficiente di dilatazione lineare λ indica di quanto si allunga una barretta di 1 metro quando la sua temperatura aumenta di 1°C , e dipende dal materiale con cui è fatta. Per il ferro $\lambda=0.000012$, per il rame $\lambda=0.000017$, per l’oro $\lambda=0.000015$. Cioè se si aumenta di 1°C la sua temperatura, una barra di 1 metro si

allunga di poco più di un centesimo di millimetro. Al riscaldamento di 100 °C corrisponde un allungamento di poco più di 1 mm, certamente impercettibile senza adeguata strumentazione.



QUALCHE VERIFICA QUALITATIVA DELLA DILATAZIONE TERMICA

Strumenti, apparecchi e materiali utilizzati:

dilatometro

anello di Gravesande

barretta bimetallica

becco bunsen

Primo esperimento: VISUALIZZAZIONE DELL'ALLUNGAMENTO CON IL DILATOMETRO

Il dilatometro è un apparecchio che permette di visualizzare la dilatazione termica di una barretta metallica. Il piccolo allungamento della barretta dovuto al riscaldamento è amplificato da un sistema di ingranaggi e fa ruotare l'indice di una scala graduata.

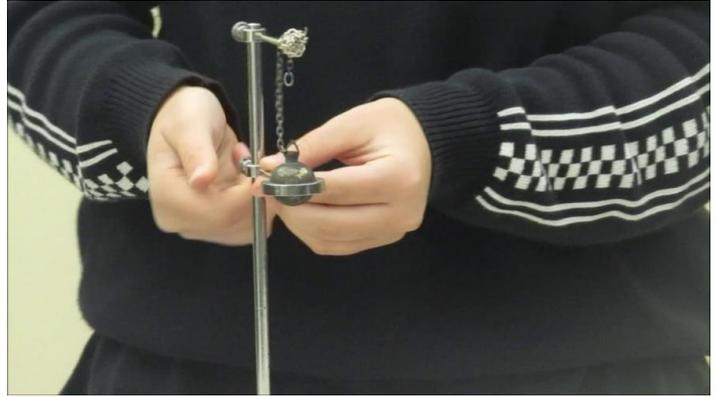
Nel laboratorio di fisica del liceo Luigi Sodo è presente un dilatometro di notevole interesse storico, databile agli inizi del 1900.

Riscaldando la barretta metallica con il becco bunsen notiamo la sua dilatazione osservando la progressiva rotazione dell'indice dell'apparecchio.

Secondo esperimento: ANELLO DI GRAVESANDE

E' costituito da una sferetta metallica leggermente più piccola del diametro interno di un anello. In condizioni normali la sferetta passa attraverso l'anello.

Riscaldata con il becco bunsen la sferetta si dilata e non riesce più a passare rimanendo appoggiata sull'anello. Dopo un poco di tempo l'anello si riscalda e la sferetta si raffredda perciò e ritorna a passare.



Terzo esperimento: BARRETTA BIMETALLICA

Abbiamo preparato un dispositivo costituito da due lamine di metalli diversi, perciò di coefficiente di dilatazione diverso, sovrapposte e saldate per gli estremi. Riscaldando il sistema con il becco bunsen le due lamine si allungano in modo diverso e, non potendo scorrere una sull'altra, si separano al centro e si incurvano con lamina di coefficiente più piccolo all'interno della curvatura.

Quando il sistema si raffredda le lamine tornano sovrapposte.



Questa è la dilatazione termica spiegata in modo divulgativo, cioè senza usare troppa matematica.

Noi invece non possiamo accontentarci.

Armiamoci della nostra brava formula

$$l_t = l_0(1 + \lambda t)$$

Ricordate che λ dipende dal materiale che si sta

considerando e si trova dappertutto in rete, basta cercare "coefficiente di dilatazione lineare"

3) ESERCIZI SULLA DILATAZIONE TERMICA

SVEGLIA - AL LAVORO !**ESERCIZIO 1**

(Questo non ve lo spiego perché si tratta solo di applicare la formula. Non vi confondete con il numero di zeri)

Riprendiamo l'esempio dell'articolo: Una barra di rame di 1 m, a 0°C è lunga 1 m. Calcolare la sua lunghezza quando viene riscaldata a 100°C . Di quanto si è allungata?

ESERCIZIO 2

Utilizzando la dilatazione si può costruire un termometro. Il problema consiste solo nel misurare con precisione la lunghezza delle barrette. Del resto il termometro che si utilizza normalmente e che abbiamo imparato a conoscere funziona proprio sulla dilatazione, non di una barretta ma di un liquido, ma è lo stesso. Una barretta di ferro che a 0°C è lunga 38.1 cm, riscaldata ad una certa temperatura t risulta allungata di $64\ \mu\text{m}$ (ricordate che $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$) A che temperatura si trova?

ESERCIZIO 3

Le rotaie che costituiscono i binari ferroviari, come tutti i materiali, sono soggette alla dilatazione termica. In fase di costruzione della ferrovia perciò è necessario lasciare il giusto spazio tra gli elementi del binario in modo da consentirne l'allungamento quando, nelle ore più calde dei giorni d'estate, la temperatura del ferro raggiunge anche i 70°C .

Nell'ipotesi inverosimile di montare i binari con temperatura ambiente di 0°C , calcolare lo spazio da lasciare tra due barre di 50 m. (Utilizzare il coefficiente di dilatazione lineare del ferro).

Che distanza ci sarà in pieno inverno con temperatura di -20°C ?

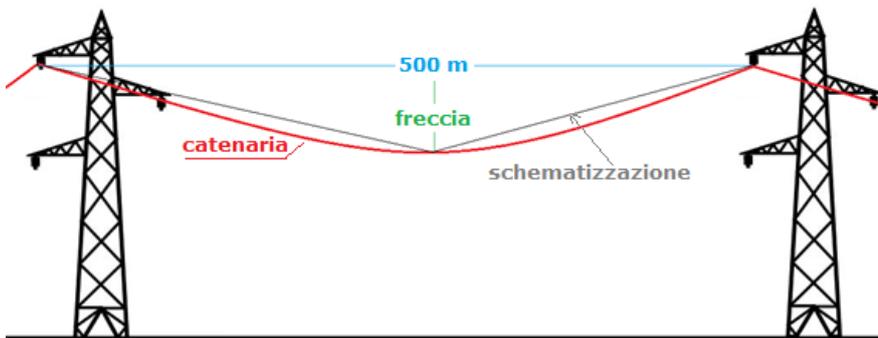
ESERCIZIO 4

Avrete certo notato (e se non l'avete notato, notatelo quando vi capita, perché in questo consiste la "curiosità" scientifica) che i cavi dei grandi elettrodotti non sono orizzontali ma fanno una vistosa curva tra i tralicci di sostegno. Questa curva è detta "catenaria" perché è disegnata da una catena sospesa per gli estremi e soggetta al suo peso. Ovviamente più lunga è la catena rispetto alla distanza tra gli estremi e più ampio sarà l'arco di catenaria.

I cavi degli elettrodotti si riscaldano non solo perché sono esposti al sole, ma anche e principalmente perché il trasporto di corrente elettrica produce calore (si chiama “effetto Joule”; lo studieremo l’anno prossimo). Supponendo che la lunghezza dei cavi a 0°C sia 500 m e la massima temperatura raggiunta d’estate a pieno regime sia 120°C , calcolarne l’allungamento. (Per semplicità utilizzate il coefficiente di dilatazione lineare del rame, anche se quei cavi sono costituiti da materiali diversi).

Seconda parte, per chi ne ha voglia:

Si chiama “freccia” la distanza tra il punto più basso della curva e la posizione orizzontale. La formula della freccia per la catenaria è molto complicata, però noi possiamo semplificarla schematizzando la



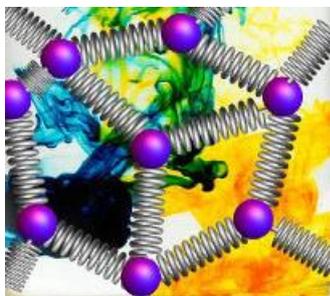
configurazione supponendo che i cavi formino un triangolo isoscele la cui altezza approssima leggermente per eccesso la freccia reale. Calcolatela usando semplicemente il teorema di Pitagora.



4) IL CALORE

Abbiamo visto che la temperatura di un oggetto è legata alla velocità delle sue molecole. Sapete anche che la velocità significa energia cinetica (o l'avete dimenticato?), secondo la formula

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$



In un solido le molecole sono legate tra loro e non possono muoversi di moto rettilineo, possono però oscillare intorno alla loro posizione di equilibrio, con ampiezza delle oscillazioni che dipende dalla temperatura. Anche in questo caso l'ampiezza delle oscillazioni è legata all'energia (stavolta con una formula più complicata).

Perché questa considerazione?

Vi ricordate che l'energia non si perde ma si può trasformare da una forma ad un'altra?

Allora se all'aumento di temperatura di un oggetto corrisponde l'aumento di energia delle sue molecole, vuol dire che se vogliamo riscaldare qualcosa dobbiamo fornire energia.

Bella scoperta! È ovvio! C'era bisogno di tutta questa storia?

Sì, ce n'era bisogno! Abbiamo capito che c'è un'altra forma di energia, che potremmo chiamare "energia termica" o, più comunemente, "calore", e che funziona allo stesso modo dell'energia cinetica o dell'energia potenziale, solo che l'energia cinetica o l'energia potenziale si riferiscono ad oggetti macroscopici mentre l'energia termica è distribuita alle singole molecole, cioè a livello microscopico.

Ritorniamo in seguito su questo argomento. Ora ci occuperemo del legame tra temperatura e calore.

L'unità di misura del calore quindi è la stessa del lavoro e dell'energia cioè il joule (vi ricordate J?).

Per ragioni storiche che risalgono a prima che si scoprisse l'equivalenza tra calore ed energia, si utilizza anche un'altra unità di misura: la caloria (simbolo cal). Quella stessa quantità che ossessiona i ragazzi che ritengono importante la magrezza, e che immettiamo nel nostro organismo con il cibo.



La caloria è definita come quella "quantità di calore necessaria ad innalzare di 1 °C (precisamente da 14.5 °C a 15.5 °C) la temperatura di 1 grammo di acqua distillata, alla pressione di 1 atmosfera".

Per semplificare riduciamo la filastrocca e diciamo che la caloria è "il calore necessario ad innalzare di 1 °C la temperatura di 1 g di acqua".



Ovviamente se vogliamo innalzare di 1 °C la temperatura di 15 litri (cioè 15000 grammi) di acqua, occorreranno 15000 cal (oppure 15 Kcal) e se con quell'acqua vogliamo fare la doccia la dobbiamo riscaldare non di 1°C ma di 25°C, dobbiamo moltiplicare ancora per 25. In definitiva possiamo dire che il calore necessario per riscaldare l'acqua è uguale al prodotto tra la massa di acqua e il salto di temperatura che vogliamo ottenere. In formula:

$$Q = m(t_f - t_i)$$

Dove con Q abbiamo indicato la quantità di calore, con m la massa dell'acqua da riscaldare e con t_f e t_i le temperature finale ed iniziale dell'acqua.

Oppure, preferibilmente, possiamo scrivere

$$Q = m\Delta t$$

Dove Δt indica il salto di temperatura (come forse qualcuno si ricorda, in fisica il simbolo Δ delta maiuscolo indica sempre un incremento).

È evidente che se invece di fornire calore lo sottraiamo, la temperatura dell'acqua scende. In questo caso la temperatura finale è minore di quella iniziale perciò Δt (o, se preferite, il risultato della parentesi) è negativo e quindi è negativa anche la quantità di calore Q. Si stabilisce quindi che Q positivo vuol dire fornire calore al sistema e Q negativo vuol dire sottrarlo.

Qualche banale calcoletto:



Quante Kcal occorrono per portare all'ebollizione una pentola di 4 litri di acqua riempita dal rubinetto a 18°C?

Sottraendo 19 Kcal la temperatura dell'acqua di una pentola diminuisce di 6 °C, quanta acqua contiene?

Se si forniscono 500 cal ad inizialmente a 20°C, che



un bicchiere di 200 g di acqua temperatura si raggiunge?

Prima parlavamo di due unità di misura diverse per l'energia termica: joule e caloria. È evidente che deve sussistere una reazione tra esse. Precisamente:

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

Se nessuno si sente offeso per la banalità del calcolo, da questa vi ricavo J:

$$1 \text{ J} = \frac{1}{4.18} \text{ cal}$$

Calcoletti ancora più banali:

Trasformare in J (o in KJ) i risultati di sopra.

E se invece che con l'acqua lo scambio termico avviene con una sostanza diversa che succede? Dobbiamo quindi imparare una formula per ogni sostanza? No, tranquilli, basta aggiungere un fattore (numerino a moltiplicare) nella formula dell'acqua, ottenendo:

$$Q = mc\Delta t$$

Dove quella "c" è il "calore specifico" della sostanza che stiamo considerando, e si trova facilmente in rete. Ovviamente il calore specifico dell'acqua è $c_{\text{acqua}} = 1$.

Ancora banali calcoletti (UFFA!):

Rifare i calcoli di sopra sostituendo l'acqua con:

Alcool

Mercurio

Olio

(non possiamo usare la coca cola perché non trovereste facilmente il suo calore specifico)

Un altro esercizio, anch'esso banale

Calcolare il calore specifico di un blocco di 5 Kg di metallo che aumenta la sua temperatura di 40°C se gli vengono fornite 7 Kcal

2 ESPERIMENTI DI LABORATORIO

Esperimento 1:

Riscaldiamo una certa quantità m_c di acqua alla temperatura t_c e la mischiamo con una quantità m_f di acqua fredda alla temperatura t_f (utilizziamo i pedici “c” e “f” per ricordarci che si tratta di acqua calda e fredda). E misuriamo la temperatura che raggiunge la miscela.

Intanto calcolate la temperatura finale di acqua “tiepida” con i seguenti dati:

$$m_c = 1.15 \text{ Kg}, t_c = 75^\circ\text{C}, m_f = 2.3 \text{ Kg}, t_f = 18^\circ\text{C}$$

(quando faremo l’esperimento i dati saranno diversi, ma il procedimento è lo stesso).

Vi do qualche suggerimento:

Scrivere la formula dello scambio di calore

$$Q = m\Delta t$$

Per l’acqua fredda (mettendo i pedici f a m ed a Δt)

Scrivere la stessa formula per l’acqua calda ricordando che stavolta sottraiamo calore perciò dovremo mettere il segno –

Considerare che tutto il calore sottratto all’acqua calda va a riscaldare l’acqua fredda perciò si possono uguagliare le due espressioni ottenendo una sola equazione. Invece di scrivere Δt conviene scrivere $(t-t_f)$ e $(t-t_c)$ l’unica incognita è la temperatura finale t che raggiunge la miscela.

Fare i calcoli (senza sostituire i numeri) con le lettere e calcolare l’incognita t

Sostituire i numeri dati e tirare fuori la temperatura finale confrontandola con quella misurata

Esperimento 2:

Con il becco bunsen riscaldiamo una palla di ferro di massa m_f e la immergiamo in una certa quantità di acqua m_a inizialmente alla temperatura t_a . Ovviamente l’acqua si riscalda ed il ferro si raffredda. Misuriamo la temperatura finale t dell’acqua e calcoliamo la temperatura a cui era stata riscaldata la palla di ferro.

Prima di fare l’esperimento calcolate la temperatura iniziale del ferro con i seguenti dati:

$$m_f = 2.25 \text{ Kg}, m_a = 4.3 \text{ Kg}, t_a = 18^\circ\text{C}, t = 43^\circ\text{C}, \text{ il calore specifico del ferro lo trovate in rete.}$$