

**CINEMATICA** → studia le caratteristiche del moto indipendentemente dalle cause

### MOTO RETTILINEO

Rappresentazione intrinseca del moto → assegnare equazione della traiettoria con raggio vettore ( $i$  e  $j$ )

Legge oraria del moto →  $s=s(t)$ , relazione tra l'istante di tempo ( $t$ ) e la posizione ( $s$ ) del corpo in quell'istante, e di conseguenza esprime anche la velocità in funzione del tempo. E' lo spazio percorso in un tempo  $T$  (con  $V=cost$ ).

### MOTO RETTILINEO UNIFORME

E' caratterizzato da una velocità costante  $s(t)=s+v(s)t$

### MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

E' caratterizzato da un'accelerazione costante  $V=V_0+at$

**DINAMICA** → studia le caratteristiche del moto dipendentemente dalle cause

Ci sono forze di contatto (con un contatto diretto, calciare una palla, poggiare un oggetto) e forze a distanza (forza elettromagnetica, magnete ecc). A loro volta ci sono forze fondamentali (o interazionali, cioè forze gravitazionali, elettromagnetiche, nucleari deboli, e nucleari forti; e forze derivate cioè di contatto, vincolati, tensione di una fune, elastiche e apparenti.

**1 PRINCIPIO DELLA DINAMICA** (chiamato da alcuni primo principio di newton, anche se è attribuibile a galileo galilei il quale riformulò la teoria aristotelica dello stato naturale di un corpo secondo la quale lo stato naturale di un corpo è la quiete che può essere distrutta da una forza, il tutto vero se non ci fossero attriti; Galilei attraverso esperimenti mise un oggetto su una superficie piana e gli diede una forza iniziale per un piccolo istante, vedendo che l'oggetto si ferma grazie però all'attrito in quanto levigando la superficie l'oggetto tende ad avere una velocità più sostenuta fino a mantenere una velocità costante in assenza di attrito )

**In un sistema di riferimento inerziale (sistema nel quale non sono presenti forze apparenti, quindi un corpo si muove con  $v$  costante o è in stato di quiete) ogni corpo non sottoposto a forze esterne (o comunque la cui risultante sia zero) persiste nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.**

qui

**2 PRINCIPIO DELLA DINAMICA** (o legge di Newton)

PREMESSA...

Le cause che possono alterare la velocità di un punto materiale si chiamano Forze

Per quanto riguarda la Massa va osservato che esiste una proporzionalità tra il vettore di Forza applicata ad un punto materiale e l'accelerazione conseguita

Principio → **In un sistema inerziale, l'accelerazione di un corpo puntiforme è direttamente proporzionale alla somma delle forze stesse ed inversamente proporzionale alla massa del corpo  $F=ma$**  (dove  $F$  e  $a$  sono due vettori)  
 La quantità di moto si esprime con "p" e si calcola  $p=mv$ . Nel 1 principio  $p=(cost)$ , nel 2  $F=d(derivata)p/d(derivata)t$ .  
 Se la risultante delle forze esterne applicate al punto materiale è nulla ( $F=0$ ) allora  $p=cost$ .

**Teorema della conservazione della quantità di moto** → se impulso è  $p_1=p_2$  ( $p_1-p_2=0$ ) quindi  $\Delta p=0$

### 3 PRINCIPIO DELLA DINAMICA

**Ad ogni azione che esercita un corpo A su un corpo B corrisponde una reazione che esercita il corpo B sul corpo A uguale e contraria (uguale un modulo e direzione ma di verso opposto) diretta lungo la congiungente i due corpi considerati.**

Anche questo attribuibile a Newton, e vale sia per interazioni a distanza, sia per interazioni con contatto, per esempio, l'appoggiarsi ad un muro o la ruota della moto che permette il moto grazie all'interazione con l'asfalto.

**TIPI DI FORZE****LEGGE DI GRAVITAZIONE UNIVERSALE**

Avendo due corpi di masse diverse posti a distanza  $d$  tra di loro si attraggono mediante una forza chiamata gravitazionale uguale a  $F_g = G (m_1 \times m_2 / d^2)$ .  $G$  = costante di gravitazione universale =  $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{Kg s}^2$  (dovuta ad uno scienziato britannico, il quale calcolò quella della terra di 9.81)

**FORZA PESO**

Bisogna fare la distinzione tra peso e massa risiede nella accelerazione di gravità, infatti in realtà quando uno si pesa dovrebbe dire ho una massa di 100 kg, quindi la forza peso è 980N, sulla terra, andando su Marte invece peserei 370 (g Marte = 3.7)

In un sistema di riferimento legato alla terra, agisce una forza di attrazione e una forza centrifuga dovuta alla rotazione della terra (che rende il sistema di riferimento non inerziale). La somma delle forze è chiamata forza peso  $P = mg$ .

Che moto si può avere a causa della forza peso? Lancio un oggetto verso l'alto, su di esso agisce la forza peso. Qui  $m$  è una massa che favorisce il moto, non lo ostacola. Quindi  $F = m$  gravitazionale  $\times g = m$  inerziale  $\times a$ ; semplificando tale formula si arriva alla conclusione che  $F = g a$ , quindi la caduta di un oggetto non dipende dalla massa ma appunto dalla gravità. Quindi lanciando due corpi di masse uguali arriveranno a terra nello stesso momento. Ovviamente per fare lo stesso paragone con una piuma e una palla di piombo dovrei eliminare l'aria cioè l'impedimento o attrito che condiziona la piuma

**FORZA ELASTICA**

Si consideri un punto  $P$  all'estremità di una molla a spirale che a riposo ha una lunghezza  $l$ . La molla venga deformata assialmente e si indichi con  $x$  l'allungamento (positivo se è un'estensione, negativo se è un'accorciamento) La forza elastica esercitata sulla molla è pari a  $F = -kx$  con  $k > 0$ . Considerando che " $r$ " è il vettore con origine in  $O$  (posizione di riposo del punto  $P$ ) che fissa lo spostamento di  $P$ , la forza elastica ha espressione  $F = -kr$ , meglio conosciuta come legge di HOOKE.

**REAZIONI VINCOLARI**

Sono forze esercitate dal vincolo cui è soggetto il corpo. Supponiamo di avere un tavolo su cui è appoggiato un corpo di massa  $m$ , il tavolo è il vincolo. Ogni corpo è soggetto alla forza di gravità, ma il corpo non cade in quanto è soggetto a questo vincolo, che cerca di pareggiare la forza peso esercitando una forza di sostegno ( $R_n$ ) che ha lo scopo di pareggiare la forza peso. Inoltre si avrà una forza uguale e contraria a quella del vincolo.

Se si applicasse una forza  $F$  tangente alla superficie d'appoggio, è possibile vedere che il corpo resta in quiete fino a quando  $F \leq \mu_s R_n$ .  $\mu_s \rightarrow$  attrito statico,  $\mu_d \rightarrow$  attrito dinamico,  $R_n \rightarrow$  reazione vincolare

**RESISTENZE PASSIVE**

L'attrito radente è quella forza che si crea tra due superfici rugose che come sia si saldano tra di loro e creano una forza che riduce la quantità di forza applicata. L'attrito, dunque, ha direzione opposta alla forza.

L'attrito statico è quello che appunto si verifica quando il corpo è fermo quindi si creano queste microsaldature tra le due masse. Si passa all'attrito dinamico quando si rompono queste microsaldature ed il corpo inizia così a muoversi.

A  $\mu_{max}$  (attrito massimo) è il valore oltre il quale si rompono le microsaldature e si passa in regione dinamica da quella statica. Le resistenze passive sono quelle forze che si presentano durante il moto quindi  $V \neq 0$  (att. din). Ora mostro la tabella dell'attrito statico e dinamico (att. dinamico sarà minore di quello statico)

## FORZE CENTRIPETE, CENTRIFUGHE E DI CORIOLIS

Consideriamo un sistema inerziale in cui si muova un punto materiale P di massa  $m$ , di moto circolare uniforme.  $F$  centripeta =  $m\omega^2 r$  che è esercitata dal vincolo sul punto materiale P e che costringe il punto stesso a restare sulla traiettoria non circolare.

Consideriamo ora un sistema non inerziale che ruoti con P. in tale sistema quindi P risulta fermo e la forza totale agente su P risulterebbe nulla. In realtà eliminando il vincolo, P si muoverebbe soggetto a una forza diretta verso P detta forza centrifuga. Essa è uguale alla forza centripeta ma diretta nel verso contrario.  $F$  centrifuga =  $m\omega^2 r$   
Inoltre può anche essere calcolata come  $m V^2/r$ .

Per i corpi che ruotano in un sistema non inerziale cioè il punto materiale P non è in quiete, si ha la forza di CORIOLIS =  $-2m\omega$ .

## LAVORO

Consideriamo un punto materiale che si muova all'interno di un sistema di riferimento inerziale e percorra una traiettoria, perché soggetto ad una forza  $F$ . Pertanto uno spostamento elementare (piccolo) detto  $ds = r(t+\Delta t) - r(t)$ , quindi il lavoro sarà  $dL = F ds$ , per calcolare il lavoro di tutto il percorso dovremmo sommare tutti i lavori dei micropercorsi da cui è composto. Quindi  $L_{a,b} = \sum F ds = \sum F ds \cos\sigma$ . Dove  $\sigma$  è l'angolo compreso tra la forza applicata al punto materiale e lo spostamento. Possiamo avere dunque tre tipi di lavoro:

$L = 0 \rightarrow$  lavoro nullo, la forza è ortogonale allo spostamento quindi si ha  $\sigma = 90^\circ$

$L > 0 \rightarrow$  lavoro motore, l'angolo compreso tra forza e spostamento è acuto quindi si ha uno spostamento  $\sigma < 90^\circ$

$L < 0 \rightarrow$  lavoro resistente, l'angolo compreso tra forza e spostamento è ottuso quindi si ha uno spostamento  $\sigma > 90^\circ$

Il lavoro si misura in Joule che corrisponde al lavoro compiuto dalla forza di 1 Newton la quale produce uno spostamento di 1 metro parallelamente alla direzione della forza stessa quindi  $J = N m = (kg m^2)/s^2$

## CAMPI DI FORZE CONSERVATIVI

Sono quei campi in cui il lavoro compiuto dalla forza per spostare un punto materiale da una posizione qualsiasi del campo (P1) ad un'altra P2 non dipende dal percorso seguito ma esclusivamente dalla posizione iniziale e finale.

Alcuni esempi sono:

- Campi di forze uniformi  $\rightarrow$  in ciascun punto è definita una forza costante
- Campi di forze centrali  $\rightarrow$  la forza sia in ogni punto diretta verso un punto fisso O

## ENERGIA POTENZIALE

È la capacità delle forze a compiere un lavoro

L'energia potenziale di un corpo è un tipo di energia di cui sono dotati solamente i corpi soggetti all'azione di forze conservative; essa viene definita in modo che la variazione di energia potenziale di un corpo coincida con il lavoro cambiato di segno. Ogni corpo soggetto a una forza conservativa ha una propria energia potenziale, che viene definita in termini di variazione. Per definizione la variazione di energia potenziale di un corpo è uguale al lavoro cambiato di segno. La formula dell'energia pot. È  $\Delta U = -L$ .

Consideriamo un semplice esempio. Avete presente i flipper? Per far partire la pallina e iniziare a giocare bisogna tirare un pistoncino che comprime una molla. Sulla molla è poggiata una biglia d'acciaio cosicché, una volta sganciato il pistone, la molla si allunga e lancia la biglia. Il principio fisico per cui si rende necessario parlare di energia pot. sta proprio nella fase di avvio del gioco, e in particolare nella molla. Il giocatore, infatti, quando tira il pistone per comprimerla, sta esercitando una forza che fa spostare la molla dalla sua posizione di equilibrio a una posizione più arretrata, che ne determina la compressione. L'energia che abbiamo speso nel comprimere la molla, compiendo lavoro, è stata trasferita alla molla stessa sotto forma di energia potenziale:  $U_f - U_i = -L$

## ENERGIA CINETICA

È una grandezza strettamente legata alla variazione di velocità ovvero al movimento. In breve,  $k = \frac{1}{2} mv^2$ . Ogni punto materiale, per il solo fatto di essere in moto e di essere dotato di inerzia ( $m$ ) ha una capacità di compiere un lavoro, tale proprietà è espressa come  $T = \frac{1}{2} mv^2$  e deriva dal 2° principio della dinamica ( $\Delta L = F \cdot \Delta S$ ). **Enunciato:** qualunque sia la forza che viene applicata al corpo e che ne produce lo spostamento da A a B il lavoro compiuto da tale forza è sempre pari alla variazione di energia cinetica di tale punto materiale dalla posizione A alla posizione B. Teorema delle forze vive  $\rightarrow L_{tot} = \Delta K$

## LEGGE DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA (E=cost)

Per un punto materiale soggetto a forze conservative, la somma dell'energia potenziale  $U$  e di quella cinetica  $T$  (che non è altro che l'energia meccanica posseduta dall'intero sistema) resta invariata durante il moto che va dalla posizione A alla posizione B, ossia tale energia meccanica si conserva.

Si vede sperimentalmente che tutte le volte che sono presenti delle forze non conservative, si manifestano processi in cui la variazione di energia tra la posizione finale e quella iniziale, corrisponde perfettamente al lavoro compiuto dalle forze non conservative, cioè  $\sum L_{nc} = E_1 - E_2$ .

**LEGGE DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA**

In un qualsiasi processo durante il quale azioni di vario genere si esercitano su un punto materiale l'energia totale resta costante

**MECCANICA SISTEMI DI PUNTI MATERIALI****ENERGIA POTENZIALE**

Scegliamo ad arbitrio un sistema di punti materiali di riferimento (configurazione O) in un campo di forze conservative e prendiamo arbitrariamente il sistema di punti materiali in un'altra configurazione (configurazione P). Consideriamo il lavoro compiuto da tutte le forze (interne ed esterne) agenti sul sistema quando tale sistema passa dalla configurazione O alla configurazione P. Sia tale lavoro  $L_{O,P}$ . Poniamo tale lavoro pari alla differenza che una certa funzione assume in corrispondenza delle due configurazioni.

**URTI**

Si considerino due corpi che traslino senza ruotare con velocità  $v_1$  e  $v_2$  e si consideri la normale alle superfici dei due corpi nel punto di contatto che definiamo normale d'urto.

Allora l'urto è detto:

- Centrale  $\rightarrow$  per uno dei due corpi se la normale d'urto passa per il centro di massa
- Eccentrico  $\rightarrow$  in caso contrario

Inoltre, l'urto è detto

- Normale  $\rightarrow$  se la velocità relativa è parallela alla normale d'urto
- Obliquo  $\rightarrow$  in caso contrario

Dal punto di vista energetico:

- Elastico  $\rightarrow$  se l'energia cinetica si conserva; quindi i due corpi ( $U_1=U_2$ ) si allontaneranno uno dall'altro dopo l'urto, con una velocità relativa uguale in modulo a quella che avevano prima dell'urto. Cioè:  $|v_{12}| = |V_{12}|$
- Totalmente anelastico  $\rightarrow$  se la velocità relativa dopo l'urto è per definizione nulla. Cioè  $v_{12} \neq 0$   $V_{12} = 0$
- Parzialmente anelastico  $\rightarrow$  l'energia cinetica non si conserva, ma i due corpi si allontanano dopo l'urto con velocità relativa minore di quella precedente all'urto. Cioè  $V_{1,2} < v_{1,2}$ .

**MECCANICA DEL CORPO RIGIDO**

I corpi rigidi sono sistemi di punti materiali caratterizzati dal fatto che le mutue distanze fra due qualsiasi di essi non variano nel tempo qualunque siano le condizioni in cui il corpo venga a trovarsi

**CINEMATICA**

Un primo moto semplice, detto traslazione è quello in cui ad ogni istante tutti i punti del corpo hanno la stessa velocità vettoriale  $v(t)$  e descrivono quindi traiettorie parallele, in questo caso basterebbe riconoscere la  $v(t)$  di un solo punto per conoscere la posizione nello spazio del corpo rigido, nota la posizione iniziale

Un secondo moto semplice è quello di rotazione intorno ad un asse fisso. In questo caso tutti i punti dell'asse sono fermi e gli altri si muovono in più piani normali all'asse su traiettorie circolari con centro sull'asse e con uguale velocità angolare.

Una combinazione tra i due moti precedenti è quello "rototraslatorio"

**EQUAZIONI DEL MOTO**

Data una sollecitazione del corpo cioè certe forze esterne  $F_1, F_2, F_3, \dots$ . Applicate nei punti  $P_1, P_2, P_3, \dots$  del corpo, per tale sistema valgono:

- 1 equazione cardinale della dinamica  $\rightarrow F_e = dp / dt$
- 2 equazione cardinale della dinamica  $\rightarrow M_e = db / dt$  (dove  $M_e =$  momento risultante delle forze esterne, e  $b =$  momento della quantità di moto del sistema)

**ENERGIA CINETICA**

Per il corpo girevole intorno ad un asse fisso il lavoro è dato da : derivata  $L =$  derivata  $L_{int} +$  derivata  $L_{est}$

Quindi derivata  $L =$  derivata  $T$  (teorema del lavoro e dell'energia cinetica)

**STATICA**

Nel caso del corpo rigido le relazioni di equilibrio vedono coinvolte sia le forze che i momenti. Un corpo si trova in equilibrio quando sono verificate le due relazioni:

- $\sum F_e = 0$  (1 equazione cardinale della statica) (dove  $F_e =$  risultante delle forze esterne  $F_1, F_2, \dots$  applicate al corpo).
- $\sum M_e = 0$  (2 equazione cardinale della statica) (dove  $M_e =$  momento risultante delle forze esterne)

**FLUIDI****PROPRIETA' GENERALI DEI LIQUIDI**

- Hanno un volume proprio
- Non hanno forma propria ma assumono quella del recipiente che li contiene
- Sono incompressibili
- Sono elastici (si può osservare che appena tolto il peso, l'indice ritorna nella posizione primitiva)
- La superficie libera (di un liquido soggetto alla sola forza di gravità è perpendicolare alla direzione della gravità)

**PROPRIETA' GENERALI DEGLI AERIFORMI**

- Non hanno volume proprio
- Non hanno una forma propria ma assumono quella del recipiente
- Sono molto compressibili
- Sono molto elastici

**PRESSIONE**

È definita dal rapporto tra la componente perpendicolare  $F$  della forza agente su una superficie e la superficie  $S$  stessa  $\rightarrow P = F/S$

$$1 \text{ atm} = 1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

**PRESSIONE ESERCITATA SU UN FLUIDO**

Ad una sfera elastica di gomma, piena di acqua, è stato applicato un cilindro nel quale scorre uno stantuffo a tenuta; spingendo lo stantuffo, cioè esercitando la pressione in una sola direzione si vedrà la sfera aumentare di volume senza deformarsi.

Legge di Pascal: Una pressione esercitata in un punto di un fluido si trasmette in tutte le direzioni con la stessa intensità e sempre perpendicolare alla superficie premuta

Legge di Stevino: In un fluido pesante in equilibrio la differenza di pressione fra due punti separati da una distanza verticale  $h$  è pari al peso di una colonna di fluido di sezione unitaria ed altezza pari ad  $h$

**MISURA DELLE PRESSIONI**

Il primo dispositivo per la misura delle pressioni fu realizzato da Evan Torricelli. Consiste in una canna di vetro sufficientemente lunga, chiusa ad un'estremità, la quale viene riempita di mercurio e rivoltata in modo che l'estremità venga a trovarsi in una vaschetta di mercurio. Questa operazione viene effettuata con cura in modo da impedire l'ingresso di aria nella canna. La colonna di mercurio nella canna scende; nella parte superiore lo spazio contiene solo vapori di mercurio, la cui pressione a temperature normali può essere trascurata: si può cioè ammettere che tale spazio sia vuoto.

**PRINCIPIO DI ARCHIMEDE**

È noto che un tappo di sughero tenuto sott'acqua, lasciato libero, torna a galla; evidentemente è stato spinto da una forza diretta verticalmente dal basso verso l'alto.

Principio  $\rightarrow$  Un corpo immerso in un fluido pesante ed in equilibrio è soggetto ad una forza diretta verticalmente verso l'alto (spinta) di intensità pari al peso della massa fluida spostata, applicata al baricentro della massa fluida spostata (centro di spinta). Le condizioni sono: su un corpo immerso in un liquido agiscono due forze :

1. La forza peso  $F_p$  diretta verso il basso, applicata al baricentro del corpo
2. La spinta di Archimede  $F_a$  diretta verso l'alto applicata al baricentro del corpo

Sono possibili 3 casi :

- $F_p > F_a$  : il corpo affonda
- $F_p < F_a$  : la spinta di Archimede prevale sul peso quindi il corpo sale sospinto dalla forza ascensionale  $F_a - F_p$  finché  $F_a = F_p$
- $F_p = F_a$  : le due forze uguali come intensità e contrarie come verso si equilibrano

**DINAMICA****I TIPI DI MOTO**

Il moto di un fluido può essere:

- Stazionario  $\rightarrow$  quando la velocità  $v$  in un qualsiasi punto non cambia nel tempo
- Non stazionario  $\rightarrow$  quando la velocità in un punto cambia con il tempo
- Rotazionali  $\rightarrow$  se in un fluido si sostituisce una particella con una piccola ruota a palette, tale ruota
- Irrotazionali  $\rightarrow$  la precedente ruota a palette non verrebbe posta in rotazione mentre è trasportata dalla corrente
- Laminare  $\rightarrow$  si verifica per bassi valori di velocità cella corrente e le traiettorie percorse da ciascuna particella che compone la corrente sono parallele all'asse del condotto e sono posizionate l'una sull'altra

- Turbolento → le traiettorie percorse da ciascuna particella componente la corrente sono posizionate in maniera irregolare

### PORTATA DI UNA CORRENTE

Si definisce corrente una massa fluida in movimento

Si definisce filetto fluido la traiettoria percorsa da ciascuna particella componente la corrente

In ogni punto della corrente la velocità e la pressione si mantengono costanti al variare del tempo.

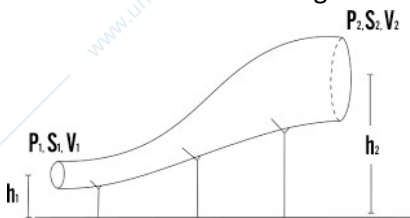
Dicesi portata di una corrente il volume di fluido che passa attraverso una sezione trasversale in un secondo.

### EQUAZIONE DI CONTINUITA'

In condizioni di moto stazionario la massa di un fluido contenuta entro una regione qualsiasi non varia. Supponiamo che le sezioni trasversali  $S$  del tubo siano sufficientemente piccole si da poter ritenere costanti in ciascuna di esse  $p$  e  $v$ . la massa fluida  $m_1$  che entra nel volume  $V$  del tubo si base  $S$  ed altezza  $l$  e quella  $m_2$  che lascia il volume nello stesso tempo devono essere uguali nel moto stazionario.

### TEOREMA DI BERNOULLI

Nel moto stazionario di un fluido ideale in un condotto la somma delle tre altezze : geometrica, piezometrica e d'arresto, è per tutte le sezioni costante. Il teorema di Bernoulli, o ancora principio di Bernoulli in fluidodinamica è una relazione che lega tra loro la velocità di scorrimento, la pressione e la densità di un fluido in un tubo con sezioni e altezze variabili, individuando una costante nel moto dei fluidi ideali. L'equazione di Bernoulli è la legge più importante della fluidodinamica. Per introdurla consideriamo un condotto consideriamo un condotto con sezione e altezza variabili come in figura :



All'interno del condotto scorre un fluido ideale, dunque incompressibile e non viscoso. Consideriamo due punti del condotto, ognuno con una propria sezione  $S$ , una pressione  $p$ , e una velocità di scorrimento del fluido  $v$  ed un'altezza  $h$ . il teorema di Bernoulli dice dunque che:

$$P_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho g h_2 \quad \text{quindi} \quad p + \rho \frac{u^2}{2} + \rho g h = \text{costante}$$

### TERMODINAMICA

Un sistema formato da un gran numero di particelle che può essere descritto per mezzo di poche grandezze globali fra le quali è compresa la temperatura è detto sistema termodinamico. Lo studio del comportamento di questi sistemi in varie circostanze in cui sono coinvolti scambi di calore e variazioni di temperatura di temperatura, è compito della termodinamica.

### EQUILIBRIO TERMODINAMICO

Si osserva sperimentalmente, che anche se inizialmente sono presenti fra le varie parti del sistema disuniformità, scompaiono e si raggiunge uno stato nel quale non sono più evidenti moti macroscopici ed alcune grandezze globali, quali la temperatura, hanno un valore costante nel sistema : si dice che il sistema ha raggiunto uno stato di equilibrio termodinamico. Un sistema termodinamico si trova in equilibrio quando:

- Le forze meccaniche sono in equilibrio
- Non vi è moto macroscopico osservabile fra le parti
- Tutte le parti del sistema sono alla medesima temperatura
- Eventuali reazioni chimiche hanno raggiunto l'equilibrio
- Processi di cambiamento di stato hanno raggiunto l'equilibrio

### VARIABILI DI STATO

Un sistema termodinamico è descritto da grandezze che prendono il nome di Variabili di stato che sono di due tipi:

- Intensive: I cui valori non dipendono dalle dimensioni del sistema (es: temperatura e pressione)
- Estensive: I cui valori dipendono dalla quantità di materia che costituisce il sistema (es: mole)

Le variabili di stato non sono tutte indipendenti tra loro ma sono legate da equazioni dette equazioni di

### TRASFORMAZIONI

Il passaggio da uno stato iniziale di equilibrio ad uno stato finale anche esso di equilibrio è detto Trasformazione. La trasformazione quantistica è quella dove il passaggio da uno stato all'altro avviene in un tempo enormemente lungo. Esistono anche trasformazioni quantistiche irreversibili

### LAVORO

Durante le trasformazioni di un sistema termodinamico, questo compie del Lavoro

## CALORE

In passato l'ipotesi più accreditata sul calore era quella del calore come fluido che si trovava nei corpi, in quanto riusciva a spiegare risultati sperimentali relativi ad esperienze nelle quali venivano messi in contatto corpi a temperatura più alta e corpi a temperatura più bassa e si notava lo stabilirsi di una temperatura intermedia. Quindi fu naturale pensare che il calore prodotto corrispondeva ad una trasformazione dell'energia meccanica che sembrava scomparire. Il calore dimostra avere le stesse dimensioni fisiche dell'energia. In realtà il calore nonostante abbia le dimensioni dell'energia non deve essere considerato come tale, cioè come una capacità a compiere un lavoro che un corpo può possedere, ma come un modo di trasferire energia da un sistema ad un altro per effetto di una differenza di temperatura. L'unità di misura per la quantità di calore è la caloria (cal): cioè la quantità di calore richiesta per innalzare da 14.5 °C a 15.5 °C la temperatura di un grammo di acqua.

## TRASMISSIONE DEL CALORE

La trasmissione del calore consiste nel passaggio di quantità di calore da un corpo ad un altro oppure da una parte di corpo ad un'altra. Esso avviene tramite tre meccanismi diversi:

- Convezione
- Conduzione
- Irraggiamento

## CONVENZIONE

La convezione è quel processo nel quale la trasmissione del calore è associata a movimento di materia. Quindi le particelle calde si portano nella parte più elevata della massa fluida e quelle più fredde nella parte inferiore, quindi il calore è trasmesso da una parte all'altra del fluido.

Nei fluidi la propagazione del calore avviene con un meccanismo che prevede il trasporto delle molecole riscaldate dal basso verso l'alto e di quelle fredde dall'alto verso il basso, realizzando così il mescolamento del fluido che si riscalda. Questo movimento è detto moto convettivo e il meccanismo di propagazione del calore nei fluidi è detto convezione. Nel caso dei liquidi la convezione viene sfruttata per riscaldare le case con i termosifoni. Nel caso di aeriformi la propagazione del calore avviene per convezione, per esempio, nell'aria e in tutti gli aeriformi se dovessimo liberare un'po' di polvere di gesso sopra un termosifone acceso, potremmo notare una corrente di aria calda leggera che sale sopra di esso.

## CONDUZIONE

Nei solidi il calore si trasmette per contatto diretto tramite un processo chiamato conduzione. L'energia interna di un sistema termodinamico è data dalla somma di tutte le energie: cinetica e potenziale delle particelle che lo compongono. L'energia cinetica di una molecola è dovuta alla somma di tre diversi contributi dovuti a tre diversi tipi di movimenti che la molecola può compiere:

- Energia cinetica traslazionale
- Energia cinetica rotazionale
- Energia cinetica vibrazionale

L'energia cinetica totale dovuta al contributo di questi tre tipi di energia cinetica è strettamente legata alla temperatura Assoluta. Le molecole del corpo a contatto con la superficie più calda avranno un'energia cinetica totale superiore a quella delle molecole del corpo a contatto con la superficie più fredda. così gli atomi delle molecole a contatto con la superficie più calda avranno delle vibrazioni con ampiezza ed oscillazione maggiore e trasferiranno energia alle molecole vicini per contatto diretto con energia cinetica totale minore e quindi con vibrazioni caratterizzate da ampiezza di oscillazione più piccole.

## GAS PERFETTI

I gas sono sistemi termodinamici che possono scambiare energia meccanica con l'esterno mediante il lavoro di forze legate ad una pressione  $p$ . alcune trasformazioni dei gas perfetti sono:

- Trasformazione a pressione costante (Isobara)
- Trasformazione a volume costante (Isocora)
- Trasformazione a temperatura costante (Isoterma)
- Trasformazione durante la quale non vi è scambio di calore del sistema con l'esterno (Adiabatica)

## MODELLO DEI GAS PERFETTI

Per definire il modello dei gas perfetti faremo le seguenti ipotesi sul sistema :

- Il gas si ritiene formato da un gran numero di molecole simili a piccolissime sfere rigide che si muovono in tutte le direzioni obbedendo alle leggi della meccanica classica
- Il volume effettivamente occupato dalle molecole è completamente trascurabile rispetto al volume totale occupato dal gas
- Le molecole non scambiano forze se non durante gli urti
- Gli urti delle molecole con altre molecole e con le pareti del recipiente sono perfettamente elastici

## TEORIA CINETICA

Dal modello di gas perfetto prende avvio la teoria cinetica che permette di legare quantità macroscopiche (quali temperatura, pressione ecc) a quantità microscopiche che descrivono il comportamento meccanico delle molecole

### GAS REALI

I gas reali approssimano il comportamento dei gas perfetti alle grandi rarefazioni, cioè alle piccole densità. In particolare, il prodotto  $pV$  non è più costante ad una certa temperatura. Se si cerca di comprimere ulteriormente il gas, si trova che la pressione resta costante ed appare del liquido

### EQUAZIONE DI STATO DEI GAS REALI

L'isoterma ha successivamente un andamento molto rapido perché a piccole variazioni di volume corrispondono grandi variazioni di pressione. La temperatura critica  $T_c$  è quella temperatura che al di sopra della quale non è possibile liquefare il gas qualunque

### PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA (sistema interagisce con l'ambiente)

In un qualsiasi processo di interazione del sistema con l'ambiente possiamo distinguere tre fasi. Nella prima il sistema si trova in un preciso stato termodinamico determinato da una serie di valori delle variabili di stato (stato 1). Nella seconda fase avviene l'interazione in seguito alla quale una quantità di calore  $Q$  viene assorbita o ceduta dal sistema ed un lavoro è fatto o subito dal sistema. Nella terza fase il sistema permane nel nuovo stato 2 di equilibrio (stato 2). L'esperienza indica che l'energia totale scambiata con l'esterno  $Q - L$  non dipende dalla trasformazione seguita ma solo dagli estremi 1 e 2 della trasformazione stessa.  $U_2 - U_1 = Q - L$  che costituisce la formulazione del 1° principio della termodinamica: per un sistema termodinamico esiste una funzione di stato detta energia interna la cui variazione quando il sistema passa da uno stato 1 ad uno stato 2 dipende solo dagli stati iniziale e finale ed è pari all'energia scambiata con l'esterno tramite il flusso di calore ed il lavoro. Tale principio vale sia per processi reversibili sia per quelli irreversibili infatti è vero che per questi ultimi le trasformazioni non sono rappresentabili mediante una successione di stati ben definiti.

### SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

- L'espressione secondo Kelvin è: è impossibile realizzare una trasformazione il cui risultato finale sia solamente quello di trasformare il calore estratto da una sorgente termica in lavoro
- L'espressione secondo Clausius è: Non è possibile realizzare una trasformazione il cui risultato finale sia solamente quello di trasferire una quantità di calore da un corpo ad un altro a temperatura maggiore del primo.

I due enunciati si dimostra essere equivalenti. Una formulazione matematica del 2° principio può essere data dopo l'introduzione dell'Entropia. Ogni sistema che non sia già in uno stato di equilibrio, se lasciato a se stesso subisce spontaneamente delle variazioni fino a raggiungere in un tempo più o meno lungo, uno stato di equilibrio. Si giunge così all'idea dell'esistenza di una grandezza di stato detta entropia che misura la capacità del sistema di essere sede di trasformazioni spontanee e di conseguenza la perdita della capacità a compiere un lavoro quando tali trasformazioni spontanee avvengono. Premessa → bisogna introdurre il teorema di Carnot: è formato da due trasformazioni reversibili isoterme e da due trasformazioni reversibili adiabatiche. Le 4 trasformazioni possono avvenire nelle seguenti condizioni:

1. La massa gassosa avente volume  $V_1$  e pressione  $p_1$  si porta in contatto termico attraverso una parete trasparente al calore con la sorgente a temperatura  $T_1$ . Il gas si espande isotermicamente alla temperatura  $T_1$  assorbendo una quantità di calore  $Q_1$  e compiendo lavoro esterno. Quando il gas raggiunge il volume  $V_2$  con pressione  $p_2$  si rimuova la sorgente  $T_1$
2. Si isoli termicamente il cilindro ed il gas si espande adiabaticamente per temperature  $< T_1$  non scambiando quantità di calore con l'esterno e compiendo il lavoro esterno. Quando è raggiunta la temperatura  $T_2$  ed il gas si trova a  $V_3$  e  $p_3$  si rimuova l'isolante
3. Si ponga il cilindro in contatto termico con la sorgente a temperatura  $T_2$ . Il gas venga compresso isotermicamente alla temperatura  $T_2$  e durante questo processo il gas cede alla sorgente  $T_2$  una quantità di calore  $Q_2$  ed un lavoro viene fatto all'esterno. Quando il gas raggiunge il volume  $V_4$  con pressione  $p_4$  si rimuova la sorgente  $T_2$
4. Si isoli termicamente il cilindro. Il gas venga compresso adiabaticamente per temperature  $> T_2$ , non scambiando quantità di calore con l'esterno e compiendo un lavoro all'esterno. Quando viene raggiunta la temperatura  $T_1$  ed il gas si trova quindi a  $p_1$  e  $V_1$  si fermi il processo

Importante è osservare che  $Q_1/Q_2 = T_1/T_2$

Allora possiamo dire che il 2° principio della termodinamica equivale a dire che l'entropia dell'universo cresce.

### TERZO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Per un qualsiasi processo isoterma che involva solo fasi in equilibrio interno, purché il processo non disturbi tale equilibrio si ha  $\lim_{T \rightarrow 0} \Delta S = 0$ . È impossibile ridurre un sistema alla temperatura dello 0 assoluto in un numero finito di operazioni