

# Lezioni di Termodinamica per LT Informatica Università di Ferrara

**Lucia Del Bianco**

*Dip.to di Fisica e Scienze della Terra*



# MOLE

La **mole** è l'unità di misura della quantità di sostanza. Dal 1971 è una delle sette grandezze fisiche fondamentali del Sistema internazionale.

La mole è la quantità di sostanza che contiene esattamente  **$6.02214076 \times 10^{23}$**  entità elementari.

Il numero di particelle contenute in una mole è noto come **numero di Avogadro**, dal chimico e fisico italiano Amedeo Avogadro.

# SI

## Sistema Internazionale

Il SI è basato su sette **unità fondamentali** di misura:

- lunghezza,
- tempo,
- massa,
- intensità di corrente elettrica,
- temperatura termodinamica
- intensità luminosa,
- quantità di sostanza

dalle quali vengono ricavate tutte le altre unità di misura che sono dette **unità derivate**.



# MOLE

Quindi, una quantità di sostanza è pari a una mole quando contiene un numero di particelle uguale al valore numerico della costante di Avogadro.

Una mole di una certa sostanza contiene  $6.02214076 \times 10^{23}$  particelle (atomi o molecole) di quella sostanza.

La quantità di sostanza è il rapporto fra il numero di particelle considerate  $N$  (numero puro) e il numero di Avogadro  $N_A$ :

$$n = N / N_A$$

in cui:

$n$  è il numero di moli (espresso in mol)

$N_A$  è il numero di Avogadro (espresso in  $\text{mol}^{-1}$ )

# MOLE

La **massa di una mole** di una sostanza (espressa in **grammi**) è numericamente uguale al suo **peso atomico** o al suo **peso molecolare**.

La massa di una mole di una sostanza è la **massa molare** di quella sostanza.

Esempio:

Il **peso atomico** del sodio è 23 (numero puro)  $\Rightarrow$  la massa molare del sodio è **23 g/mol**.

Il **peso molecolare** del  $O_2$  è 32 (numero puro)  $\Rightarrow$  la massa molare del  $O_2$  è **32 g/mol**.

.

# Tavola Periodica degli Elementi

Tabella Periodica degli Elementi																		18
1																		2
1	<div>H</div> <div>1.008</div> <div>idrogeno</div>																	<div>He</div> <div>4.0026</div> <div>elio</div>
2	<div>Li</div> <div>6.941</div> <div>litio</div>	<div>Be</div> <div>9.0122</div> <div>berillio</div>															<div>Ne</div> <div>20.1838</div> <div>neon</div>	
3	<div>Na</div> <div>22.9898</div> <div>sodio</div>	<div>Mg</div> <div>24.3047</div> <div>magnesio</div>															<div>Ar</div> <div>39.948</div> <div>argon</div>	
4	<div>K</div> <div>39.0983</div> <div>potassio</div>	<div>Ca</div> <div>40.078</div> <div>calcio</div>	<div>Sc</div> <div>44.9559</div> <div>scandio</div>	<div>Ti</div> <div>47.88</div> <div>titanio</div>	<div>V</div> <div>50.9415</div> <div>vanadio</div>	<div>Cr</div> <div>51.9961</div> <div>cromo</div>	<div>Mn</div> <div>54.938</div> <div>manganese</div>	<div>Fe</div> <div>55.845</div> <div>ferro</div>	<div>Co</div> <div>58.9332</div> <div>cobalto</div>	<div>Ni</div> <div>58.6934</div> <div>nickel</div>	<div>Cu</div> <div>63.546</div> <div>rame</div>	<div>Zn</div> <div>65.38</div> <div>zinco</div>	<div>Ga</div> <div>69.723</div> <div>gallio</div>	<div>Ge</div> <div>72.63</div> <div>germanio</div>	<div>As</div> <div>74.9216</div> <div>arsenico</div>	<div>Se</div> <div>78.96</div> <div>selenio</div>	<div>Br</div> <div>79.904</div> <div>bromo</div>	<div>Kr</div> <div>83.798</div> <div>kripton</div>
5	<div>Rb</div> <div>85.4678</div> <div>rubidio</div>	<div>Sr</div> <div>87.62</div> <div>stronzio</div>	<div>Y</div> <div>88.9058</div> <div>ittrio</div>	<div>Zr</div> <div>91.224</div> <div>zirconio</div>	<div>Nb</div> <div>92.90638</div> <div>niobio</div>	<div>Mo</div> <div>95.94</div> <div>molibdeno</div>	<div>Tc</div> <div>98</div> <div>tecnicio</div>	<div>Ru</div> <div>101.07</div> <div>rutenio</div>	<div>Rh</div> <div>102.9055</div> <div>rodio</div>	<div>Pd</div> <div>106.42</div> <div>paladio</div>	<div>Ag</div> <div>107.8682</div> <div>argento</div>	<div>Cd</div> <div>112.411</div> <div>cadmio</div>	<div>In</div> <div>114.818</div> <div>indio</div>	<div>Sn</div> <div>118.710</div> <div>stagno</div>	<div>Sb</div> <div>121.757</div> <div>antimonio</div>	<div>Te</div> <div>127.6</div> <div>tellurio</div>	<div>I</div> <div>126.90548</div> <div>iodio</div>	<div>Xe</div> <div>131.29</div> <div>xenone</div>
6	<div>Cs</div> <div>132.90545196</div> <div>cesio</div>	<div>Ba</div> <div>137.327</div> <div>bario</div>	<div>Lu</div> <div>174.967</div> <div>lutetio</div>	<div>Hf</div> <div>178.49</div> <div>hafnio</div>	<div>Ta</div> <div>180.94788</div> <div>tantalio</div>	<div>W</div> <div>183.84</div> <div>tungsteno</div>	<div>Re</div> <div>186.207</div> <div>renio</div>	<div>Os</div> <div>190.23</div> <div>osmio</div>	<div>Ir</div> <div>192.222</div> <div>iridio</div>	<div>Pt</div> <div>195.083</div> <div>platino</div>	<div>Au</div> <div>196.966569</div> <div>oro</div>	<div>Hg</div> <div>200.59</div> <div>mercurio</div>	<div>Tl</div> <div>204.3833</div> <div>talio</div>	<div>Pb</div> <div>207.2</div> <div>piombo</div>	<div>Bi</div> <div>208.980399</div> <div>bismuto</div>	<div>Po</div> <div>209</div> <div>polonio</div>	<div>At</div> <div>210</div> <div>astato</div>	<div>Rn</div> <div>222</div> <div>radon</div>
7	<div>Fr</div> <div>223</div> <div>francio</div>	<div>Ra</div> <div>226</div> <div>radio</div>	<div>Lr</div> <div>262.10371</div> <div>lawrencio</div>	<div>Rf</div> <div>261.10371</div> <div>rifornio</div>	<div>Db</div> <div>262.10371</div> <div>dubnio</div>	<div>Sg</div> <div>266.10371</div> <div>seaborgio</div>	<div>Bh</div> <div>264.10371</div> <div>bohrio</div>	<div>Hs</div> <div>277.10371</div> <div>hassium</div>	<div>Mt</div> <div>268.10371</div> <div>meitnerio</div>	<div>Ds</div> <div>271.10371</div> <div>darmstadtio</div>	<div>Rg</div> <div>272.10371</div> <div>roentgenio</div>	<div>Cn</div> <div>285.10371</div> <div>copernicio</div>	<div>Nh</div> <div>286.10371</div> <div>nihilio</div>	<div>Fl</div> <div>289.10371</div> <div>flavitio</div>	<div>Mc</div> <div>290.10371</div> <div>moscovio</div>	<div>Lv</div> <div>293.10371</div> <div>livermorio</div>	<div>Ts</div> <div>294.10371</div> <div>tennessio</div>	<div>Og</div> <div>294.10371</div> <div>oganessonio</div>

gruppo

1

periodo

1

peso atomico standard  
e numero di massa più stabile

55.845

26

numero atomico

prima energia di ionizzazione  
in eV

7.62

7.62

elettonegatività

simbolo chimico

Fe

26

vali di ossidazione

nome

Ferro

elemento più abbondante nella crosta terrestre

configurazione elettronica

[Ar] 3d<sup>6</sup> 4s<sup>2</sup>

per elementi radioattivi:  
in rosso: fra i pericolosi

peso atomico standard  
 o somma di masse più abbondanti  
 prima energia di ionizzazione  
 in acqua

55.845 26  
 782.3 1.871

numero atomico  
 elettonegatività

simbolo chimico  
 nome  
 Ferro

configurazione elettronica  
 [Ar] 3d<sup>6</sup> 4s<sup>2</sup>

stati di ossidazione  
 +2, +3, +4, +6

gli elementi sono disposti in ordine crescente di numero atomico

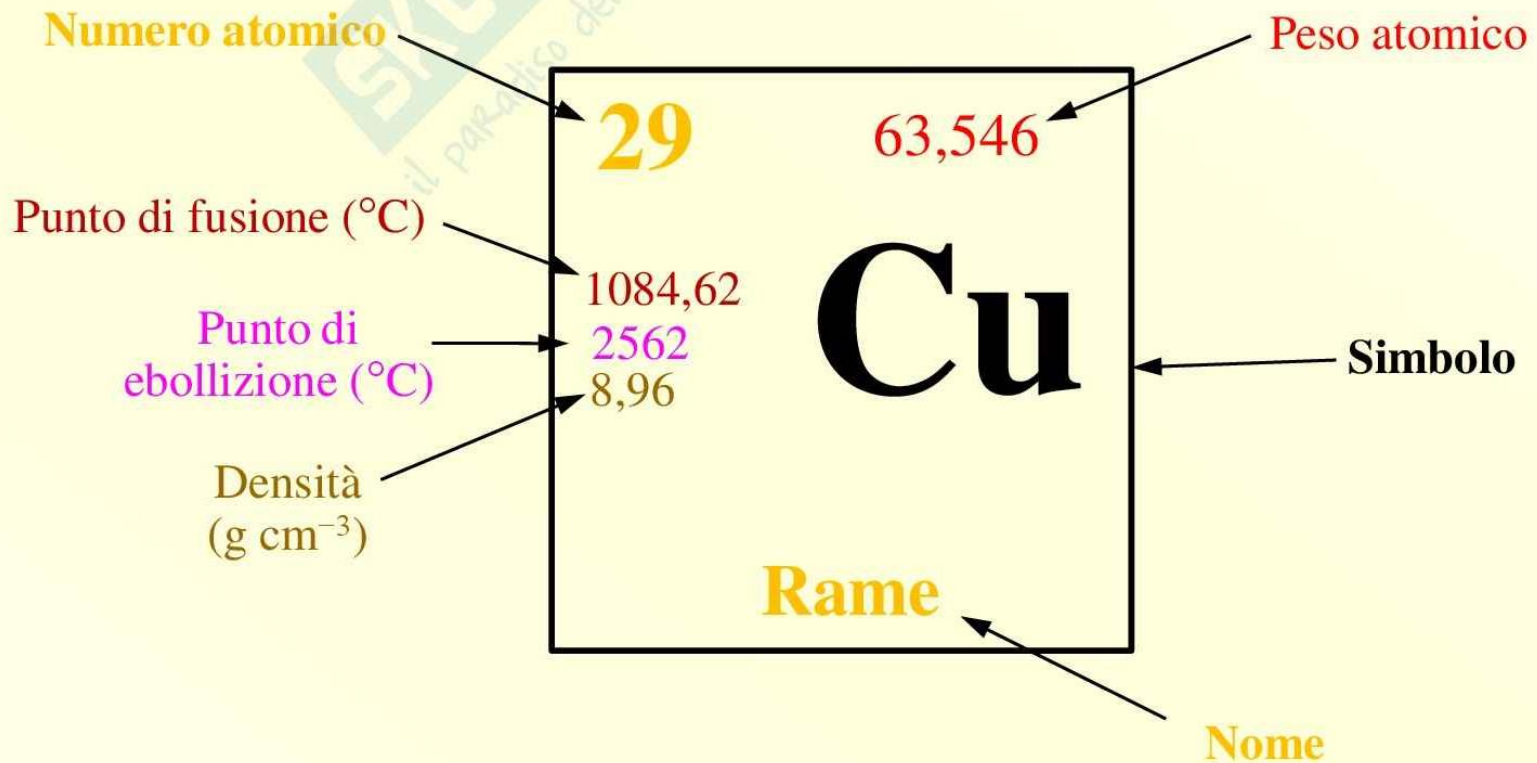


Note:  
 1. I dati sono in base a dati  
 2. Tutti gli elementi sono disposti in ordine crescente di numero atomico

57 <b>La</b> lantanio	58 <b>Ce</b> cerio	59 <b>Pr</b> praseodimio	60 <b>Nd</b> neodimio	61 <b>Pm</b> prometio	62 <b>Sm</b> samario	63 <b>Eu</b> europio	64 <b>Gd</b> gadolinio	65 <b>Tb</b> terbio	66 <b>Dy</b> dysprosio	67 <b>Ho</b> holmio	68 <b>Er</b> erbio	69 <b>Tm</b> terezio	70 <b>Yb</b> ytterbio
89 <b>Ac</b> attinio	90 <b>Th</b> torio	91 <b>Pa</b> protattinio	92 <b>U</b> uranio	93 <b>Np</b> neptunio	94 <b>Pu</b> plutonio	95 <b>Am</b> americio	96 <b>Cm</b> curio	97 <b>Bk</b> berkelio	98 <b>Cf</b> californio	99 <b>Es</b> einsteinio	100 <b>Fm</b> fermio	101 <b>Md</b> mendelevio	102 <b>No</b> nobelio

- metalli alcalini
- metalli alcalino-terrosi
- lantanoidi
- metalli di transizione
- metalloide
- gas nobili
- metalli di transizione
- metalloidi
- non metalli
- gas nobili

# Peso atomico nella Tavola Periodica



## Relazione importante:

$$n = m / M$$

in cui:

**n** è il numero di moli (espresso in mol)

**m** è la massa del campione (generalmente espresso in g)

**M** è la massa molare della sostanza (espressa in g/mol)



# DENSITA' E PRESSIONE

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Densità**

Unità di misura (kg/m<sup>3</sup>)

$$1 \frac{g}{cm^3} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

**Pressione** (grandezza scalare)

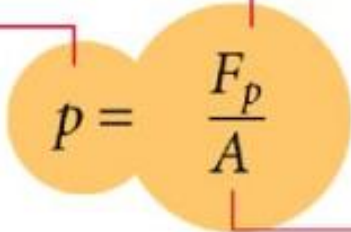
Rapporto tra il modulo della forza agente perpendicolarmente su una superficie e l'area della superficie stessa

Unità di misura è il Pascal

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{N}{m^2}$$

La pressione è una grandezza che misura l'azione della forza, esercitata su una superficie, rispetto all'unità di superficie

Nel **SI** la pressione si misura in **pascal (Pa)**: **1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>**



pressione (Pa) —  $p = \frac{F_p}{A}$  — forza premente (N)  
— area della superficie (m<sup>2</sup>)

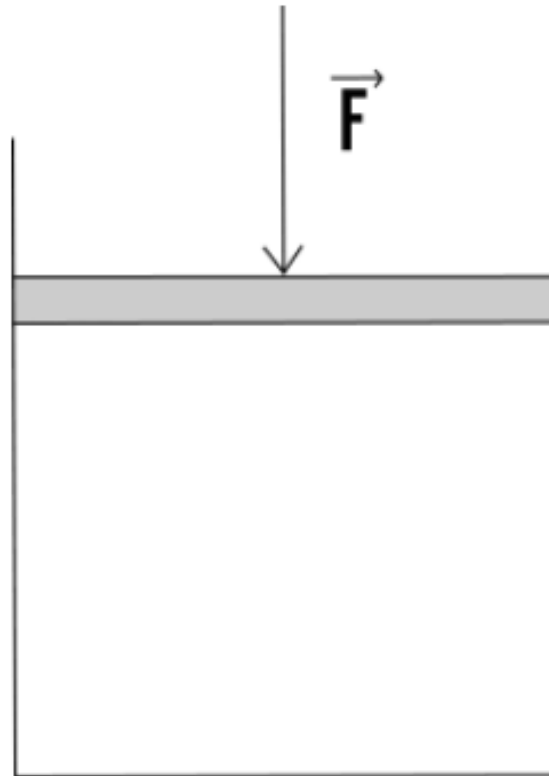
**ESEMPIO 1** Un mattone, di peso 25 N, può poggiare su un'area di 0,01 m<sup>2</sup> oppure di 0,02 m<sup>2</sup>. La pressione sull'area minore vale:

$$p = \frac{25 \text{ N}}{0,01 \text{ m}^2} = 2500 \text{ N/m}^2 = 2,5 \times 10^3 \text{ Pa}$$

La pressione sull'area maggiore è la metà, perché l'area è doppia.

# PRESSIONE E FLUIDI

Per esercitare una **pressione su un fluido** è necessario chiuderlo all'interno di un contenitore e premerlo con una forza perpendicolare a una superficie mobile, come in figura.

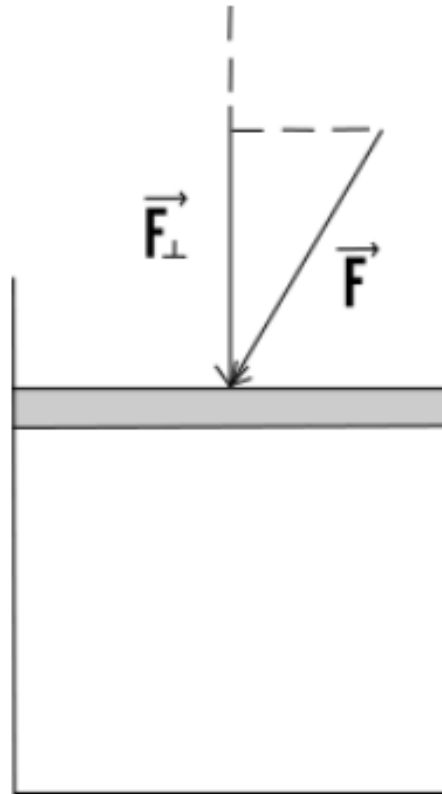


$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

Pressione esercitata su un fluido racchiuso in un contenitore  
per mezzo di un pistone.

# PRESSIONE E FLUIDI

Nel calcolo della pressione esercitata su un fluido è fondamentale tenere a mente che la forza deve essere perpendicolare alla superficie. Se la forza fosse inclinata rispetto alla superficie, ai fini del calcolo della pressione dovremmo considerare solo la componente perpendicolare della forza, perché quella parallela tende a far scivolare la superficie del fluido ma non contribuisce a comprimerlo.

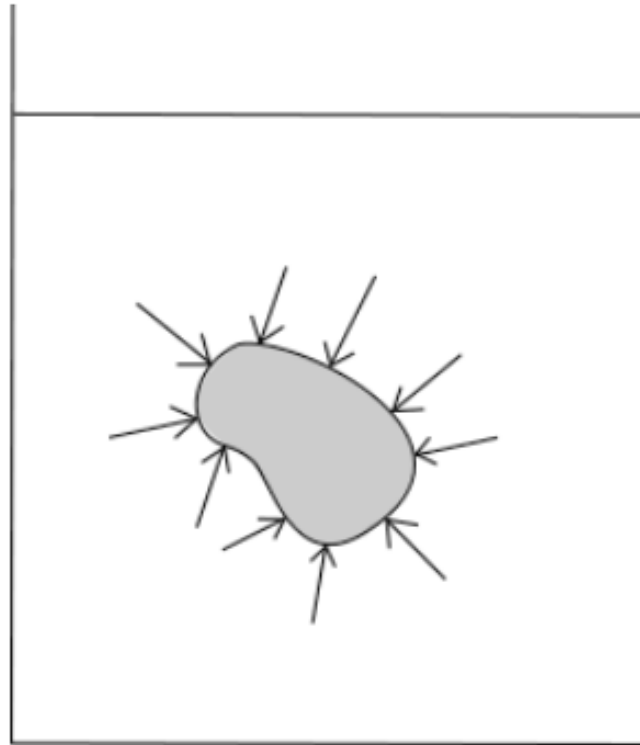


$$P = \frac{F_\perp}{A}$$

La componente perpendicolare della forza è l'unica che contribuisce all'azione della pressione.

# PRESSIONE E FLUIDI

D'altra parte **ogni fluido esercita una pressione in tutte le direzioni** sulle pareti del recipiente che lo contiene e su qualunque oggetto sia immerso al suo interno, con forze dirette perpendicolarmente a ogni punto della sua superficie e con l'effetto di **comprimerlo** uniformemente.



Pressione esercitata da un fluido.

# Pressione atmosferica

- L'atmosfera esercita una pressione sulla superficie della Terra e su tutti gli oggetti sulla superficie.
  - La pressione è responsabile del funzionamento delle ventose, delle cannucce da bibita, degli aspirapolvere, e molti altri apparecchi.
- Il valore della pressione atmosferica standard che useremo usualmente è:

$$p_0 = 1.00 \text{ atm} \approx 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \\ \approx 1.013 \text{ bar}$$

- l'aria attorno a noi esercita una forza di  $\sim 1 \text{ kg}_p$  su ogni  $\text{cm}^2$  del nostro corpo.
- NON ce ne accorgiamo:
  - tale forza è uguale in tutte le direzioni
  - è contrastata da uguale pressione all'interno del nostro corpo

# Termodinamica

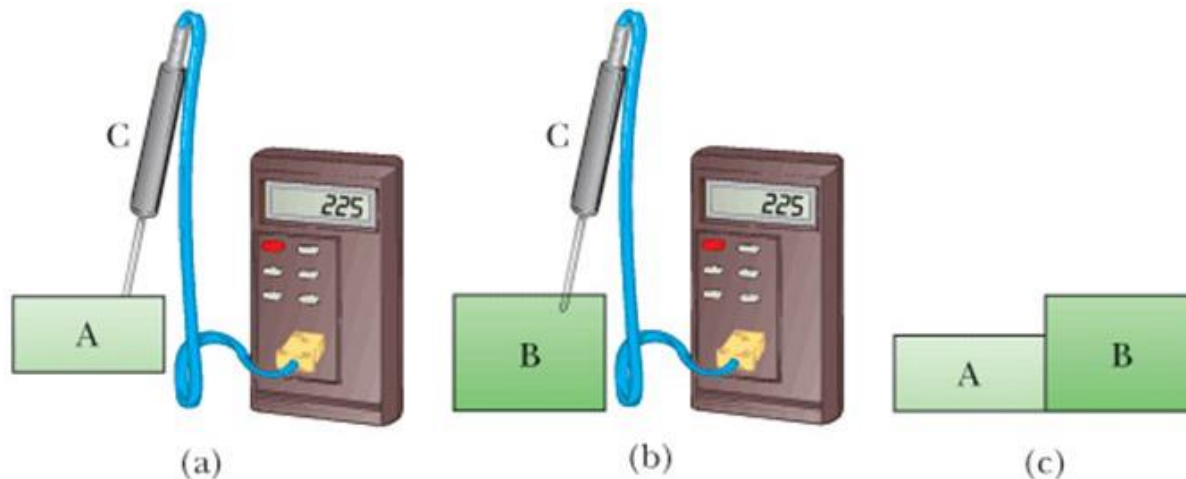
Parte della Fisica che studia i processi che coinvolgono il trasferimento di energia fra un sistema e l'ambiente esterno.

Si occupa degli scambi di energia all'interno e tra gli oggetti e le conseguenti variazioni di temperatura o di stato.

# Temperatura

Due corpi sono in **contatto termico** quando possono scambiarsi energia

All'**equilibrio termico**, i due corpi non scambiano energia



(a, b) Se i corpi A e B vengono posti in equilibrio termico con un termometro (corpo C) e le temperature risultano le stesse, non ci sarà scambio di energia tra i corpi una volta messi in contatto termico tra loro (c).

## Principio zero della termodinamica

Se due oggetti sono in equilibrio termico con un terzo, essi sono in equilibrio termico fra loro.

**Due oggetti in equilibrio termico fra loro hanno la stessa temperatura.**



# Termometri



I termometri sono basati su una proprietà fisica di un sistema che dipende, in maniera nota, dalla temperatura.

Termometro a Hg o Alcool: la proprietà che cambia è il volume del liquido (dilatazione).

Una variazione di temperatura può essere definita come proporzionale alla variazione della lunghezza della colonna di fluido.

## Scala Celsius delle temperature

Termometro **tarato** ponendolo in contatto termico con *qualcosa* che abbia una temperatura di riferimento.

Acqua/ghiaccio in equilibrio a pressione atmosferica (punto di congelamento) → valore 0°C.

Acqua/vapore in equilibrio a pressione atmosferica (punto di ebollizione) → 100°C.

Intervallo diviso in 100 parti, definisce il grado centigrado.

# Scala Kelvin delle temperature

$$T = T_{Celsius} + 273.15$$

**T = temperatura assoluta**  
(scala Kelvin)

**L'ampiezza di un Kelvin è stata scelta uguale a quella di un grado Celsius**

---

Punto triplo dell'acqua  $T = 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$

Unico punto di pressione e temperatura in cui coesistono liquido solido e gas,  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $4.58\text{ mmHg}$

Punto triplo corrisponde a  $273.16\text{ K}$ .

**$1\text{ K} = 1/273.16$  della differenza tra temperatura del punto triplo e 0 assoluto (sistema internazionale SI)**

Temperatura dello 0 assoluto significa  $T = 0\text{ K}$  (ossia  $T_{Celsius} = -273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

# Dilatazione termica (solidi e liquidi)

**Dilatazione:** Quando la temperatura di una sostanza solida o liquida aumenta, aumenta anche il suo volume

Se la dilatazione di un oggetto è piccola rispetto alle sue dimensioni iniziali  $\Rightarrow$  la variazione di ogni dimensione è lineare con la temperatura

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

$\alpha$  = Coefficiente medio di dilatazione lineare  
( $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ )

$$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

# Dilatazione termica (solidi e liquidi)

$$\Delta V = V_f - V_i = \beta V_i \Delta T$$

$$\beta = 3\alpha$$

Coefficiente di  
dilatazione cubica

$$\Delta A = A_f - A_i = \gamma A_i \Delta T$$

$$\gamma = 2\alpha$$

Coefficiente di dilatazione  
quadratica (o superficiale)

# Sistemi termodinamici

SISTEMA

AMBIENTE ESTERNO

UNIVERSO

SISTEMA APERTO

SISTEMA CHIUSO

SISTEMA ISOLATO

STATO DEL SISTEMA

**PUNTO DI VISTA  
MACROSCOPICO**

**PUNTO DI VISTA  
MICROSCOPICO**

# Gas perfetti

Stato di un sistema consistente in una data quantità di gas è definito da volume ( $V$ ), pressione ( $P$ ) e temperatura ( $T$ ).

**Equazione di stato:** relazione che lega queste 3 grandezze.

## Gas perfetto (o ideale)

Insieme di atomi o molecole che si muovono casualmente, tra essi non si esercitano forze a lunga distanza e sono così piccoli da occupare una frazione trascurabile del volume del loro contenitore.



Un gas perfetto racchiuso in un cilindro il cui volume può essere variato mediante un pistone mobile.

- 1) A  $T = \text{costante}$ ,  $P$  è inversamente proporzionale a  $V$ . (**Legge di Boyle**).
- 2)  $P = \text{costante}$ ,  $V$  è direttamente proporzionale alla  $T$  (**Legge di Charles**).
- 3)  $V = \text{costante}$ ,  $P$  è direttamente proporzionale a  $T$  (**Legge di Gay-Lussac**).

## Legge dei gas perfetti

$$PV = nRT$$

**R = costante universale dei gas**

$R = 8.314 \text{ J/mol K}$  (sistema SI)

$R = 0.0821 \text{ L atm/mol K}$

1 mole di **qualsunque gas** occupa a pressione atmosferica e a  $T = 0^\circ\text{C}$  (273 K) occupa 22.4 L.

Legge dei gas perfetti espressa in termini del numero totale di molecole  $N$

$$N = n \cdot N_A$$

$$PV = nRT = \frac{N}{N_A} RT$$

$$PV = Nk_B T$$

$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

**Costante  
di Boltzmann**



# ESERCIZIO

Quale è il volume occupato da 10 g di gas Neon alla temperatura  $T = 25^{\circ}\text{C}$  e a pressione ordinaria, sapendo che la sua massa molare è  $m_{\text{mol}} = 20.18 \text{ g}$ ?

Ovviamente  $T = 25 + 273 = 298 \text{ K}$  e  $P = 1 \text{ Atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ . Il volume inerente lo stato del gas si determina con l'equazione di stato, a patto di determinare prima il numero  $n$  di moli. Sapendo che

$$n = \frac{m}{m_{\text{mol}}}$$

Si ha che  $n = 10/20,18 = 0.496 \text{ mol}$

Applicando l'equazione di stato si ha:

$$V = \frac{n \cdot R}{P} = \frac{0.496 \cdot 8,314 \cdot 298}{1,013 \cdot 10^5} = 0,012 \text{ m}^3$$

# ESERCIZIO

**Calcolare il volume iniziale** di un gas che si trova alla temperatura di 300K e alla pressione di 2atm, che viene portato ad occupare un volume di 10L alla temperatura di 280K e alla pressione di 2.5 atm.

Ricaviamo, dalla conoscenza completa dello stato **B**, il numero di moli  $n$ . Ovviamente  $V_f = 10\text{ l} = 0,01\text{ m}^3$ ,  $P_f = 2,5\text{ Atm} = 2,5 \cdot 1,013 \cdot 10^5\text{ Pa} = 2,5325 \cdot 10^5\text{ Pa}$ . Si ha:

$$n = \frac{P_f \cdot V_f}{R \cdot T_f} = \frac{2,5325 \cdot 10^5 \cdot 0,01}{8,314 \cdot 280} = 1,088$$

Conoscendo il numero di moli, deduciamo, per lo stato iniziale, il valore del volume:

$$V_0 = n \cdot R \cdot T_0 / P_0 = \frac{1,088 \cdot 8,314 \cdot 300}{2 \cdot 1,013 \cdot 10^5} = 0,013\text{ m}^3$$

---

Volume

1

=

0,001

Litro



Metro cubo

# Teoria cinetica dei gas

Esiste una relazione fra proprietà macroscopiche e ciò che accade su scala atomica (o molecolare)

**Teoria riferita ad un modello microscopico basato sulle seguenti assunzioni:**

La massa gassosa è costituita da un numero molto elevato di atomi (o molecole) identici

La distanza media di separazione fra essi è grande in confronto alle loro dimensioni; gli atomi occupano una frazione trascurabile del volume del contenitore; gli atomi sono considerati come sfere indeformabili.

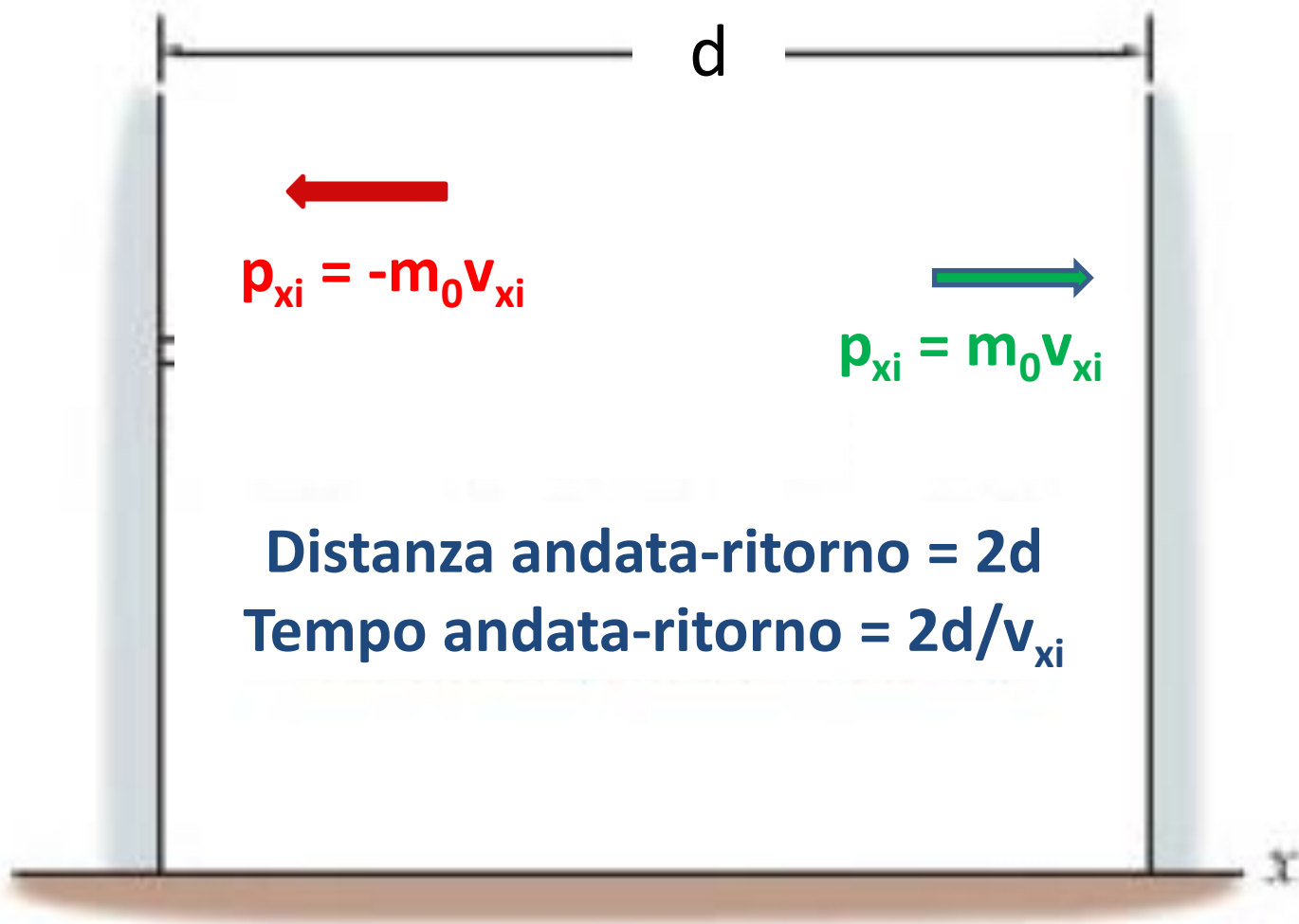
Gli atomi obbediscono alle leggi del moto di Newton; il moto è isotropico

Gli atomi interagiscono elasticamente attraverso forze a corto raggio

Gli atomi interagiscono elasticamente con le pareti.

# Interpretazione molecolare della pressione di un gas perfetto

N atomi (o molecole) di massa  $m_0$  in un contenitore cubico di  
volume  $V = d^3$



## Interpretazione molecolare della pressione di un gas perfetto

$$P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \left( \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right)$$

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} \quad (\text{velocità quadratica media})$$

La P è proporzionale al numero di atomi (o molecole) per unità di volume e alla energia cinetica media traslazionale degli atomi stessi (o molecole).

# Interpretazione molecolare della temperatura di un gas perfetto

$$PV = \frac{2}{3} N \left( \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right)$$

$$PV = Nk_B T$$

Legge dei gas perfetti

$$T = \frac{2}{3k_B} \left( \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right)$$

La temperatura è una misura della energia cinetica media traslazionale delle molecole