

5° Lezione

5° Lezione

Termodinamica

- **Bellini-Manuzio, Fisica per le Scienze della Vita, Piccin (viale regina margherita 290)**
- **Serway-Jewett, Principi di Fisica, EdiSes**
- **-Physics in Biology and Medicine, Paul Davidovits, Elsevier Academic Press**
- **-Physics of the Human Body, Irving P. Herman, Springer.**

5° Lezione

Temperatura:

S.I. → (K) grado Kelvin
Praticamente → (°C) grado Celsius
(°F) grado Fahrenheit

Grado Kelvin: $T(K) = t(^{\circ}C) + 273^{\circ}$

Grado Fahrenheit: $t(^{\circ}F) = 32^{\circ} + t(^{\circ}C) \frac{9}{5}$

Termodinamica

Formulazione *Fenomenologica*



Termodinamica Classica

Sistema termodinamico → *Macrostato*



Stato termodinamico

Parametri Termodinamici:

pressione, temperatura, volume

Termodinamica

Sistema isolato



- ⊘ **NON** permette scambio di materia
- ⊘ **NON** permette scambio di energia

Sistema chiuso



- ⊘ **NON** permette scambio di materia
- ✓ **Si scambio di energia**

Equilibrio:

***I parametri termodinamici sono costanti nel tempo
(o variano lentamente) → Processi reversibili***

Termodinamica

Trasformazioni Termodinamiche:

- **Chiusa:** I parametri termodinamici (p.td.) tornano ai valori iniziali
- **Aperta:** I p.td. Non tornano ai valori iniziali
- **Reversibile:** caratterizzata da una successione di stati di equilibrio;
→ *IDEALE*
- **Irreversibile:** caratterizzata da una successione di stati di non equilibrio;
→ *REALE*
- ✓ **Isoterma:** → $T = \text{cost}$
- ✓ **Isocora:** → $V = \text{cost}$
- ✓ **Isobara:** → $P = \text{cost}$
- ✓ **Adiabatica** → scambio di calore = 0; il sistema è termicamente isolato

Termodinamica

Volume

Il concetto di temperatura deriva da un raffinamento quantitativo della sensazione di caldo e di freddo della nostra pelle.

La temperatura è la grandezza fisica che caratterizza l'equilibrio termico. Due corpi uno caldo e uno freddo (percezione umana), se avvicinati raggiungono una temp intermedia di equilibrio. Serve uno strumento di misura oggettiva della temperatura.

L'esperienza indica che i corpi aumentano le loro dimensioni quando, a $p=\text{cost}$, sono riscaldati.

...Termometri

Termodinamica

1 passo: uso di strumenti che evidenziano l'effetto termico su un dato materiale (sostanza termometrica e.g. mercurio) → **Termometri**

Termometri a mercurio:

Immersione in ghiaccio fondente → valore 0

Immersione in acqua bollente → valore 100

Intervallo suddiviso in 100 tacche equidistanti

Termodinamica

→ Termometri

Termometri a mercurio:

E' definita **convenzionalmente** la temperatura della sostanza termometrica Hg (in ghiaccio fondente – acqua bollente) e assunta una dipendenza lineare tra il volume del mercurio e la temp.

$$V(t) = V(0) + [V(100) - V(0)] \cdot t$$

Nota: Dipendenza dalla sostanza termometrica

Termodinamica

Sperimentalmente, si osserva che a **$p=\text{cost}$** , il volume di un corpo e quindi la sua temperatura dipendono solo dal presente stato termodinamico del corpo e non c'è dipendenza dalla storia termica pregressa



Le sostanze tenute a ***$p=\text{cost}$ e che stanno cambiando il loro stato di aggregazione*** sono dei buoni riferimenti per la temperatura. Infatti i corpi immersi in sostanze con queste caratteristiche raggiungono sempre la stessa temperatura (ghiaccio fondente – acqua bollente)

Diagramma di stato

Diagramma pressione-volume su cui al variare del volume e per una temperatura fissata (isoterma) si riportano i valori del volume occupato da una mole di una sostanza.

- $T > T_c$ impossibile passaggio Aeriforme $\rightarrow$ Liquido ⊘
- $T < T_c$ è possibile Aeriforme $\rightarrow$ Liquido ✓



Gas: aeriforme per $T > T_c$

Vapore: aeriforme per $T < T_c$

Zona B: Regione di Vapore insaturo

Zona C: Regione di Vapore saturo:

$P = \text{cost}$ (P_{vs} : P vapore saturo)

P_{vs} dipende solo dalla temp a cui si lavora

Stato liquido e vapore coesistono

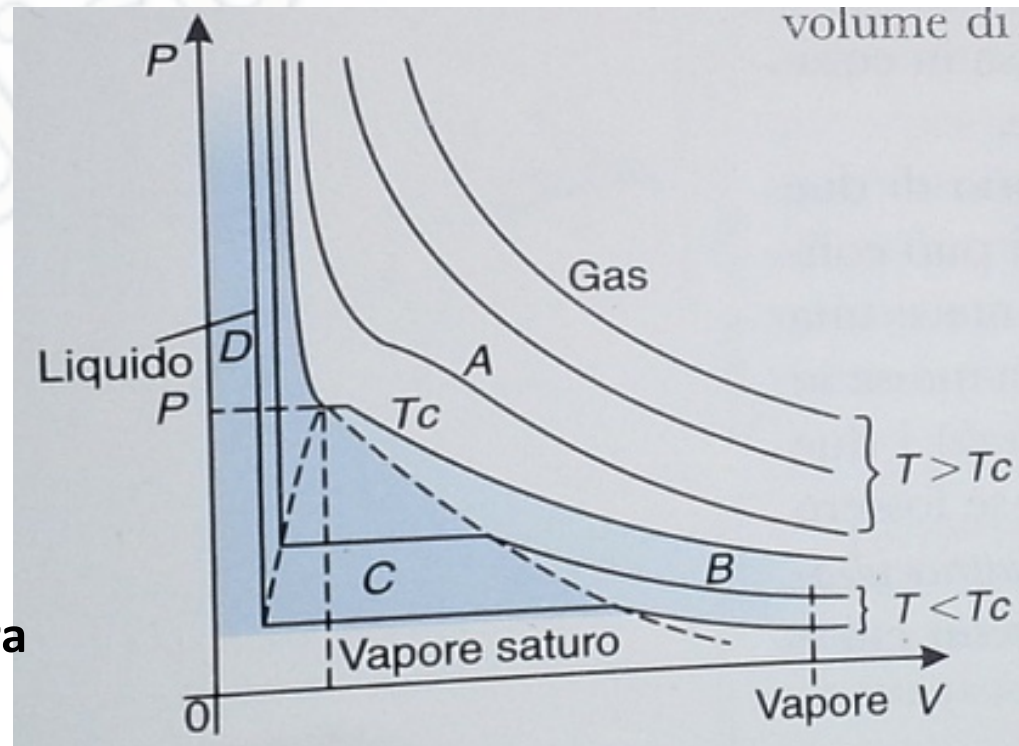


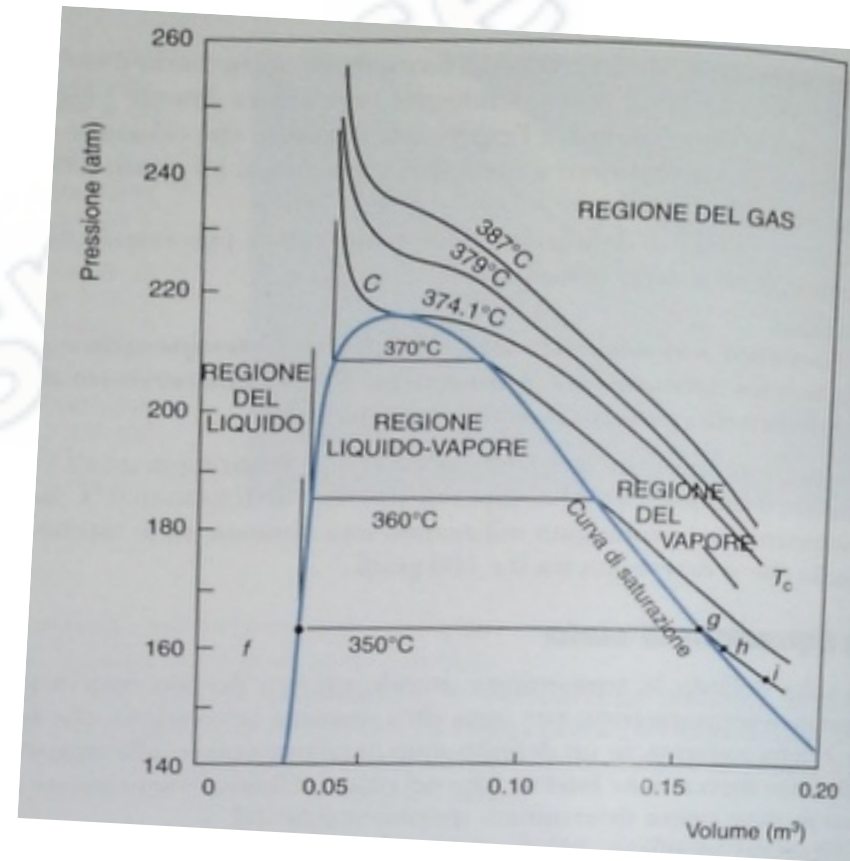
Diagramma di stato

Eq. Stato per l'acqua
(Liquido, Gas, Vapore)

Valore del volume di 100g di H₂O
Al variare del volume e per diversi
valori della temperatura

$T_c = 374.1^\circ\text{C}$

Tabella T1.2 Le pressioni di vapore saturo dell'acqua		
Temperatura °C	Pressione atm	Pressione mmHg
374,1	218,3	—
300	84,8	—
250	39,2	—
200	15,3	—
150	4,69	—
100	1,00	760
80	0,466	354
60	0,196	149
40	0,0728	55,3
37	0,0621	47,2
30	0,0418	31,8
20	0,0230	17,5
15	0,0168	12,8
10	0,0121	9,2
5	0,00856	6,5
0	0,00626	4,8



Termodinamica

2 passo: Basato sull'osservazione sperimentale
(tra 1600-1800)

Tutti i gas a temperature lontane dalla temp. critica e in condizione rarefazione rispetto alla densità per la quale cominciano a diventare liquidi, verificano tutti l'equazione di stato

$$V(p, t) = \frac{n \cdot R \cdot (t + 273)}{p}$$

$$R = 8.31 \text{ joule/mole grado}$$

V: volume del gas alla pressione “p” e temperatura “t”
n: numero di moli del gas.

Termodinamica

Osservazione sperimentale
(tra 1600-1800)

Se si esprime la temperatura con la scala Kelvin:

termometro in ghiaccio fondente $\rightarrow 273$ K

termometro in acqua bollente $\rightarrow 373$ K

Termometro a gas perfetto
La costante di dilatazione del gas
Perfetto è $\sim 1/273$ purché il gas sia molto rarefatto

$$V(p, t) = \frac{n \cdot R \cdot (t + 273)}{p} = \frac{n \cdot R \cdot T}{p}$$

$$T = t + 273$$

Fino ad ora la temperatura era basata sulle proprietà di dilatazione del mercurio.



Usando n-moli di un gas perfetto come sostanza termometrica si può ridefinire la temperatura

$$T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$$

Termodinamica

Osservazione sperimentale
(tra 1600-1800)

Fino ad ora la temperatura era basata sulle proprietà di dilatazione del mercurio.



Usando n-moli di un gas perfetto come sostanza termometrica si può ridefinire la temperatura

$$T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$$

Siamo svincolati dall'uso di una particola sostanza e la def è praticamente universale

Teoria cinetica dei gas

Tramite la teoria cinetica dei gas: studio del comportamento degli aeriformi (movimento molecole e atomi del gas)

→ Per un aeriforme in un recipiente:

P: pressione del gas sulle pareti del recipiente

V: volume occupato dal gas

N: numero di molecole

M: massa di una molecola

$\langle u^2 \rangle$: valore medio del quadrato della velocità di una molecola

$$pV = \frac{N \cdot m \cdot \langle u^2 \rangle}{3}$$

Ma vale anche:

$$PV = n \cdot R \cdot T$$

Teoria cinetica dei gas

Quindi

$$\begin{cases} pV = n \cdot R \cdot T \\ pV = \frac{N \cdot m \cdot \langle u^2 \rangle}{3} \end{cases} \Rightarrow n \cdot R \cdot T = \frac{N \cdot m \cdot \langle u^2 \rangle}{3}$$

Ricorda:

1 mole di sostanza = $6.022 \cdot 10^{23}$ Num. Avogadro (N_0)

$N = n \cdot N_0$ numero totali di atomi o molecole

$$\Rightarrow \frac{3R}{2N_0} \cdot T = \frac{1}{2} m \cdot u^2$$

Cioè la temperatura assoluta è la misura diretta dell'energia cinetica di traslazione del moto caotico degli atomi o delle molecole di tali gas.

Quindi: T è l'indicazione *macroscopica* di una proprietà *microscopica*

Legge di Dalton

Quindi

$$\Rightarrow \frac{3R}{2N_0} \cdot T = \frac{1}{2} m \cdot u^2$$

Ricorda:

1 mole di sostanza = $6.022 \cdot 10^{23}$ Num. Avogadro (N_0)

$N = n \cdot N_0$ numero totali di atomi o molecole

Se ho delle molecole di massa diversa, la loro energia cinetica caotica di traslazione è identica se T è fissata

↓

La pressione totale esercitata da una miscela di gas e vapori è la somma delle pressioni parziali esercitate da ciascun componente, e la pressione parziale di ogni componente è la pressione che quel componente eserciterebbe se occupasse da solo tutto il volume a disposizione della miscela

Calore

Il **calore** è una **grandezza che passa da corpi più caldi a quelli più freddi**. E' un “**meccanismo**” col quale l'energia è trasferita tra un sistema e il suo ambiente circostante a causa di una Δt . Il calore è anche la **quantità Q di energia trasferita con questo meccanismo**

Corpi caldi aventi stessa massa ma composizione chimica diversa e stessa temperatura, scaldano diversamente una stessa quantità di sostanza a temperatura inferiore



Quindi la temperatura non è una misura del calore

Calore

Metodo di misura della quantità di calore:

Un corpo a temp t viene messo in un contenitore a pareti isolanti contenente ghiaccio. Il corpo si porta alla temperatura di riferimento di 0°C e una parte di ghiaccio si fonde. La massa del ghiaccio che fonde è la misura di calore. Si trovò che la quantità di ghiaccio che fonde è proporzionale alla massa del corpo e alla sua “ t ” iniziale.

$$Q = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad c_p: \text{Calore specifico pressione costante}$$

Calore

$$Q = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad c_p: \text{Calore specifico pressione costante}$$

Calore ceduto da un corpo che si porta da t_2 a t_1

$$Q = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$$

Q è positivo se il calore è ceduto al corpo
 Q è negativo se il calore è sottratto al corpo

Unità di misura:

piccola caloria (cal): Quantità di calore che occorre cedere (o sottrarre) ad un grammo di acqua affinché la temperatura di esso aumenti (o diminuisca) di 1°C

grande caloria (Cal): $1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal}$

→ $C_p \rightarrow (1 \text{ cal gr}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1})$ (il riferimento è l'acqua)

Calore

Il calore scambiato da un corpo per passare dalla temperatura t_i alla t_f dipende dal modo in cui la trasformazione avviene

Per i solidi e liquidi è sempre valida

$$Q = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$$

Q è positivo se il calore è ceduto al corpo

Q è negativo se il calore è sottratto al corpo

Per i gas bisogna considerare due distinti calori specifici :

$c_p = M c_p'$ calore specifico molare con M =peso molecolare.

Per pressione costante : $c_p = M c_p'$ (per trasformazioni a p = costante)

Per volume costante: $c_v = M c_v'$ (per trasformazioni a V = costante)

$$Q = n \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{per } p=\text{cost}$$

conviene usare le moli per i gas

$$Q = n \cdot c_v \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{per } V=\text{cost}$$

Calore

Capacità termica dei corpi:

$$C_p = m \cdot c_p$$

$$\Rightarrow Q = C_p \cdot (t_2 - t_1)$$

Capacità termica: caratterizza, a $p=\text{cost}$, il comportamento di un corpo specifico. Ottimo indicatore quando si vuole conoscere la variazione di t di un corpo quando cede o prende una quantità di calore a ***$p=\text{cost}$ per i gas o in ogni caso per liquidi e solidi***

La capacità termica è tanto più grande quanto più sono piccole le variazioni di temperatura del corpo quando cede una quantità di calore

$$C_p = \frac{Q}{(t_2 - t_1)}$$

Scambio di Calore quando lo stato di aggregazione non varia

Scambio di calore tra sostanze che non cambiano stato di aggregazione. Due corpi uno a t_1 e l'altro a t_2 con $t_1 > t_2$ in un contenitore con pareti isolanti e capacità termica trascurabile. I due corpi a contatto termico si portano ad una temperatura finale t_f intermedia tra t_1 e t_2

Corpo a t_1 $Q = m \cdot c_p \cdot (t_1 - t_f)$ Perde calore

Corpo a t_2 $Q' = m' \cdot c_p' \cdot (t_f - t_2)$ acquista calore

in un sistema isolato il calore fluisce solo tra i due corpi
quindi tanto calore è ceduto da un corpo tanto ne viene
acquistato dall'altro corpo

$$\Rightarrow m \cdot c_p \cdot (t_1 - t_f) = m' \cdot c_p' \cdot (t_f - t_2)$$

Scambio di Calore quando lo stato di aggregazione varia

Scambio di calore in presenza di diverso stato di aggregazione

- **Acqua che bolle (liquido-gassoso)**
- **Ghiaccio che fonde (solido-liquido)**

Si cede calore al corpo che cambia la sua temperatura fino ad arrivare al punto in cui il cambiamento dello stato di aggregazione avviene.

(acqua che arriva in ebollizione)

Durante tutto il processo di cambiamento la temperatura rimane costante

- ➔ Il calore continua ad essere scambiato ma la temperatura non varia
- ➔ Quindi la temp. non può essere un indicatore di un contenuto di calore di un corpo

Scambio di Calore quando lo stato di aggregazione varia

Scambio di calore in presenza di diverso stato di aggregazione

- **Acqua che bolle (liquido-gassoso)**
- **Ghiaccio che fonde (solido-liquido)**

Durante tutto il processo di cambiamento la temperatura rimane costante anche se lo scambio di calore continua

➔ Si trova che la quantità di calore assorbito o ceduto da una sostanza affinché essa cambi stato è:

$$Q = \lambda \cdot m$$

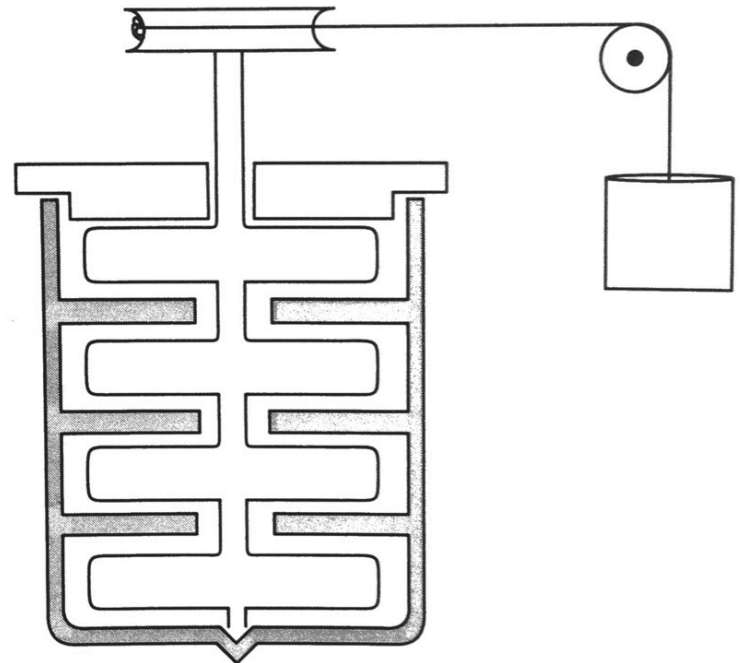
E' detta Calore Latente dipende dal tipo di sostanza, dal tipo di cambiamento di stato e dalla pressione a cui esso avviene

Joule: Calore=Energia

- Quando lo stato iniziale e finale dei corpi soggetti ad attrito sono identici, esiste proporzionalità diretta tra il calore prodotto e l'energia meccanica dissipata. Tenendo conto della produzione di calore, non si ha sparizione di energia (attrito) ma vale sempre un principio di conservazione dell'energia
- Equivalente meccanico della caloria

$$\frac{Q(cal)}{W(J)} = 4.184$$

$$1cal = 4.18J$$



La velocità finale del corpo è tanto minore quanto maggiore è il lavoro W speso contro le forze di attrito $\rightarrow$ la misura della velocità finale consente la misura di W

Joule: Calore=Energia

- Esiste una energia interna che è misurabile ed è funzione dei parametri termodinamici macroscopici (p,V,composizione)
- Il calore è una misura del passaggio di energia interna tra i corpi
- Validità del principio di conservazione dell'energia sempre

Per un gas monoatomico $U = n \frac{3}{2} RT$ Per 45 moli di gas a $t=20^{\circ}\text{C} \rightarrow U \sim 164 \text{ kJ}$

Per variare l'energia interna:

- Scambio di energia tra corpi (contatto termico)
- Si spende del lavoro sul sistema (atomi e molecole del corpo). Questo è un metodo controllato.

Variare l'energia interna

Per variare l'energia interna:

- Scambio di energia tra corpi (contatto termico)
- Si spende del lavoro sul sistema (atomi e molecole del corpo). Questo è un metodo controllato.

➔ Compressione: il pistone, durante la compressione di un gas, aumenta la velocità media delle molecole quindi l'energia cinetica e dunque anche la temperatura.

$$dW = F_x dx = pSdx$$

$$dW = -pdV \quad (\text{diminuzione di volume})$$

$$\Rightarrow W = -p \cdot (V_f - V_i) \quad (\text{se } p = \text{cost})$$

$$\Rightarrow W = \int_{V_i}^{V_f} p dV \quad (\text{se } p \text{ non è cost})$$

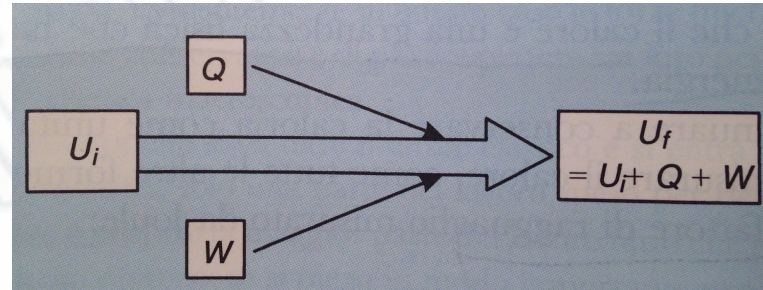
1 principio della Termodinamica

L'energia che un sistema termodinamico scambia sotto qualsiasi forma, calore e/o lavoro, in una trasformazione $A \rightarrow B$, è uguale alla corrispondente variazione di energia interna

Per aumentare l'energia interna di un corpo:

- Cessione di calore da parte di un altro corpo (**Q**)
- Dissipazione di lavoro meccanico sulle molecole del corpo (**W**)

$$\Delta U = U_f - U_i = Q + W$$



- **Q e $W > 0$ quando aumentano l'energia interna del corpo**
- **Q e $W < 0$ quando diminuiscono l'energia interna del corpo**

L'energia interna che un corpo possiede si riflette sui parametri termodinamici macroscopici del corpo

→ l'energia interna di un corpo è una funzione di stato cioè solo dallo stato iniziale e finale (non dal tipo di trasformazione)

1 principio della Termodinamica

$$Q = n \cdot c_v \cdot \Delta t$$

$$Q = n \cdot c_p \cdot \Delta t$$

Relazione tra calore e temperatura valide rispettivamente a $V=\text{cost}$ e a $p=\text{cost}$.

$$\Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta t$$

Variazione di energia interna

Se $V=\text{cost} \rightarrow$ non c'è lavoro di espansione né di compressione quindi dal 1° principio:

$$\Delta U = Q \text{ quindi } \Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta T$$

Per i solidi e i liquidi il volume varia poco durante il cambiamento di temperatura e quindi quanto detto può essere considerato vero.

....per sostanze che non cambiano stato

$$Q = n \cdot c_v \cdot \Delta t$$

$$Q = n \cdot c_p \cdot \Delta t$$

Relazione tra calore e temperatura
valide rispettivamente a $V=\text{cost}$ e a
 $p=\text{cost}$.

$$\Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta t$$

**Variazione di energia interna sempre
valida**

Per gas perfetti, gas reali (in buona approssimazione)

- Si osserva: una variazione di volume di un gas perfetto che avvenga nel vuoto e quindi senza che il gas compia lavoro, non produce una variazione della temperatura del gas e quindi non cambia la sua energia interna.

→ l'energia interna è indipendente dal suo volume e quindi dalla pressione quindi
 $\Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta t$ è valida

$U=U(T)$: l'energia interna di un gas ideale dipende solo dalla Temperatura

→ Esperienza di Joule (espansione libera di un gas)

1 principio della Termodinamica

$$Q = n \cdot c_v \cdot \Delta t$$

$$Q = n \cdot c_p \cdot \Delta t$$

Relazione tra calore e temperatura valide rispettivamente a $V=\text{cost}$ e a $p=\text{cost}$.

$$\Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta t$$

Variazione di energia interna

c_v e c_p hanno valori differenti infatti:

se $p=\text{cost}$ un aeriforme che aumenta la sua t assorbendo calore, deve aumentare il suo volume e quindi compiere lavoro sull'esterno.

Se il processo avviene a $V=\text{cost}$ allora non c'è lavoro verso l'esterno