



Fontana di Piazza Maggiore (Perugia)

Restauro della fontana e ripristino del progetto originario 1247.

Titanio in sostituzione dell'“acciaio” (errore di restauro anni 50).

Ferro piombato materiale originario.

Titanio: ottima resistenza agli agenti atmosferici, ridotto coefficiente di dilatazione e conduzione termica.

Effetti della T sui materiali e ... l'ambiente.

Acropolis Atene

Eretteo: sostituzione di armature in acciaio con strutture in Titanio.

Esempi di restauro “negativo” acciaio contro ferro sigillato in piombo. Recupero di restauri “inopportuni” con sostituzione mediante materiali opportuni.

Partenone, Athena Nike.



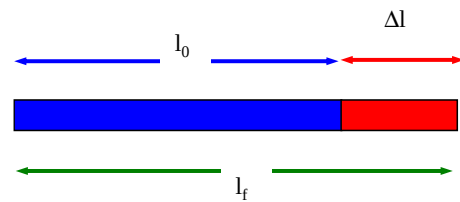
Dilatazione termica

Dilatazione lineare:

$$l_f - l_o = \alpha l_o (t_f - t_o)$$

$$(*) \Delta l = \alpha l_o \Delta t$$

$$\Delta l = \alpha l_o \Delta t$$



α = coefficiente di dilatazione termica lineare

Dilatazione superficiale:

$$A_o = l_o^2$$

$$A = (l_f)^2 = (\Delta l + l_o)^2 =$$

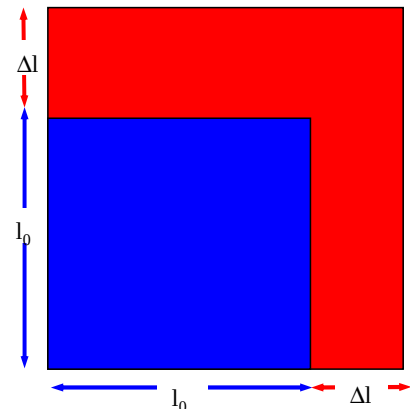
$$= l_o^2 + 2 \cdot \Delta l \cdot l_o + \cancel{\Delta l^2} \quad \text{Trascurabile}$$

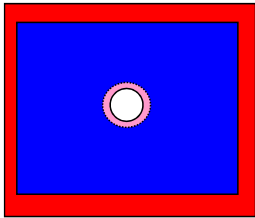
$$A = l_o^2 + 2 \cdot \Delta l \cdot l_o$$

$$\Delta A = 2 \cdot \Delta l \cdot l_o$$

$$\text{Da } (*) \Delta A = 2 \cdot \alpha l_o \Delta t \cdot l_o$$

$$\Delta A = 2 \cdot \alpha A_o \Delta t$$





*L'effetto della dilatazione superficiale
può essere visto come un ingrandimento.*

**Dilatazione cubica:
per induzione abbiamo:**

$$\Delta V = 3 \cdot \alpha \cdot V_0 \cdot \Delta t$$

Per solidi e fluidi (liquidi e gas) : coefficiente di dilatazione cubica si indica con β . $\beta = 3 \cdot \alpha$.

Pertanto $\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta t$

Per i fluidi non ha senso il coefficiente di dilatazione lineare

Sostanza	$\alpha [10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}]$	$\beta [10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}]$
Acciaio 304	17.3	
Acqua		2.1
Ferro	11.7	
Mercurio		1.8
Titanio	8.5	
Invar	0.7	

Perché all'aumentare di T si ha dilatazione?

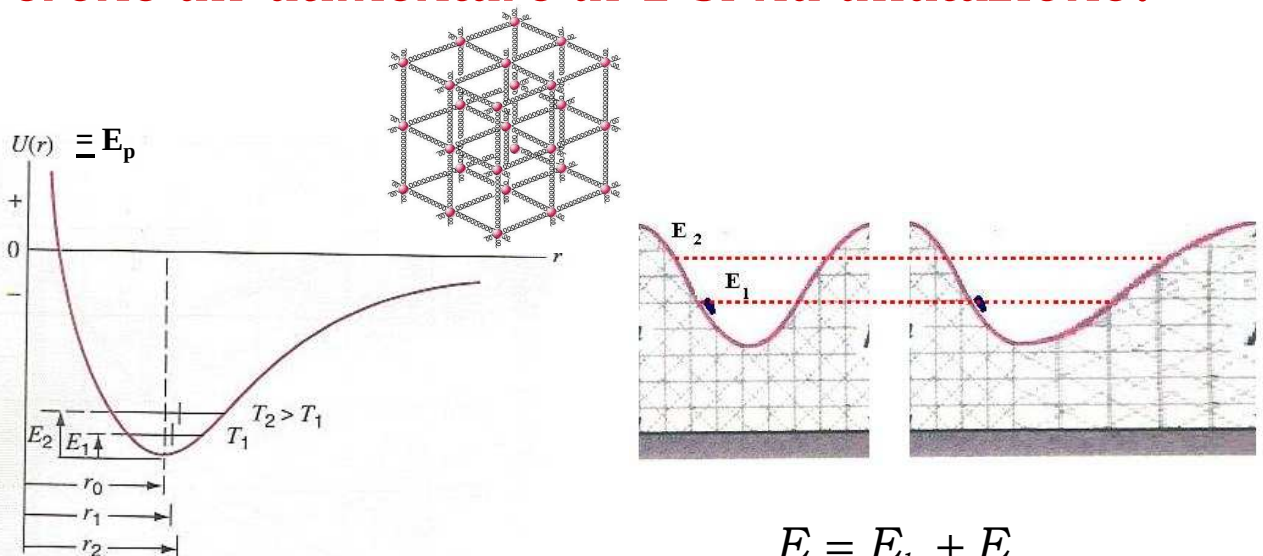
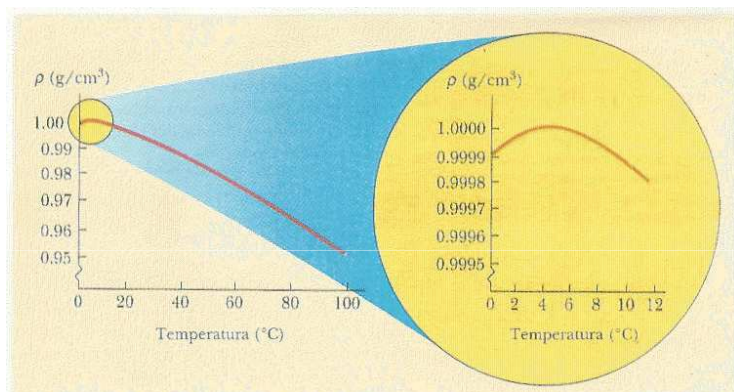


FIGURA 21.12 Curva dell'energia potenziale per due atomi adiacenti in un solido, in funzione della loro distanza internucleare. La distanza d'equilibrio è r_0 . Grazie all'asimmetria della curva, la distanza media (r_1 , r_2) cresce con la temperatura (T_1 , T_2) e l'energia vibrazionale (E_1 , E_2).

Maggiore temperatura $\equiv$ Maggiore energia interna $\equiv$ maggiore energia cinetica.

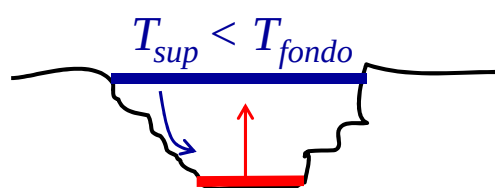
Il comportamento anomalo dell'acqua



Densità $\rho = \text{massa (m)}/\text{Volume (V)}$

Da 0 a 4 °C l'acqua si contrae
da 4 in su si dilata

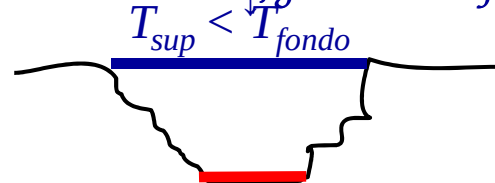
Aria da 7 °C in giù $T \downarrow$



Questo è “vitale” per gli esseri viventi,
ma è deleterio per i monumenti.

Gelo

Aria da 4 °C $T \downarrow$, ghiaccio in sup.



Penetrazione di acqua nei
materiali porosi. Se $T < 0^\circ\text{C}$ si ha
ghiaccio superficiale (tappo).
L'acqua interna, congelando
aumenta di volume e provoca
fratture.

L'ambiente dove si trova un opera d'arte l'aria: una miscela di gas

1976 U. S. Standard dell'aria

Azoto	N_2	78.08 %
Ossigeno	O_2	20.95%
Argon	Ar	0.93 %
Anidride carbonica	CO_2	0.0314%
Neone	Neon	0.001818
Elio	He	0.000524
Kripton	Kr	0.000114
Xenon	Xe	0.0000087
Metano	CH_4	0.0002
Acqua	H_2O	0.00005

$T = 288.15 \text{ K}$,

Pressione $101325 (1.013 \cdot 10^5) \text{ Pa}$ (760 mm Hg)

Densità 1225 g/m^3 (1.225 g/l)

Dilatazione dei gas

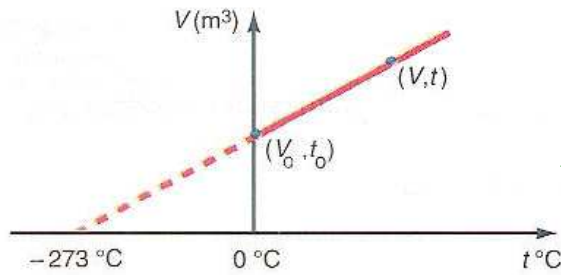
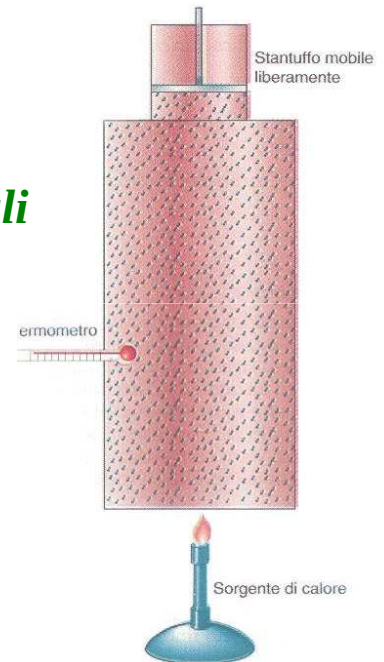


Figura 15.5

Diagramma di V in funzione di t per un gas a pressione costante.

Dati sperimentali



$$\Delta V = m \cdot \Delta t,$$

da $\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta t$ si ha: $m = \beta \cdot V_0$

**Per tutti i gas che non condensano,
a pressione costante si ha lo stesso β**

$$= \frac{1}{273.15 \text{ °C}}$$

Utilità della scala assoluta o Kelvin (K)

Riscriviamo $\Delta V = \beta \cdot V_0 \cdot \Delta t$ come ($t_0 = 0 \text{ °C}$) si ha $V = V_0 (1 + \beta \cdot t)$

Conversione di T da $^{\circ}\text{C}$ a K

$$t_k = T = t_c + 273.15$$

$$V = V_0 \cdot \left(1 + \frac{t}{273.15}\right) = V_0 \cdot \left(\frac{273.15 + t}{273.15}\right) =$$

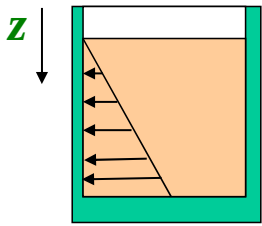
$$= V_0 \cdot \left(\frac{273.15 + T - 273.15}{273.15}\right) = \left(\frac{V_0}{273.15}\right) \cdot T$$

$$V = \left(\frac{V_0}{273.15}\right) \cdot T$$

**1ª legge di Gay-Lussac
o (Volta Gay-Lussac)**

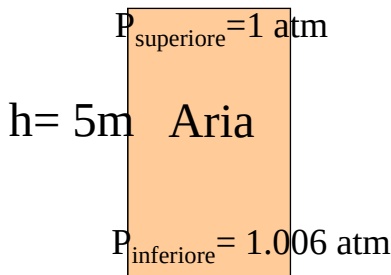
$$\begin{cases} V_1 = \left(\frac{V_0}{273.15}\right) \cdot T_1 \\ V_2 = \left(\frac{V_0}{273.15}\right) \cdot T_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{V_1}{V_2} = \frac{\left(\frac{V_0}{273.15}\right) \cdot T_1}{\left(\frac{V_0}{273.15}\right) \cdot T_2} \end{cases} \Leftrightarrow \boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}}$$

Definizione di pressione



La pressione è la forza esercitata da un fluido (liquido o gas) su una superficie di area unitaria: $p = F/A$

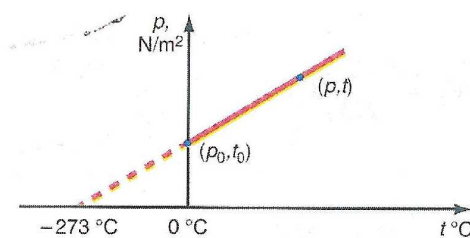
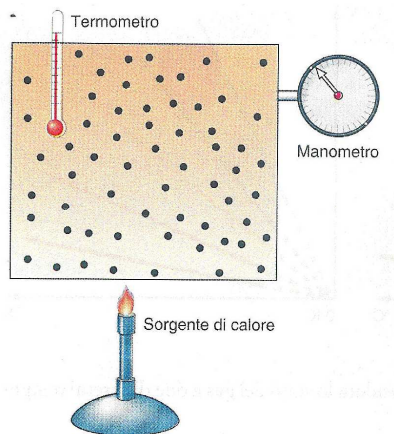
La pressione varia lungo la verticale z , a livelli più bassi si ha un peso maggiore di fluido, che dipende dalla densità del fluido stesso.



$$p = \frac{F}{A} = [\text{Pa}] = \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = \left[\frac{\text{kg m/s}^2}{\text{m}^2} \right]$$

La pressione in un serbatoio contenente gas si può considerare costante, i gas hanno una densità troppo piccola per produrre differenze rispetto all'altezza del contenitore.

2^{nda} legge di Gay-Lussac



$$\Delta p = m' \cdot \Delta t,$$

Anche in questo caso si ha $m' = \beta \cdot p_0$,
come per la variazione di volume si aveva $m = \beta \cdot V_0$

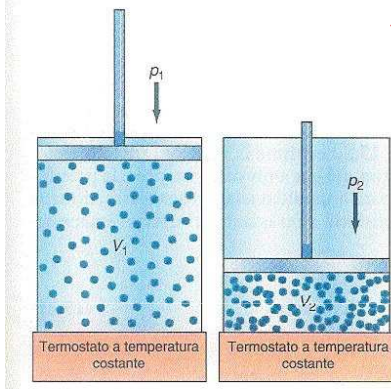
Quindi si ha:

$$p = \left(\frac{p_0}{273.15} \right) \cdot T$$

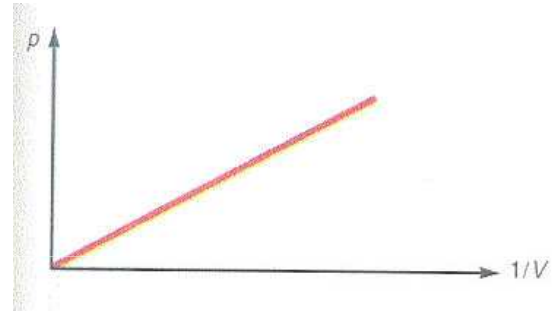
2^a legge di Gay-Lussac
o (Volta Gay-Lussac)

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Legge di Boyle - Mariotte



$$p \propto \frac{1}{V}$$



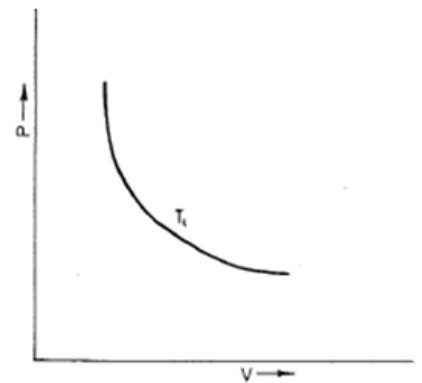
Si comprime un gas rarefatto con un sistema di termostatazione che permetta di mantenere costante la temperatura, si ottiene il comportamento riportato sopra.

Posso riscriverla quindi $pV = \text{costante}$

$$p_1 V_1 = \text{costante} \quad e \quad p_2 V_2 = \text{costante}$$

$$\downarrow$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$



Partiamo dalla relazione $p_1 V_1 = p_2 V_2$ (§)

Prendiamo la 1ª legge di Gay-Lussac: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

Moltiplichiamo 1º e 2º membro dell'equazione (§) per questa quantità uguale:

$$\frac{V_1}{V_2} * p_1 V_1 = p_2 V_2 * \frac{T_1}{T_2} \quad (\#)$$

Prendiamo la 1ª legge di Gay-Lussac: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$

Moltiplichiamo 1º e 2º membro dell'equazione (#) per una quantità uguale

$$\frac{p_1}{p_2} * \frac{V_1}{V_2} * p_1 V_1 = p_2 V_2 * \frac{T_1}{T_2} * \frac{T_1}{T_2}$$

Si ricava

$$\boxed{\frac{p_1^2 V_1^2}{p_2 V_2} = \frac{T_1^2}{T_2^2} \cdot \frac{p_2 V_2}{T_1^2}} \quad (\$)$$

Cerco di ordinare a 1° membro tutto con il pedice 1 ed al 2° con il pedice 2, moltiplicando 1° e 2° membro dell'equazione (\$) per una quantità uguale

$$\boxed{\frac{p_2 V_2}{T_1^2}} = \boxed{\frac{p_2 V_2}{T_1^2}}$$

Semplifico;

$$\boxed{\frac{\cancel{p_2 V_2}}{T_1^2}} * \boxed{\frac{p_1^2 V_1^2}{\cancel{p_2 V_2}} = \frac{\cancel{T_1^2}}{T_2^2} \cdot \frac{p_2 V_2}{\cancel{T_1^2}}} * \boxed{\frac{p_2 V_2}{\cancel{T_1^2}}}$$

Si ha quindi;

Equazione di Stato dei Gas perfetti

$$\boxed{\frac{p_1^2 V_1^2}{T_1^2} = \frac{p_2^2 V_2^2}{T_2^2}} \equiv \boxed{\frac{pV}{T} = \text{cost}}$$

Tutti i tipi di gas in condizioni rarefatte (pressioni basse o alte T) soddisfano la seguente legge:

$$\boxed{pV = \text{cost } T}$$

Cos'è questa "costante"?

Continua

Equazione di Stato dei Gas perfetti

$$\frac{p_1^2 V_1^2}{T_1^2} = \frac{p_2^2 V_2^2}{T_2^2} \equiv$$

$$\frac{pV}{T} = \text{cost}$$

P= Pressione

(£) V=Volume

T= Temperatura

Le leggi delle proporzioni costanti:

1 V di H₂ + 1 V di Cl₂ danno 2 V di HCl

e delle proporzioni multiple: 2 V di idrogeno si combinano con 1 V di Ossigeno per ottenere 2 V di vapore acqueo: 2H₂ + O₂ = 2H₂O.

Hanno portato alle legge di Avogadro: stessi volumi di gas in condizioni di p e T simile contengono lo stesso numero di molecole.

La costante dell'equazione (£) è la quantità di gas.

il campione di misura è la mole.

1 mole a T = 0 °C e p = 1 atm occupa un volume di 22.4 l.

$$pV = \nu RT$$

ν = numero di moli

1 mole contiene N_A = 6.022 10²³ molec/mole, n. di Avogadro

Numero di Loschmidt N_L = 2.69 10¹⁹ molec/cm³

Equazione di stato

$$pV = \nu RT$$

$$R = 8.31 \text{ J/mol K}$$

Potremmo descriverla n° moli (ν), massa (W) o densità molecolare(n).

$$n^\circ \text{ di moli} = \nu = \frac{\text{Massa gas}}{\text{Numero di massa Molecolare}} = \frac{W}{M}$$

$$N = \# \text{ molecole} = \nu N_A$$

$$n = \text{densità molecolare} = \text{numero di molecole/V}$$

$$n = \nu \cdot \frac{N_A}{V} = \frac{W}{M} \frac{N_A}{V}$$

$$P = \nu \cdot RT \frac{1}{V} = \frac{W}{M} RT \frac{1}{V}$$

$$\frac{\boxed{}}{\boxed{}} =$$

$$\frac{p}{n} = \frac{R}{N_A} T$$

=

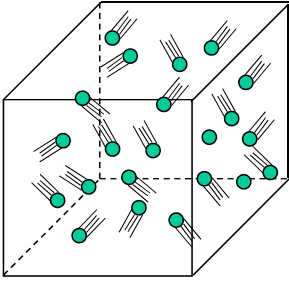
$$p = nkT$$

Legge di Dalton

In Cond. standard (0 °C, 1atm): $n = 2.69 \cdot 10^{19} \text{ molec/cm}^3$: # Loschmidt

$$\begin{aligned} P &= nkT = n_1 kT + n_2 kT + \dots + n_i kT \\ &= P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i \text{ (Gas Ideali)} \end{aligned}$$

Teoria cinetica dei Gas



Gas: un numero grandissimo di molecole in moto caotico. Interazione tra molecole solo in caso di urto.

Calcolando la pressione come dovuta all'urto di tutte le molecole con le pareti si ottiene la relazione:

$$pV = \frac{2}{3} N \left(\frac{m \bar{v}_{media}^2}{2} \right)$$

E_c

*Energia Cinetica
media di tutte le molecole*

Confrontiamo l'equazione con:

$$pV = \nu RT = \frac{N}{N_A} RT = NkT$$

Si ottiene

$$\bar{E}_c = \frac{3}{2} kT$$

$$T \propto \bar{E}_c$$

La temperatura è l'energia di "movimento" media delle molecole.