Termologia: TEMPERATURA, CALORE, CAMBIAMENTI DI FASE

<*wikipedia*>: *temperatura*, *calore*, *trasmissione del calore* (per *conduzione*, *convezione*, *irraggiamento*), cambiamenti di fase (*solida* ↔ *liquida* ↔ *aeriforme*: *fusione*, *solidificazione*, *sublimazione*, *brinamento*, *vaporizzazione* (*evaporazione* Geogebra *ebollizione*), *condensazione*)
Vedi anche equazione di stato dei gas; termodinamica;
Ricorda che 1 cal = 4,184 J

[Pagina senza pretese di esaustività o imparzialità, modificata 26/10/2022; col colore grigio distinguo i miei commenti rispetto al testo attinto da altri]

Pagine correlate: equazione di stato dei gas; termodinamica; matematica e fisica per medie e superiori

DILATAZIONE e CONTRAZIONE di un materiale a causa di ΔT

DILATAZIONE LINEARE (qui tabella coefficienti di dilatazione per alcune sostanze)
Esercizio DL1: sapendo che il **coefficiente di dilatazione lineare** del piombo vale $29\cdot10^{-6}$, calcola quale ΔT (*variazione di temperatura*) provoca l'**allungamento** di 3 mm di una sbarra lunga 10 m
Premessa: dalla formula: $\Delta L = \alpha\cdot L_0\cdot\Delta T$ (dove α è il suddetto coefficiente L_0 è la lunghezza iniziale prima della variazione di temperatura) , ricaviamo la formula inversa $\Delta T = \Delta L / (\alpha\cdot L_0)$
Soluzione: $\Delta T = 0{,}003 / (29\cdot10^{-6}\cdot10) \approx 10{,}3$ K

Esercizio DL2 (#12p425 del libro ...): una sbarra di una non specificata lega si allunga di $8{,}47\cdot10^{-4}$ m perché viene riscaldata da 25 °C a 100 °C. Poi viene raffreddata fino a 0 °C. Calcola la differenza tra la lunghezza iniziale della sbarra e quella finale,
Premessa:
- non viene specificato il coefficiente di dilatazione lineare per cui significa che è indifferente, ovvero che nelle formule sparirà per semplificazione;
- a noi interessa sapere di quanto si accorcia la sbarra passando da 25 °C a zero, perché quando da 100 °C ripasserà sui 25 °C mentre tende a zero, a 25 °C avrà la stessa lunghezza iniziale;
- siccome il coefficiente di dilatazione non cambia nelle temperature da zero a 100 gradi, l'allungamento da zero a 25 °C (o accorciamento da 25 °C a zero) sarà proporzionale all'allungamento che avviene in qualunque altro intervallo di ΔT

Soluzione: perciò potremo scrivere la seguente proporzione

$$\Delta L_{100-25} : 8{,}47\cdot10^{-4} = \Delta L_{0-25} : x$$

quindi $x = \frac{8{,}47\cdot10^{-4}\cdot\Delta L_{0-25}}{\Delta L_{100-25}} = \frac{8{,}47\cdot10^{-4}\cdot L_{25}\cdot\lambda\cdot(-25)}{L_{25}\cdot\lambda\cdot75} = -2{,}82\cdot10^{-4}m =$

DILATAZIONE SUPERFICIALE e ***CUBICA** (o volumica)*
Le dilatazioni superficiali e cubiche hanno formula analoga a quella della dilatazione lineare, ma ...
$\Delta A = \mathbf{2}\alpha\cdot A_0\cdot\Delta T$ (coeffic. di dilatazione *doppio di α*) dove A_0 è l'area della superficie iniziale prima della variazione di temperatura

DILATAZIONE VOLUMICA (o CUBICA)
$\Delta V = \mathbf{3}\alpha\cdot V_0\cdot\Delta T$ (coeffic. di dilatazione *triplo di α*) dove V_0 è il volume iniziale del solido prima della variazione di temperatura.
La dilatazione dei liquidi ha pure una formula analoga ($\Delta V = \beta\cdot V_0\cdot\Delta T$), ma il *coefficiente di dilatazione cubica dei liquidi* è normalmente più grande di quello dei solidi (ad es. per il mercurio $\beta = 0{,}18\cdot10^{-3}$); tieni presente la *singolarità dell'acqua attorno ai 4°C*.
Pure la dilatazione degli aeriformi (gas) ha formula analoga, con β ancora più grande, ma rimandiamo a una trattazione specifica perché per i gas occorre tenere presenti altre grandezze come la massa (numero di molecole) e la pressione in un dato volume di gas ($PV = nRT$). Il fatto che i gas abbiano elevato coefficiente di dilatazione permette loro di usarli per la termodinamica.

Esercizio DV1 su dilatazione volumica (qui i calcoli con Excel)
Un contenitore di rame, con capacità di 200 cm^3, riempito fino al bordo con olio d'oliva, viene riscaldato da 10°C a 40°C (ΔT= 30): quanto olio trabocca?
Premessa: il coefficiente β di *dilatazione cubica dell'olio* è $7{,}2\cdot10^{-4}$
il coefficiente α di *dilatazione lineare del rame* è $1{,}7\cdot10^{-5}$
il coefficiente di dilatazione cubica del rame è $\beta=3\alpha=5{,}1\cdot10^{-5}$
Soluzione: vediamo che il coefficiente di dilatazione cubica dell'olio è maggiore di quello del rame, per cui il volume dell'olio aumenterà più del volume del contenitore e dunque traboccherà per una quantità pari a ($\Delta V_{olio} - \Delta V_{rame}$)

$\Delta V_{olio} = \beta_{olio} \cdot V_{0olio} \cdot \Delta T = 4{,}320\ cm^3$
$\Delta V_{rame} = \beta_{rame} \cdot V_{0rame} \cdot \Delta T = 0{,}306\ cm^3$
$\Delta V_{olio} - \Delta V_{rame} = 4{,}014\ cm^3$

Esercizio DV2 su dilatazione volumica (#24p426 del libro ...)

Un oggetto di piombo e uno di quarzo hanno lo stesso volume iniziale. Le temperature dei due oggetti variano e alla fine gli oggetti hanno di nuovo lo stesso volume, diverso da quello iniziale. La temperatura dell'oggetto di piombo è aumentata di 4,0°C. Calcola la variazione di temperatura dell'oggetto di quarzo.

Premessa: i risultati possono differire a seconda delle cifre decimali considerate nei coefficienti
il coefficiente β di dilatazione cubica del piombo è $3 \cdot 2{,}9 \cdot 10^{-5} = 87 \cdot 10^{-6}$
il coefficiente β di dilatazione cubica del quarzo è $1{,}5 \cdot 10^{-6}$
entrambe le dilatazioni seguono la legge $\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta T,$ con $\Delta T_p = 4$ e ΔT_q da cercare
il piombo con $\Delta V_p = 87 \cdot 10^{-6} \cdot V_0 \cdot 4$, il quarzo con $\Delta V_q = 1{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot V_0 \cdot \Delta T_q$

Soluzione: siccome $\Delta V_p = \Delta V_q$ possiamo scrivere $87 \cdot 10^{-6} \cdot V_0 \cdot 4 = 1{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot V_0 \cdot \Delta T_q$
semplifichiamo per V_0 e per 10^{-6} e ricaviamo $\Delta T_q = \frac{87 \cdot 4}{1{,}5} = 232$ (gradi Celsius o Kelvin)

Esercizio DV3 su dilatazione volumica (#26p426 del libro ...)

Anche l'acqua varia il suo volume (e dunque la sua densità $d = m/V$) al variare della temperatura, seppure con una singolarità attorno ai 4 °C). Supponiamo di avere un recipiente contenente acqua a 18,8 °C con una densità di 999 kg/m³: se riscaldi quell'acqua fino a 94,5 °C, di quanto varia la densità di quell'acqua, cioè quanto vale $\Delta d = d_f - d_i$?

Premessa: già possiamo prevedere che la richiesta variazione sarà negativa, perché, siccome il volime finale sarà maggiore del volume iniziale a causa dell'aumento di temperatura, avremo $d_f < d_i$;
supponiamo che tra 10 °C e 95 °C il volume dell'acqua aumenti linearmente secondo la solita formula della dilatazione volumica $V_f = V_i(1 + \beta \cdot \Delta T)$;
assumiamo $\beta = 207 \cdot 10^{-6}$ (o più approssimato $\beta = 21 \cdot 10^{-5}$)
banale il calcolo del $\Delta T = 94{,}5 - 18{,}8 = 75{,}7$ (Celsius o Kelvin, indifferentemente)

Soluzione modo1:

Sostituiamo $V = \frac{m}{d}$ nella formula $V_f = V_i(1 + \beta \cdot \Delta T)$ ottenendo $\frac{m}{d_f} = \frac{m}{d_i}(1 + \beta \cdot \Delta T)$

Semplifichiamo per m (vedi che non conta la quantità di acqua iniziale, avrebbe potuto essere 2 litri o 3000 litri, indifferentemente) e facciamo l'inverso di ciascun membro della formula, ottenendo

$$d_f = \frac{d_i}{1 + \beta \cdot \Delta T} = \frac{999}{1 + 207 \cdot 10^{-6} \cdot 75{,}7} \approx 983$$
$$d_f - d_i = 983 - 999 \approx -16 \frac{kg}{m^3}$$

Soluzione modo2:

All'aumentare del volume diminuisce la densità con un rapporto di proporzionalità inversa
$$V_i : V_f = d_f : d_i$$
il che vale anche per le rispettive variazioni di volume e di densità
(vedi proprietà dello scomporre delle proporzioni)
$$\Delta V : V_i = -\Delta d : d_i$$
$$-\Delta d = d_i \frac{\Delta V}{V_i} = d_i \frac{V_i \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot}{V_i} = d_i \cdot \beta \cdot \Delta T = 999 \cdot 207 \cdot 10^{-6} \cdot 75{,}7 = 15{,}6 \approx 16$$
$$\Delta d = -16\ kg/m^3$$
anche qui notiamo che il volume iniziale è indifferente.

Esercizio DV4 su dilatazione volumica (#101p434 del libro ...)

Una sfera piena di alluminio, avente volume 4,2 cm³, viene riscaldata con un ΔT di 300 °C.
a) Determina in cm di quanto varia il raggio della sfera
b) Se la sfera fosse stata cava, avrebbe subito la stessa dilatazione? (sì: vedi qui spiegazione)

Premessa: $V_i = 4{,}2\ \text{cm}^3 = 4{,}2 \cdot 10^{-6} \text{m}^3$;
coeff.dilataz. volumica alluminio $\beta = 3\lambda = 3 \cdot 2{,}4 \cdot 10^{-5} = 7{,}2 \cdot 10^{-5} \approx 7 \cdot 10^{-5}$ arrotondato

Soluzione a) modo1

dal volume iniziale della sfera ricaviamo il raggio iniziale $r_i = \sqrt[3]{\frac{7 \cdot 10^{-6}}{4\pi}} = 0{,}0100106$
il volume finale sarà $V_f = V_i(1 + \beta \cdot \Delta T) \approx 4{,}29 \cdot 10^{-6}$ da cui ricaviamo $r_i = 0{,}0100802$

$$r_f - r_i = 0{,}0000696 \text{ m} \approx 6{,}9 \cdot 10^{-3} cm$$

Soluzione a) modo2

$V_f = V_i(1 + \beta \cdot \Delta T)$ cioè $\frac{4}{3}\pi r_f^3 = \frac{4}{3}\pi r_i^3(1 + \beta \cdot \Delta T)$; semplifichiamo→ $r_f^3 = r_i^3(1 + \beta \cdot \Delta T)$

radice cubica a dx e a sx → $r_f = r_i\sqrt[3]{(1 + \beta \cdot \Delta T)}$: nota che per passare da raggio iniziale a raggio finale puoi usare la radice cubica dello stesso fattore moltiplicativo che porta da V_i a V_f

$$r_f - r_i = r_i\left(\sqrt[3]{(1 + \beta \cdot \Delta T)} - 1\right) \approx 6{,}9 \cdot 10^{-3} cm$$

CALORE SPECIFICO (quanto calore immagazzina o cede un materiale a causa di ΔT)

vedi anche <*wikipedia*, *youmath*, *tabella di calori specifici*>

La quantità di calore Q (energia misurata in Joule) che un corpo di massa m assorbe (se $\Delta T > 0$) o cede (se $\Delta T < 0$) è data dalla relazione

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

dove c è il CALORE SPECIFICO del corpo (*qui tabella*);

c deve essere "dimensionato" $[c] = \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}\right]$ affinché la formula dia valore in Joule

È invalso l'uso medico e pratico di misurare il calore anche in calorie oltre che in Joule:

si definisce piccola caloria (cal) la quantità di calore necessaria a portare la temperatura di un grammo d'acqua distillata da 14,5 °C a 15,5 °C, alla pressione atmosferica normale:

$$1\ cal = 4186\ J$$

più della cal è usata la grande caloria ($kcal$): $1\ kcal = 1000\ cal$

La caloria non fa parte del Sistema Internazionale delle misure

Esercizio CS1: **Quanto calore devi fornire** a una palla di 225 g di piombo per *variarne la temperatura* da 15 a 25 °C? Il **calore specifico** del piombo è 128 J/(kg·K).

Premessa: Q = m·c·ΔT dove c è il calore specifico ed m la massa del corpo (il prodotto m·c sarebbe detto **capacità termica** del corpo)

Soluzione: Q = 0,225·128·(25-15) = 288 J

Esercizio CS2: trasferisci 53 J di calore a un pezzo di alluminio di 108 g a 25 °C; qual è la **temperatura finale** dell'alluminio? (il **calore specifico** dell'alluminio è 900 J/(kg·K)

Premessa: dalla formula: Q = m·c·ΔT ricaviamo la formula inversa per ΔT = Q / (m·c)

Soluzione: ΔT = 53·/ (0,108·900) = 0,54 (essendo una differenza, i gradi Kelvin equivalgono ai Celsius)

temperatura finale = temperatura iniziale + ΔT = 25 + 0,54 ≈ 25,5 °C

Esercizio CS3: in un tiro a segno una pallottola di piombo che pesa 5 g si conficca nella sagoma alla velocità di 300 m/s; supponendo che ⅓ della sua **energia cinetica si trasformi in calore** per la pallottola (⅔ per la sagoma), e sapendo che il **calore specifico** del piombo è 128 J/(kg·K), calcola l'*aumento della temperatura* della pallottola.

Premessa: dalla formula: Q = m·c·ΔT ricaviamo la formula inversa per ΔT = Q / (m·c); sappiamo che Ec = ½ m·v²;

Soluzione: Q = ⅓ Ec = ⅓ ½ m·v² = ⅙ 0,005 300² = 75 J

ΔT = Q / (m·c) = 75 / (0,005·128) ≈ 117 (gradi Celsius o Kelvin, indifferentemente perché Δ)

Esercizio CS4: Un'auto da formula 1 con massa di 1000 kg frenando passa dalla velocità (v_1) di 320 km/h alla velocità (v_2) di 120 km/h. Supponendo che tutto il calore della frenata venga assorbito dai 4 freni ciascuno di massa 1kg, calcola l'aumento di temperatura dei freni, sapendo che il materiale di cui sono fatti ha un calore specifico (c) di 0,8J/g·°C.

Premessa: dalla formula: Q = m·c·ΔT ricaviamo la formula inversa per ΔT = Q / (m·c); Q è dato dalla energia cinetica persa in frenata ($\Delta Ec = Ec_1 - Ec_2$, cioè la differenza tra l'energia cinetica Ec_1 che aveva l'auto prima della frenata e la Ec_2 che aveva dopo la frenata, sapendo che EC = ½ m·v²).

Soluzione (qui i calcoli con Excel):

trasformiamo km/h in m/s (dividendo per 3,6)

v_1 = 88,89 m/s, cui corrisponde una energia cinetica (Ec=½mv²) Ec_1 = ½·1000·88,89² = 3.950.617,3 J

v_2 = 33,33 m/s, cui corrisponde una Ec_2 = 555.555,6 J

La differenza di energia cinetica $\Delta Ec = Ec_1 - Ec_2$ = 3.395.061,7 J viene convertita in calore Q.

Per omogeneità di unità di misura nella formula ΔT =Q/(c·m), trasformo c = 0,8J/g·°C = 800J/kg·°C;

quindi ΔT = 3.395.061,7/(800·4·1000) = **1061 °C.**

Segnalo questo esercizio, ancorché analogo al precedente, perché il testo proponeva il risultato ΔT = 482°C, sbagliando: calcolava il calore di frenata impropriamente come $\Delta Ec=½m(v_1-v_2)^2$ cioè = 1.543.209,9 J, dal che ΔT = 482°C, errato perché $(v_1-v_2)^2$ è ben diverso da $(v_1^2- v_2^2)$.

CALORE LATENTE (quanto calore viene scambiato in un *passaggio di stato*)

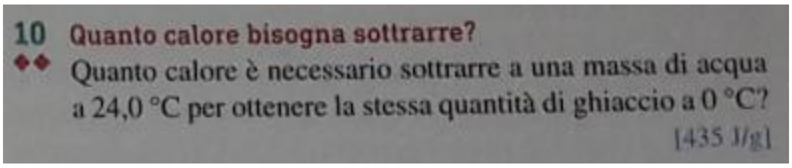
vedi anche <*wikipedia*, *tabella calori latenti* di fusione e di ebollizione (o di *solidificazione* e di *condensazone*)

Nei passaggi di stato avviene un trasferimento di calore senza variazione di temperatura, quindi non vale la suddetta $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ ma quest'altra formula

$$Q = m \cdot L$$

dove per L si intende il calore latente della sostanza considerata per il passaggio di stato, ed è il calore che è necessario fornire o sottrarre a 1 chilogrammo di tale sostanza affinché possa effettuare il passaggio di stato richiesto. Ovviamente L è "dimensionato" $\left[\frac{J}{kg}\right]$

Esercizio CL1: ad un blocco di ghiaccio che ha temperatura iniziale di 0°C viene fornito calore finché, dopo che esso si è sciolto, l'acqua da esso ottenuta sale di temperatura fino a 24°C: quanto calore è stato fornito ad ogni chilogrammo di quella massa di ghiaccio-acqua per ottenere quanto descritto?
Premessa: detta m la massa di quel ghiaccio, Q il calore fornito, sarà **Q/m** il calore fornito per ogni chilogrammo di quella massa.
Q sarà la somma di Q1 e Q2 essendo Q1 il calore di fusione del ghiaccio (calore latente) e Q2 il calore necessario per scaldare l'acqua da 0 a 24°
Q1 = λ·m, essendo λ il calore latente di fusione del ghiaccio (λ= 333,5 [kJ/kg])
Q2 = c·m·ΔT, essendo c il calore specifico dell'acqua (c=4218[J/kg])
Q = Q1 + Q2 = 333500·m + 4218·m·24
Q/m = 333500 + 4218·24 = 434732 J/kg ovvero ≈435 J/g il calore fornito per ogni grammo di quella massa iniziale
Il problema così descritto si potrebbe invertire con la medesima soluzione se fosse così formulato: «quanto calore per ogni grammo è necessario sottrarre ad una massa d'acqua che si trova inizialmente a 24°C se la si vuole trasformare in un blocco di ghiaccio a 0°C?».
Potrebbe apparire meno chiaro il problema, senza le suddette considerazioni, se venisse formulato così:


10 **Quanto calore bisogna sottrarre?**
◆◆ Quanto calore è necessario sottrarre a una massa di acqua a 24,0 °C per ottenere la stessa quantità di ghiaccio a 0 °C?
[435 J/g]

«quanto calore è necessario sottrarre a una massa di acqua a 24°C per ottenere la stessa quantità di ghiaccio a 0°C?», cioè senza specificare che si intende «quanto calore per grammo o per chilogrammo», se lo studente non capisse che, siccome il testo non fornisce il valore della massa, esso suppone per risposta non il valore assoluto di quantità di calore richiesto, ma il valore relativo di quantità di calore per unità di massa.

CONDUTTIVITÀ TERMICA (quanto calore trasmette un materiale a causa di ΔT)

La conduttività termica (λ, unità di misura: W/(m•K)) descrive il trasporto di energia – sotto forma di calore – attraverso un corpo come risultato di un ΔT (gradiente di temperatura). Stando al secondo principio della termodinamica, il flusso di calore è diretto sempre verso la temperature più bassa.

Esercizio CT1: Una stanza riscaldata alla temperatura di 18 °C ha una finestra di vetro verso l'esterno della casa che è a -2°C; il vetro misura 1,8 per 2 metri ed è spesso mezzo centimetro; la **conduttività termica** del vetro è 0,84 W/(m·K). Quanto calore viene dissipato attraverso la finestra in un giorno supponendo costanti la temperatura interna ed esterna?
Premessa: si tratta di trasmissione del calore **per conduzione** attraverso una corpo avente superficie di trasmissione di area A e spessore di trasmissione di lunghezza L: per questo tipo di trasmissione vale la formula che il calore trasmesso Q = k·A·(ΔT/L)·t dove k è conduttività (o conducibilità termica del materiale) e t è il tempo di trasmissione.
Soluzione: Q = k·A·(ΔT/L)·t = 0,84·(1,8·2) [(18+2)/0,005)]·24·60·60 ≈ 1 miliardo di J (1.045.094.400 J, ≈ 250.000 Cal, considerando che 1 Cal = 4184 J)

Per aiutare la memoria della formula pensa di mettere al numeratore ciò che favorisce l'aumento della trasmissione del calore e al denominatore ciò che può frenarla:
favorisce: la conducibilità, la superficie di trasmissione, la differenza di temperatura, il tempo che passa
rallenta: lo spessore della finestra
perciò $Q = k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t / L \cdot$