

Riepilogo delle principali grandezze fisiche (SI) incontrate finora...

- Grandezze Fondamentali
- Grandezze Derivate



Lunghezza (m)



Tempo (s)

Velocità (m/s)



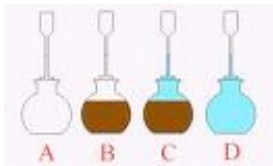
Accelerazione (m/s²)



Massa (kg)



Forza (N=kg m/s²)



Densità (kg/m³)



Pressione (Pa=N/m²)



Lavoro (J=Nm)

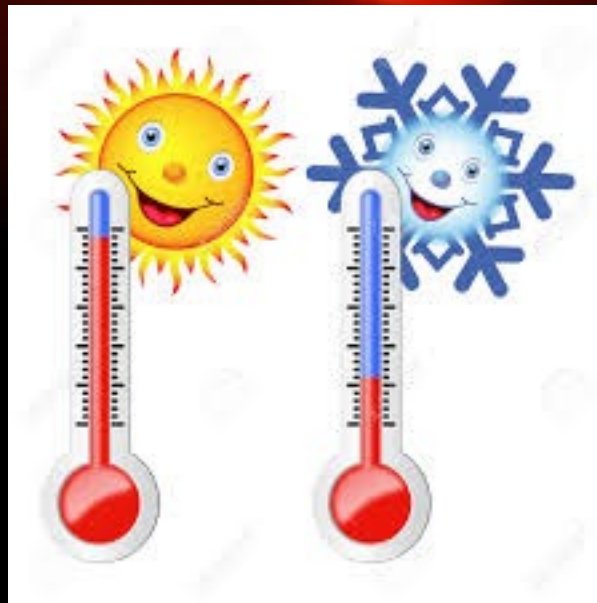
Energia (J)



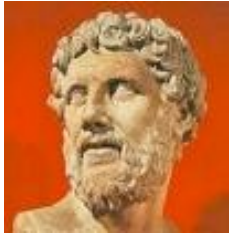
La Temperatura



Earth to Scale



Teoria Atomica della Materia



Democrito
(460-380 a.C.)

L'idea che la materia sia composta da atomi risale all'antica Grecia. In particolare, il filosofo **Democrito** fu uno dei primi a sviluppare il ragionamento secondo cui tagliando a pezzetti sempre più piccoli una sostanza pura (ad esempio un blocco di ferro) alla fine si otterrebbero dei frammenti così piccoli da risultare indivisibili, da cui il nome **atomi** (che significa appunto "indivisibili"). Le sue idee furono poi riprese, nell'antica Roma, da **Lucrezio**.

1 *De rerum natura*

Il *De rerum natura* (*La natura*) è il poema in cui Lucrezio descrive organicamente tutto l'universo, dalla formazione della materia, alla vita delle cose e degli organismi, all'esame del cosmo attraverso i suoi fenomeni.

Canto I

Enuncia il concetto essenziale della sua dottrina.

La materia è unica, formata da atomi minimi e impalpabili; il vento, il caldo, il freddo, gli odori, i suoni sono particelle invisibili che non si riducono mai al nulla, ma si trasformano incessantemente, mescolandosi con il vuoto in cui si muovono e che è presente in tutte le cose, come appare dall'acqua stillante dalla roccia. L'universo è infinito attraversato incessantemente dagli atomi in un perenne incontrarsi urtarsi aggregarsi.

Canto II

È dedicato agli atomi e al loro moto.

Gli atomi sono in un velocissimo moto perenne, con una leggera deviazione (*clinamen*) rispetto alla linea retta così da consentirne l'aggregarsi nelle forme corporee.

La varietà delle forme degli atomi dà origine alle diverse figure degli esseri; dal conflitto tra atomi vitali ed esiziali discende la vita o la morte. Il perenne processo di composizione e disgregazione attribuisce le qualità ai corpi, che gli atomi in sé non possiedono. Il dolore dipende da un'abnorme eccitazione degli atomi.

Canto III

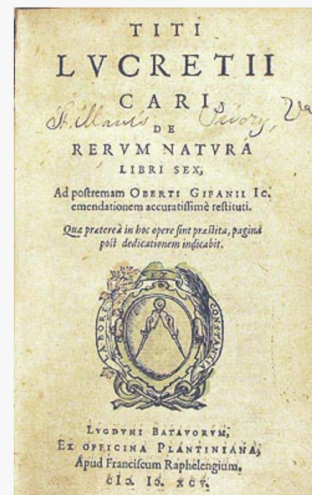
Tratta dell'anima e della morte.

Atomi lievissimi, da non alterare il peso corporeo, formano l'anima, che si distingue in un *animus* con sede nel petto e che presiede sull'anima, diffusa in tutto il corpo. L'anima nasce, cresce e invecchia con il corpo, è soggetta a malattie e a perire. La morte come il sonno spegne ogni desiderio della vita: vana quindi la paura della morte.

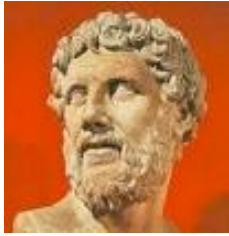


Tito Lucrezio Caro
(98-54 a. C.)

Poeta latino dell'età di Cicerone (periodo aureo) divulgatore dell'epicureismo a Roma, autore del *De rerum natura*.

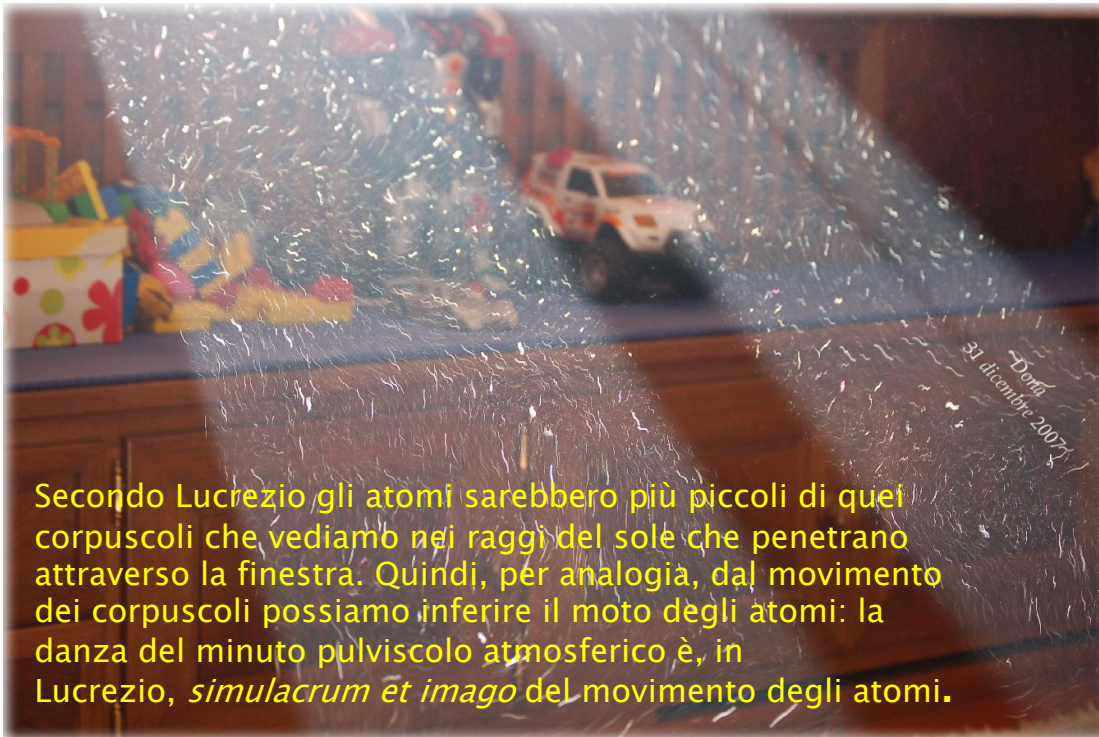


Teoria Atomica della Materia



Democrito
(460-380 a.C.)

L'idea che la materia sia composta da atomi risale all'antica Grecia. In particolare, il filosofo **Democrito** fu uno dei primi a sviluppare il ragionamento secondo cui tagliando a pezzetti sempre più piccoli una sostanza pura (ad esempio un blocco di ferro) alla fine si otterrebbero dei frammenti così piccoli da risultare indivisibili, da cui il nome **atomi** (che significa appunto "indivisibili"). Le sue idee furono poi riprese, nell'antica Roma, da **Lucrezio**.



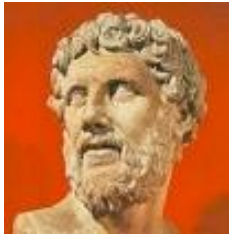
Secondo Lucrezio gli atomi sarebbero più piccoli di quei corpuscoli che vediamo nei raggi del sole che penetrano attraverso la finestra. Quindi, per analogia, dal movimento dei corpuscoli possiamo inferire il moto degli atomi: la danza del minuto pulviscolo atmosferico è, in Lucrezio, *simulacrum et imago* del movimento degli atomi.



Tito Lucrezio Caro
(98-54 a. C.)

Poeta latino dell'età di Cicerone (periodo aureo) divulgatore dell'epicureismo a Roma, autore del *De rerum natura*.

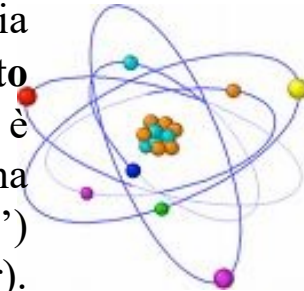
Teoria Atomica della Materia



Democrito
(460-380 a.C.)

L'idea che la materia sia composta da atomi risale all'antica Grecia. In particolare, il filosofo **Democrito** fu uno dei primi a sviluppare il ragionamento secondo cui tagliando a pezzetti sempre più piccoli una sostanza pura (ad esempio un blocco di ferro) alla fine si otterrebbero dei frammenti così piccoli da risultare indivisibili, da cui il nome **atomi** (che significa appunto "indivisibili"). Le sue idee furono poi riprese, nell'antica Roma, da **Lucrezio**.

A partire dal **secolo XVIII** l'esistenza degli atomi è stata corroborata per via sperimentale attraverso l'analisi di **reazioni chimiche** (J.Dalton, 1808) o del **moto browniano** (R.Brown 1827), ma solo a partire dal **XX secolo** la teoria atomica non è stata più messa in discussione. Oggi però sappiamo che **l'atomo non è indivisibile** ma è a sua volta composto da un nucleo (formato da protoni e neutroni, detti 'nucleoni') circondato da nubi concentriche di elettroni (modello «planetario» dell'atomo di Bohr).

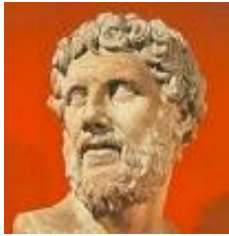


Ipotesi atomica di Dalton

L'inglese John Dalton (1766 – 1834) nel 1808 enunciò una teoria generale sulla natura della materia e, affermando che tutta la materia è formata da particelle molto piccole che non possono essere ulteriormente suddivise che chiamò **atomi** (dal greco, "atomoi", non divisibili), pose le basi dell'attuale teoria atomica.

Il merito di Dalton consiste nell'essere stato il primo a formulare una ipotesi scientificamente valida sull'esistenza degli atomi partendo dai dati sperimentali che lui ed altri studiosi, come Lavoisier, stavano in quel periodo ottenendo. Esperimenti successivi hanno dimostrato che le teorie di Dalton non erano completamente corrette ma, se si rimane nel campo delle trasformazioni chimiche, le sue affermazioni si possono considerare valide anche ai giorni nostri.

Teoria Atomica della Materia



Democrito
(460-380 a.C.)

L'idea che la materia sia composta da atomi risale all'antica Grecia. In particolare, il filosofo **Democrito** fu uno dei primi a sviluppare il ragionamento secondo cui tagliando a pezzetti sempre più piccoli una sostanza pura (ad esempio un blocco di ferro) alla fine si otterrebbero dei frammenti così piccoli da risultare indivisibili, da cui il nome **atomi** (che significa appunto "indivisibili"). Le sue idee furono poi riprese, nell'antica Roma, da **Lucrezio**.

A partire dal **secolo XVIII** l'esistenza degli atomi è stata corroborata per via sperimentale attraverso l'analisi di **reazioni chimiche** (J.Dalton, 1808) o del **moto browniano** (R.Brown 1827), ma solo a partire dal **XX secolo** la teoria atomica non è stata più messa in discussione. Oggi però sappiamo che **l'atomo non è indivisibile** ma è a sua volta composto da un nucleo (formato da protoni e neutroni, detti 'nucleoni') circondato da nubi concentriche di elettroni (modello «planetario» dell'atomo di Bohr).

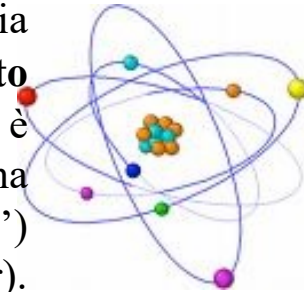
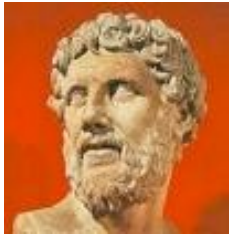


Tavola periodica degli Elementi (D.I.Mendeleev, 1869)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Idrogeno 1,00794	2 He Elio 4,002602																
3 Li Litio 6,941	4 Be Berillio 9,012182																
11 Na Sodio 22,98976...	12 Mg Magnesio 24,3050																
19 K Potassio 39,0983	20 Ca Calcio 40,078	21 Sc Scandio 44,955912	22 Ti Titanio 47,867	23 V Vanadio 50,9415	24 Cr Cromo 51,9961	25 Mn Manganese 54,938045	26 Fe Ferro 55,845	27 Co Cobalto 58,933195	28 Ni Nichel 58,6934	29 Cu Rame 63,546	30 Zn Zinco 65,38	31 Ga Gallio 69,723	32 Ge Germanio 72,64	33 As Arsenico 74,92160	34 Se Selenio 78,96	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Krypton 83,798
37 Rb Rubidio 85,4678	38 Sr Stronzio 87,62	39 Y Ittrio 88,90585	40 Zr Zirconio 91,224	41 Nb Niobio 92,90638	42 Mo Molibdeno 95,96	43 Tc Tecnecio (98)	44 Ru Rutenio 101,07	45 Rh Rodio 102,90550	46 Pd Palladio 106,42	47 Ag Argento 107,8682	48 Cd Cadmio 112,411	49 In Indio 114,818	50 Sn Stagno 118,710	51 Sb Antimonio 121,760	52 Te Tellurio 127,60	53 I Iodio 126,90447	54 Xe Xeno 131,293

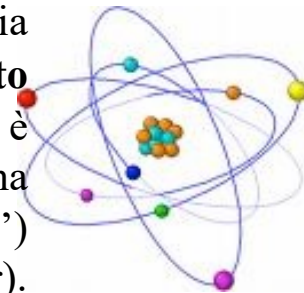
Teoria Atomica della Materia



Democrito
(460-380 a.C.)

L'idea che la materia sia composta da atomi risale all'antica Grecia. In particolare, il filosofo **Democrito** fu uno dei primi a sviluppare il ragionamento secondo cui tagliando a pezzetti sempre più piccoli una sostanza pura (ad esempio un blocco di ferro) alla fine si otterrebbero dei frammenti così piccoli da risultare indivisibili, da cui il nome **atomi** (che significa appunto "indivisibili"). Le sue idee furono poi riprese, nell'antica Roma, da **Lucrezio**.

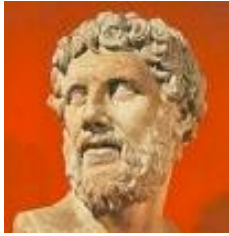
A partire dal **secolo XVIII** l'esistenza degli atomi è stata corroborata per via sperimentale attraverso l'analisi di **reazioni chimiche** (J.Dalton, 1808) o del **moto browniano** (R.Brown 1827), ma solo a partire dal **XX secolo** la teoria atomica non è stata più messa in discussione. Oggi però sappiamo che **l'atomo non è indivisibile** ma è a sua volta composto da un nucleo (formato da protoni e neutroni, detti 'nucleoni') circondato da nubi concentriche di elettroni (modello «planetario» dell'atomo di Bohr).



In seguito si userà spesso il concetto di massa relativa degli atomi e delle molecole, ovvero – rispettivamente – di **massa atomica** e **massa molecolare** (a volte denominate peso atomico e peso molecolare). Queste grandezze fisiche sono ricavate confrontandole con il **carbonio** ^{12}C , a cui (nel Sistema Internazionale) è stato arbitrariamente assegnato il valore di 12 **unità di massa atomica unificate** (u). In kilogrammi si avrà: $1\text{u} = 1.6605 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$. In buona approssimazione la massa atomica corrisponde all'incirca al numero di nucleoni presenti nel nucleo dei vari atomi.

numero atomico	5	6	7	8	9	10	K
simbolo dell'elemento	B	C	N	O	F	Ne	L
numero di massa	Boro 10.811	Carbonio 12.0107	Azoto 14.0067	Ossigeno 15.9994	Fluoro 18.9984032	Neon 20.1797	

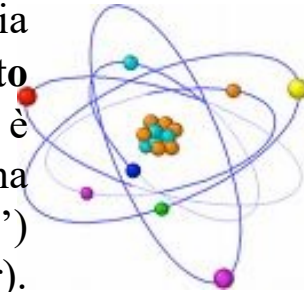
Teoria Atomica della Materia



Democrito
(460-380 a.C.)

L'idea che la materia sia composta da atomi risale all'antica Grecia. In particolare, il filosofo **Democrito** fu uno dei primi a sviluppare il ragionamento secondo cui tagliando a pezzetti sempre più piccoli una sostanza pura (ad esempio un blocco di ferro) alla fine si otterrebbero dei frammenti così piccoli da risultare indivisibili, da cui il nome **atomi** (che significa appunto "indivisibili"). Le sue idee furono poi riprese, nell'antica Roma, da **Lucrezio**.

A partire dal **secolo XVIII** l'esistenza degli atomi è stata corroborata per via sperimentale attraverso l'analisi di **reazioni chimiche** (J.Dalton, 1808) o del **moto browniano** (R.Brown 1827), ma solo a partire dal **XX secolo** la teoria atomica non è stata più messa in discussione. Oggi però sappiamo che **l'atomo non è indivisibile** ma è a sua volta composto da un nucleo (formato da protoni e neutroni, detti 'nucleoni') circondato da nubi concentriche di elettroni (modello «planetario» dell'atomo di Bohr).



In seguito si userà spesso il concetto di massa relativa degli atomi e delle molecole, ovvero – rispettivamente – di **massa atomica** e **massa molecolare** (a volte denominate peso atomico e peso molecolare). Queste grandezze fisiche sono ricavate confrontandole con il **carbonio** ^{12}C , a cui (nel Sistema Internazionale) è stato arbitrariamente assegnato il valore di 12 **unità di massa atomica unificate** (u). In kilogrammi si avrà: $1\text{u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{kg}$. In buona approssimazione la massa atomica corrisponde all'incirca al numero di nucleoni presenti nel nucleo dei vari atomi.

In queste unità la massa atomica dell'idrogeno (l'elemento chimico più semplice, composto da un solo protone e da un solo elettrone) è di circa 1.0079 u, quella dell'elio 4.0026 u e così via per tutti gli altri elementi della **tavola periodica** (le frazioni decimali sono dovute al fatto che per ogni elemento si considera la **media pesata** delle masse dei suoi **isotopi**). La massa molecolare di un **composto** sarà data dalla **somma** delle masse atomiche degli elementi componenti.

Tavola Periodica degli Elementi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H Idrogeno 1.00794	Atomic # Simbolo Nome Atomic Weight	C Solidi				Metalloids			Nonmetalli								2 He Elio 4.002602
3 Li Litio 6.941	4 Be Berillio 9.012182	Hg Liquidi						Nonmetalli		Alogeni	Gas nobili						
11 Na Sodio 22.98976...	12 Mg Magnesio 24.3050	H Gas						Metallo									
		Rf Sconosciuto				Metalli alcalini	Metalli alcalino terrosi	Lantanidi	Metalli del blocco d	Post-transition metals							
19 K Potassio 39.0983	20 Ca Calcio 40.078	21 Sc Scandio 44.955912	22 Ti Titanio 47.867	23 V Vanadio 50.9415	24 Cr Cromo 51.9961	25 Mn Manganese 54.938045	26 Fe Ferro 55.845	27 Co Cobalto 58.933195	28 Ni Nichel 58.6934	29 Cu Rame 63.546	30 Zn Zinco 65.38	31 Ga Gallio 69.723	32 Ge Germanio 72.64	33 As Arsenico 74.92160	34 Se Selenio 78.96	35 Br Bromo 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidio 85.4678	38 Sr Stronzio 87.62	39 Y Ittrio 88.90585	40 Zr Zirconio 91.224	41 Nb Niobio 92.90638	42 Mo Molibdeno 95.96	43 Tc Tecnezio (98)	44 Ru Rutenio 101.07	45 Rh Rodio 102.90550	46 Pd Palladio 106.42	47 Ag Argento 107.8682	48 Cd Cadmio 112.411	49 In Indio 114.818	50 Sn Stagno 118.710	51 Sb Antimonio 121.760	52 Te Tellurio 127.60	53 I Iodio 126.90447	54 Xe Xeno 131.293
55 Cs Cesio 132.9054...	56 Ba Bario 137.327	57-71	72 Hf Afrio 178.49	73 Ta Tantalio 180.94788	74 W Tungsteno 183.84	75 Re Renio 186.207	76 Os Osmio 190.23	77 Ir Indio 192.217	78 Pt Platino 195.084	79 Au Oro 196.966569	80 Hg Mercurio 200.59	81 Tl Tallio 204.3833	82 Pb Piombo 207.2	83 Bi Bismuto 208.98040	84 Po Polonio (209)	85 At Astatio (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francio (223)	88 Ra Radio (226)	89-103	104 Rf Rutherfordio (267)	105 Db Dubnio (268)	106 Sg Seaborgio (271)	107 Bh Bohrio (272)	108 Hs Hassio (270)	109 Mt Meitnerio (276)	110 Ds Darmstadtio (281)	111 Rg Roentgenio (280)	112 Uub Ununbio (285)	113 Uut Ununtrio (284)	114 Uuq Ununquadio (289)	115 Uup Ununpentio (288)	116 Uuh Ununhexio (293)	117 Uus Ununseptio (294)	118 Uuo Ununoctio (294)

Per gli elementi senza isotopi stabili, le masse atomiche indicate sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Tavola Periodica Design and Interface Copyright © 1997 Michael Dayah. <http://www.ptable.com/> Last updated March 26, 2009

57 La Lantanio 138.90547	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.90765	60 Nd Neodimio 144.242	61 Pm Promezio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolino 157.25	65 Tb Terbio 158.92535	66 Dy Disprosio 162.500	67 Ho Olimo 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tullio 168.93421	70 Yb Itterbio 173.054	71 Lu Lutezio 174.9668
89 Ac Attinio (227)	90 Th Torio 232.03806	91 Pa Protoattinio 231.03588	92 U Uranio 238.02891	93 Np Nettunio (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Laurenzio (262)

Un **isotopo**, dal greco ἴσος e τόπος, è un atomo, di un qualunque elemento chimico, che mantiene lo stesso numero atomico (cioè lo stesso numero di elettroni e protoni) ma differente numero di massa e perciò differente massa atomica (cioè un differente numero di **neutroni** presenti nel nucleo).

Importanza della Teoria Atomica della Materia

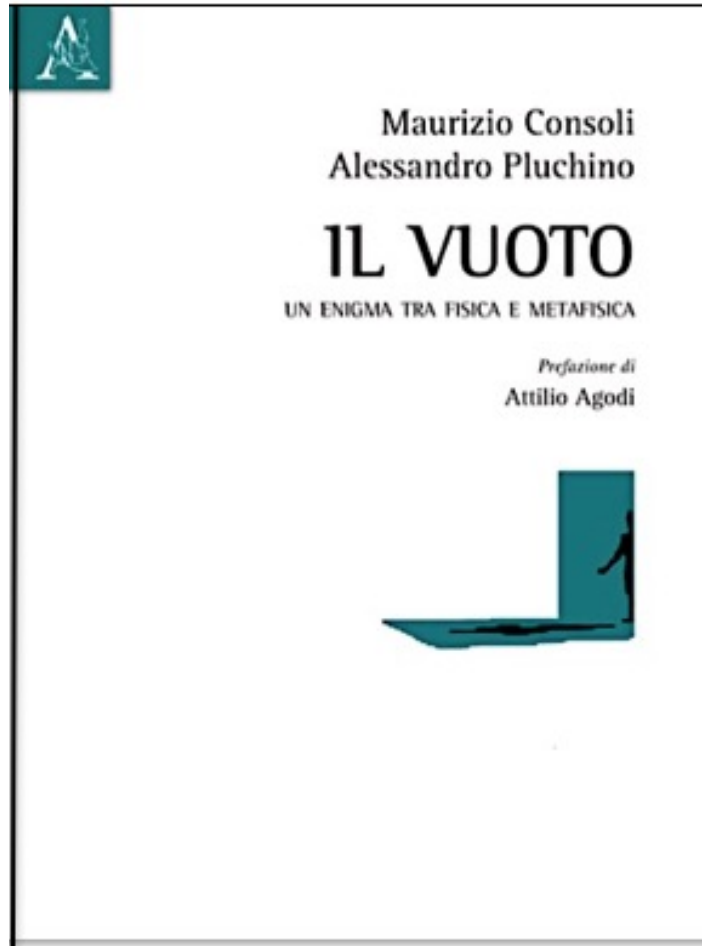


R.P.Feynman
1918-1988

Se in un cataclisma andasse distrutta tutta la conoscenza scientifica, e soltanto una frase potesse essere trasmessa alle generazioni successive, quale affermazione conterrebbe la massima quantità di informazioni nel numero minimo di parole? Io credo che sarebbe l' ipotesi atomistica (o dato di fatto atomico, o comunque vogliamo chiamarlo) secondo cui tutte le cose sono fatte di atomi, piccole particelle che si agitano con un moto perpetuo, attraendosi quando sono un po' distanti una dall' altra, ma respingendosi quando sono schiacciate una contro l' altra. In questa singola frase c' è un' enorme quantità di informazione sul mondo che ci circonda, se soltanto ci si riflette sopra con un po' di immaginazione.

Importanza della Teoria Atomica della Materia

2015

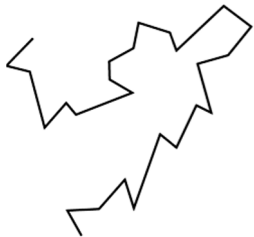


8.1 Il mondo in una visione idealizzata

[...] Seguendo il suggerimento di Feynman, e proprio perché la concezione dei primi atomisti era una pura creazione dell'intelletto, si potrebbe allora partire da essa. A questo scopo, designeremo Atomi e Vuoto gli enti elementari della loro descrizione. L'uso delle iniziali maiuscole sta ad indicare che Atomi e Vuoto hanno esattamente lo stesso significato che veniva dato loro da Leucippo e Democrito (vedi Cap.4). Cioè, gli Atomi, impenetrabili ed eterni, sono i corpi primi, quelli il cui movimento vorticoso, che Democrito chiama necessità, sta alla base di tutto. Il Vuoto, come abbiamo ricordato, va inteso come 'non-Atomi' ed, in questo senso, sarebbe 'non- essere'. Però esiste a tutti gli effetti. Esso ha il significato di spazio non occupato dagli Atomi ed è essenziale perché ci possa essere il loro movimento. [...]

Supporto alla Teoria Atomica della Materia

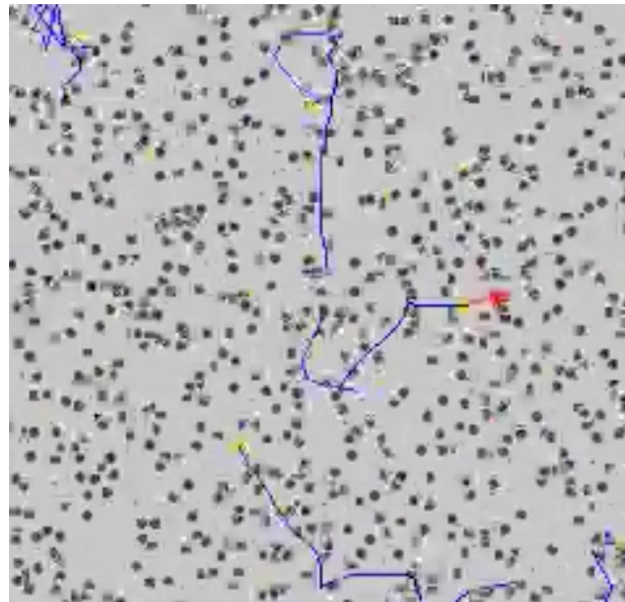
Una delle prove sperimentali più evidenti dell'esistenza degli atomi è – come già visto – il cosiddetto **moto Browniano**, scoperto dal botanico britannico **Robert Brown** nel **1827** mentre osservava al microscopio il moto di granelli di polline in sospensione nell'acqua i quali, anche se quest'ultima era apparentemente immobile, si muovevano lungo dei cammini tortuosi. La spiegazione della **teoria atomica** è che i grani siano urtati dalle molecole d'acqua in rapido movimento: da qui si dedusse che **gli atomi (o le molecole) di qualunque sostanza devono sempre essere in movimento o in vibrazione**, cosa che avevamo già anticipato parlando degli stati della materia. Per molti decenni, però la maggior parte degli scienziati continuò a **non credere** all'esistenza degli atomi. Solo nel **1905**, studiando il moto browniano, **Albert Einstein** riuscì a fornire il primo supporto teorico all'ipotesi atomica riuscendo a stimare il **diametro tipico** di un atomo, che è valutato in circa **10^{-10} m**.



Moto Browniano



Robert Brown
(1773-1858)



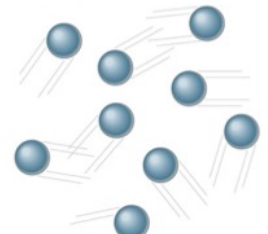
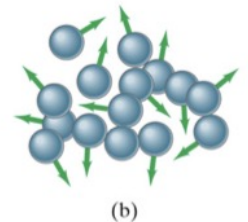
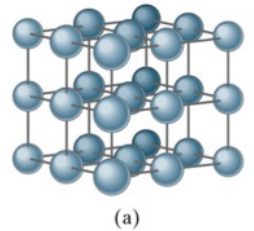
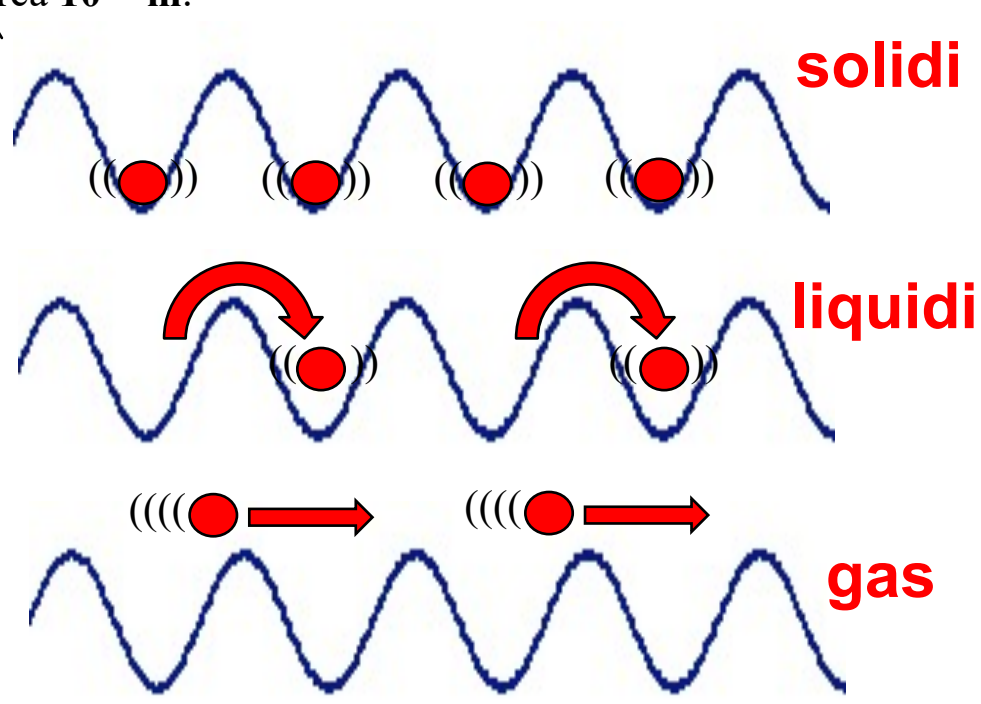
Supporto alla Teoria Atomica della Materia

Una delle prove sperimentali più evidenti dell'esistenza degli atomi è – come già visto – il cosiddetto **moto Browniano**, scoperto dal botanico britannico **Robert Brown** nel **1827** mentre osservava al microscopio il moto di granelli di polline in sospensione nell'acqua i quali, anche se quest'ultima era apparentemente immobile, si muovevano lungo dei cammini tortuosi. La spiegazione della **teoria atomica** è che i grani siano urtati dalle molecole d'acqua in rapido movimento: da qui si dedusse che **gli atomi (o le molecole) di qualunque sostanza devono sempre essere in movimento o in vibrazione**, cosa che avevamo già anticipato parlando degli stati della materia. Per molti decenni, però la maggior parte degli scienziati continuò a **non credere** all'esistenza degli atomi. Solo nel **1905**, studiando il moto browniano, **Albert Einstein** riuscì a fornire il primo supporto teorico all'ipotesi atomica riuscendo a stimare il **diametro tipico** di un atomo, che è valutato in circa 10^{-10} m.



Robert Brown
(1773-1858)

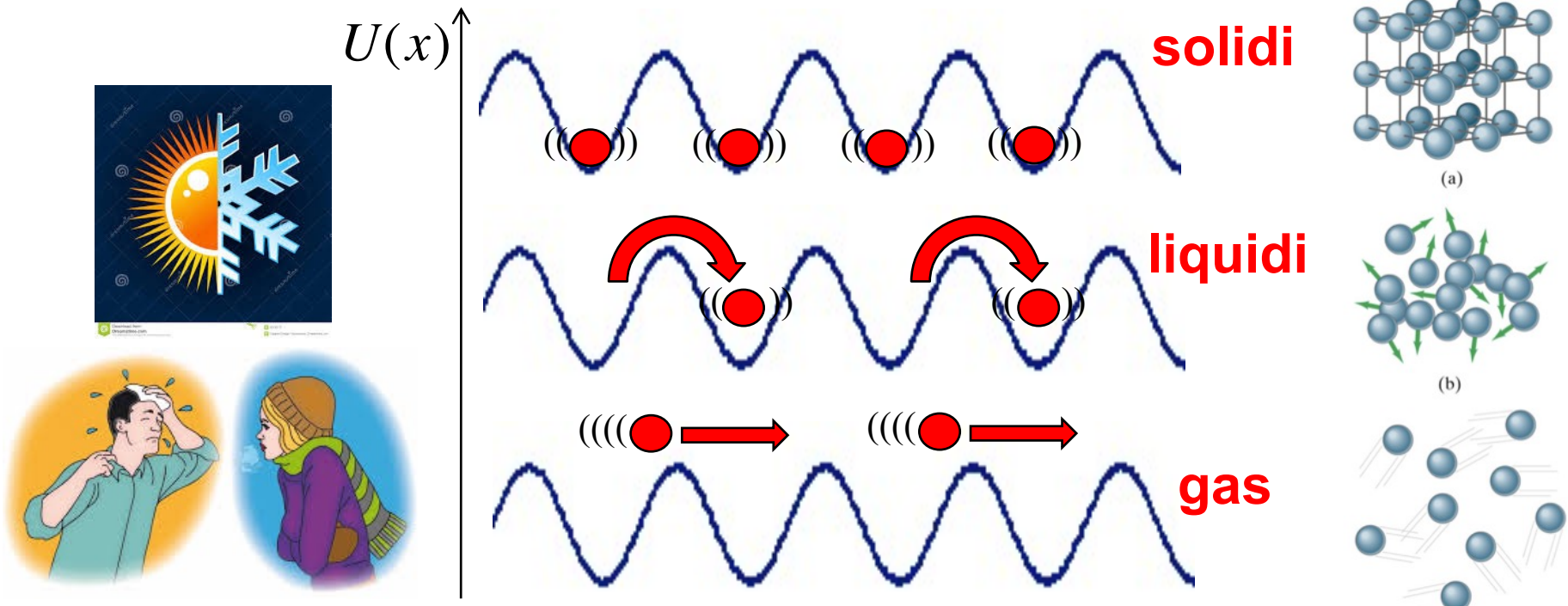
$U(x)$



Atomi e Temperatura

Nel contesto della **teoria atomica** appena riepilogato diventa immediato fornire una interpretazione microscopica di una delle principali grandezze fisiche fondamentali, la **Temperatura**. In fisica, come nella vita di tutti i giorni, la temperatura è considerata come la misura di quanto un oggetto è freddo o caldo: infatti diciamo che un oggetto è **caldo** se ha un'alta temperatura, mentre è **freddo** se ha una bassa temperatura (e viceversa).

Ebbene, la teoria atomica ci permette di affermare che la temperatura è una **proprietà emergente** legata alla **vibrazione** o al **movimento** dei miliardi di atomi e di molecole di cui sono costituite le sostanze solide, liquide o gassose. Questo significa **che i singoli atomi non sono caldi o freddi**, ma si limitano a muoversi o vibrare ad una certa velocità: maggiore è questa velocità, maggiore sarà la temperatura, misurata come **effetto collettivo** emergente dal moto atomico.



Atomi e Temperatura

Nel contesto della **teoria atomica** appena riepilogato diventa immediato fornire una interpretazione microscopica di una delle principali grandezze fisiche fondamentali, **la Temperatura**. In fisica, come nella vita di tutti i giorni, la temperatura è considerata come la misura di quanto un oggetto è freddo o caldo: infatti diciamo che un oggetto è **caldo** se ha un'alta temperatura, mentre è **freddo** se ha una bassa temperatura (e viceversa).

Ebbene, la teoria atomica ci permette di affermare che la temperatura è una **proprietà emergente** legata alla **vibrazione** o al **movimento** dei miliardi di atomi e di molecole di cui sono costituite le sostanze solide, liquide o gassose. Questo significa **che i singoli atomi non sono caldi o freddi**, ma si limitano a muoversi o vibrare ad una certa velocità: maggiore è questa velocità, maggiore sarà la temperatura, misurata come **effetto collettivo** emergente dal moto atomico.

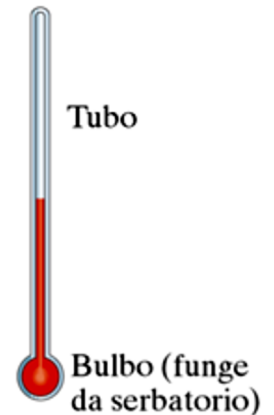


Non c'è da sorprendersi, dunque, che molte delle proprietà della materia cambino al variare della temperatura. Ad esempio, **la maggior parte dei materiali si espande se viene riscaldata**: una barra di ferro è più lunga quando è calda che non quando è fredda, così come le strade o i marciapiedi si espandono o si contraggono al cambiare della temperatura (questo spiega perché vengano installati spaziatori comprimibili o giunti espandibili a intervalli regolari lungo le strade o i binari della ferrovia). Anche la **resistenza elettrica** di un materiale (che studieremo più avanti), o il **colore** della luce irraggiata da oggetti molto caldi, variano con la temperatura (ad es., il filo di tungsteno incandescente di una lampadina emetterà una luce bianca, etc.). La **temperatura del sole** e delle altre stelle può essere misurata proprio dal colore della luce che emettono.

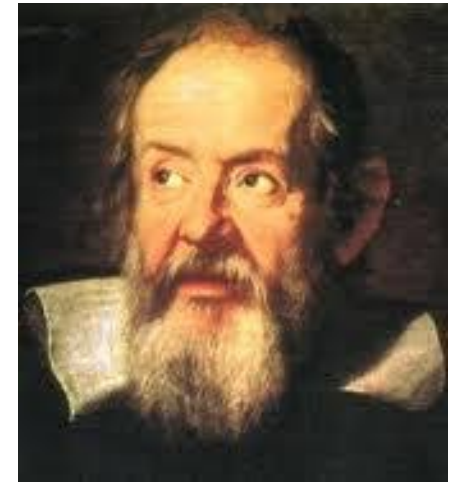
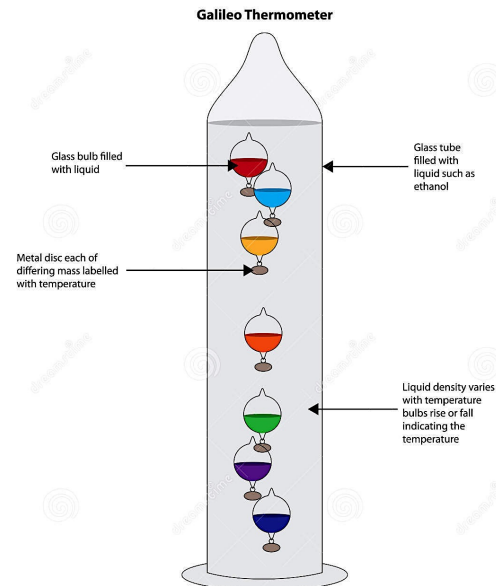
Temperatura e Termometri

Gli strumenti che misurano la temperatura sono detti **termometri**: essi sono di molti tipi diversi ma il loro principio di funzionamento si basa sempre su una o l'altra delle proprietà della materia che abbiamo appena visto.

I termometri più comuni si basano sull'espansione di un materiale con la temperatura: già **Galileo** nel XVII secolo aveva avuto l'idea di sfruttare l'espansione dei fluidi (e la conseguente variazione di densità) per costruire i primi **prototipi di termometro** (vedi sotto), idea ereditata dai moderni termometri di uso comune che sfruttano appunto la **dilatazione di liquidi** (di solito mercurio) all'interno di opportuni contenitori di vetro, di solito bulbi collegati a tubi sottili, misurando il livello del liquido nel tubo.



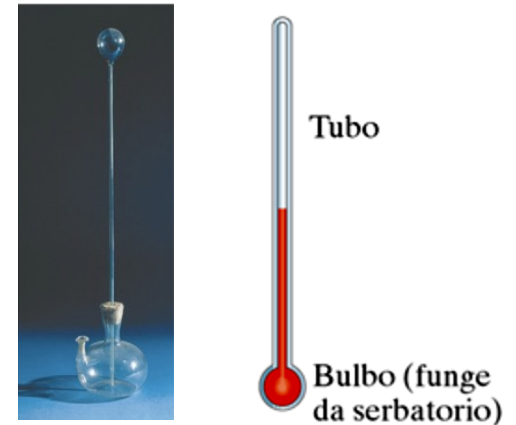
Sfruttano il principio di Archimede!



Temperatura e Termometri

Gli strumenti che misurano la temperatura sono detti **termometri**: essi sono di molti tipi diversi ma il loro principio di funzionamento si basa sempre su una o l'altra delle proprietà della materia che abbiamo appena visto.

I termometri più comuni si basano sull'espansione di un materiale con la temperatura: già **Galileo** nel XVII secolo aveva avuto l'idea di sfruttare l'espansione dei fluidi (e la conseguente variazione di densità) per costruire i primi **prototipi di termometro** (vedi sotto), idea ereditata dai moderni termometri di uso comune che sfruttano appunto la **dilatazione di liquidi** (di solito mercurio) all'interno di opportuni contenitori di vetro, di solito bulbi collegati a tubi sottili, misurando il livello del liquido nel tubo.



Anche **l'espansione dei metalli solidi** è utile per misurare la temperatura: la variazione di lunghezza di un'asta metallica con la temperatura è però di solito troppo piccola per poter essere apprezzata, quindi si preferisce sfruttare la flessione di lamine costituite da due metalli diversi (**lamine bimetalliche**) con diversi coefficienti di espansione. Spesso tali lamine sono a forma di spirale con un'estremità vincolata e un'altra collegata ad un ago (molto usate nei termostati per forni o caldaie).

Termometri molto precisi, infine, possono essere costruiti basandosi sulle **proprietà elettriche della materia**, di cui ci occuperemo più avanti (termometri a resistenza, termocoppie o termistori, tutti dotati quasi sempre di lettura digitale)

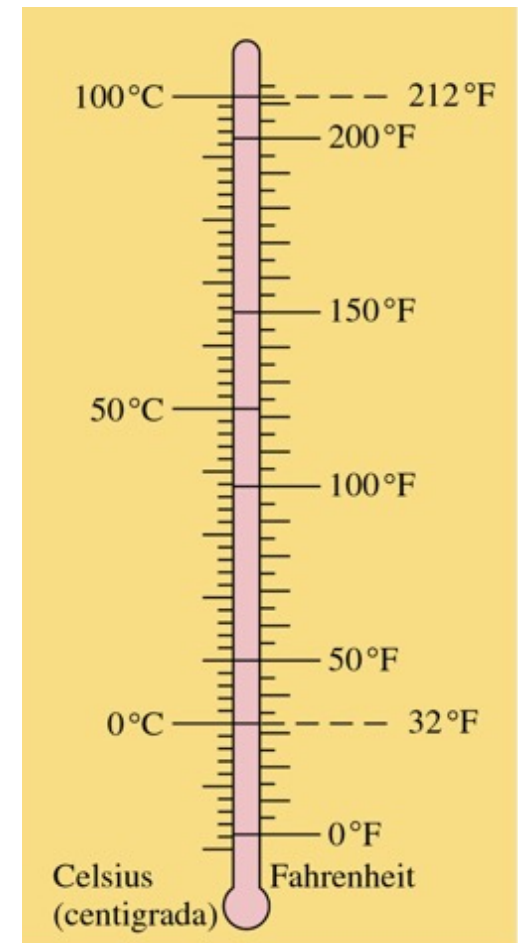
Scale di Temperatura

Ovviamente per misurare quantitativamente la temperatura con un termometro occorre definire una **scala numerica** appropriata. La scala più comunemente usata oggi è la scala **Celsius**, detta anche scala centigrada, anche se nei paesi anglofoni è utilizzata più spesso la scala **Fahrenheit**. In ambito scientifico invece si preferisce la scala assoluta, o **Kelvin**, che è poi quella ufficialmente adottata dal Sistema Internazionale (ma che introdurremo più avanti).

Con un comune **termometro a mercurio** (vedi figura) una scala di temperatura viene definita assegnando valori arbitrari a due temperature (corrispondenti a due posizioni del liquido) facilmente riproducibili, di solito i punti di **congelamento** e di **ebollizione** dell'acqua, e dividendo poi la distanza che li separa in intervallini regolari, detti “**gradi**”. La scala **Celsius** assegna 0°C (che si legge “zero gradi Celsius”) al punto di congelamento (solidificazione) e 100°C al punto di ebollizione e poi divide la distanza in 100 intervalli uguali (da cui il suo nome alternativo di “scala centigrada”), mentre la **Fahrenheit** assegna loro, rispettivamente, 32°F e 212°F e divide la distanza in 180 intervalli uguali. Dunque 0°C=32°F e un cambiamento di 5°C corrisponde a un cambiamento di 9°F.

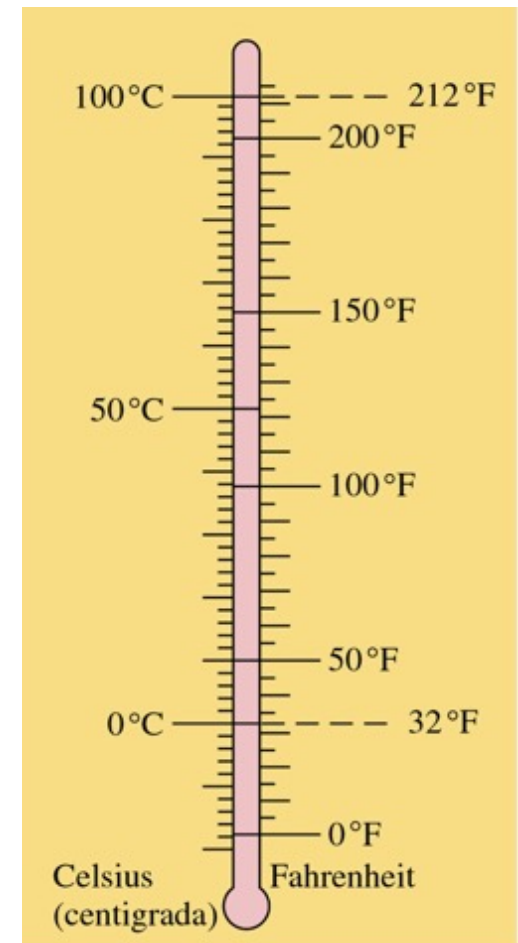
La dimensione degli intervalli (dei gradi) differisce dunque nelle due scale ma è facile **passare dall'una all'altra** considerando che $1\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}\text{ }^{\circ}\text{C}$ e che quindi si avrà:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}[T(^{\circ}\text{F}) - 32] \quad e \quad T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}T(^{\circ}\text{C}) + 32$$



Scale di Temperatura

Ovviamente per misurare quantitativamente la temperatura con un termometro occorre definire una **scala numerica** appropriata. La scala più comunemente usata oggi è la scala **Celsius**, detta anche scala centigrada, anche se nei paesi anglofoni è utilizzata più spesso la scala **Fahrenheit**. In ambito scientifico invece si preferisce la scala assoluta, o **Kelvin**, che è poi quella ufficialmente adottata dal Sistema Internazionale (ma che introdurremo più avanti).



La scala Fahrenheit è ancora oggi usata in molti paesi anglofoni per ragioni storiche. Soltanto negli anni 60 e 70 è stata proposta la scala Celsius, prevalentemente in ambito scientifico: la popolazione usa correntemente e pensa in questa scala. Negli Stati Uniti d'America, e in altri Stati più piccoli, la scala Fahrenheit continua ancora a essere usata dai servizi meteorologici nazionali e dalla maggior parte della popolazione, anche se per scopi scientifici e tecnologici viene utilizzata l'unità di misura kelvin.

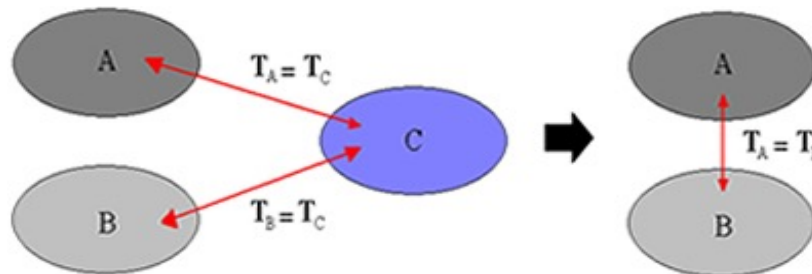
Equilibrio Termico

La possibilità di misurare la temperatura di un oggetto con un termometro (ad esempio quando ci misuriamo la febbre) è legata all'evidenza sperimentale che, quando due corpi a diverse temperature vengono posti a contatto, essi raggiungeranno dopo un po' di tempo la stessa temperatura: quando ciò avviene diciamo che i due corpi hanno raggiunto **l'equilibrio termico**.



Dunque *due oggetti si definiscono in equilibrio termico se, quando sono posti a contatto, le loro temperature sono uguali tra loro e non cambiano nel tempo.*

Sperimentalmente, si trova anche che *se due sistemi sono in equilibrio termico con un terzo sistema, allora essi sono anche in equilibrio termico l'uno con l'altro*. Questo postulato è detto anche “**principio zero della termodinamica**” e fu aggiunto agli altri principi della termodinamica (che incontreremo più avanti) solo in un secondo momento, quando ci si rese conto che esso ne precedeva logicamente la formulazione e comunque non poteva essere derivato dagli altri principi.



Dilatazione Termica Lineare

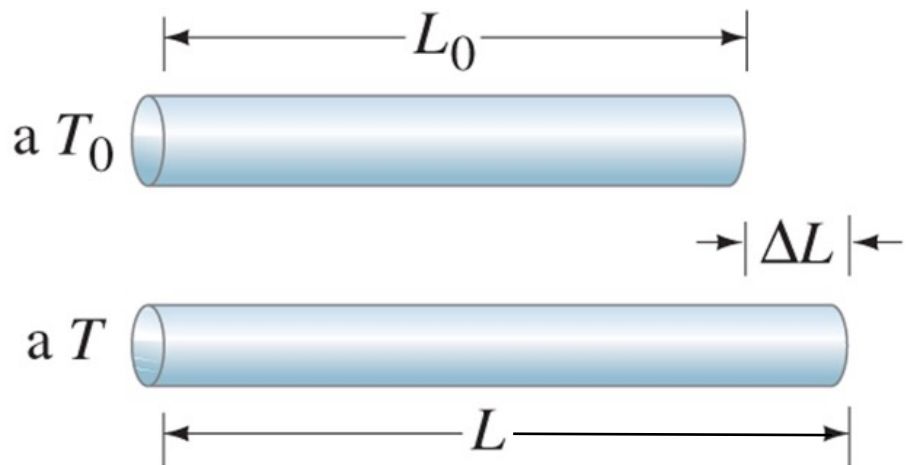
Abbiamo già detto che la maggior parte dei materiali si **espandono** quando vengono riscaldati e si **contraggono** quando vengono raffreddati, ovviamente in maniera diversa a seconda del tipo di materiale. Nel caso di materiali solidi è possibile trovare un'espressione che descrive tale comportamento per oggetti in cui una delle tre dimensioni spaziali è molto maggiore delle altre due: in tali condizioni si parla di **dilatazione termica lineare**.

Consideriamo ad esempio una sottile **asta di ferro** di lunghezza L_0 che si trovi alla temperatura T_0 , e riscaldiamola portandola alla nuova temperatura $T=T_0+\Delta T$: gli esperimenti indicano che per il ferro, come anche per quasi tutti gli altri solidi, la **variazione di lunghezza** ΔL causata dalla variazione di temperatura ΔT è, con buona approssimazione, proporzionale sia a ΔT che alla lunghezza originaria dell'oggetto, in questo caso L_0 . Si avrà quindi: $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$, dove la costante di proporzionalità α è chiamata **coefficiente di dilatazione lineare**, caratteristico del materiale considerato ed espresso in $(^\circ\text{C})^{-1}$.

Ponendo $L=L_0+\Delta L$ possiamo sostituire ΔL e mettere in evidenza L_0 ricavando l'equazione:

$$L = L_0(1 + \alpha\Delta T)$$

che ci dice qual è la lunghezza L della sbarra di ferro alla nuova temperatura T . Se ΔT è negativa, anche ΔL sarà negativa, quindi la lunghezza diminuisce quando la temperatura decresce.



Dilatazione Termica Lineare

Coefficienti di dilatazione lineare dei solidi

Il coefficiente di dilatazione lineare di una sostanza esprime numericamente *l'allungamento subito da un campione di lunghezza unitaria per ogni °C di incremento di temperatura*

Materiale	$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$
Ferro	12×10^{-6}
Rame	17×10^{-6}
Platino	9×10^{-6}
Alluminio	24×10^{-6}
Zinco	31×10^{-6}
Bronzo	18×10^{-6}
Argento	19×10^{-6}
Oro	14×10^{-6}
Nichel	13×10^{-6}
Piombo	29×10^{-6}
Tungsteno	5×10^{-6}
Costantana (lega 45% Ni, 55% Cu)	15×10^{-6}
Invar (lega di acciaio al 36% di nichel)	0.65×10^{-6}
Vetro comune	8×10^{-6}
Vetro pyrex	3×10^{-6}
Zolfo	19×10^{-6}

Dilatazione Termica Lineare

Esercizio

La base di acciaio di un **ponte sospeso** è lunga 200 m a 20 °C. Se nel corso dell'anno il ponte è soggetto ad una **escursione termica** che va da un minimo di -30 °C a un massimo di 40 °C, di quanto si contrarrà ed espanderà il ponte?

Assumiamo che la **dilatazione termica** del ponte sia di tipo **lineare** ed utilizziamo quindi l'equazione appena trovata, sapendo che il coefficiente di dilatazione dell'acciaio (uguale a quello del ferro) è $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$.



Dunque **l'incremento** in lunghezza alla temperatura di 40 °C sarà dato da:

$$L = L_0 + \Delta L \quad \rightarrow \quad \Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C})(200\text{m})(40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 4.8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

cioè 4.8 cm, mentre il **decremento** in lunghezza alla temperatura di -30 °C sarà dato da:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C})(200\text{m})(-30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = -12.0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

cioè sarà di 12 cm, quindi la **variazione totale** di lunghezza che i giunti di espansione devono compensare a causa dell'escursione termica è di 12 cm + 4.8 cm \approx 17 cm.

Dilatazione Termica di Volume

La **variazione di volume** ΔV di un materiale o una sostanza sottoposti ad una variazione di temperatura ΔT si ottiene da una relazione simile a quella vista per la dilatazione lineare, cioè:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T \rightarrow V = V_0 (1 + \beta \Delta T)$$

dove V_0 è il volume iniziale dell'oggetto considerato e β stavolta è il **coefficiente di dilatazione cubico** o di volume, la cui unità di misura è ancora $(^\circ\text{C})^{-1}$. Nel caso di liquidi e gas questa è ovviamente l'unica formula utilizzabile, visto che il concetto di dilatazione lineare, utile per oggetti solidi con una dimensione molto più lunga delle altre due, perde di significato quando si tratta di fluidi.

Coefficienti di dilatazione cubica dei liquidi

Materiale	β ($^\circ\text{C}^{-1}$)
Acqua	0.21×10^{-3}
Etanolo	1.1×10^{-3}
Etere etilico	0.16×10^{-3}
Benzolo	1.21×10^{-3}
Petrolio	0.9×10^{-3}
Glicerolo	0.5×10^{-3}
Mercurio	0.18×10^{-3}

Comportamento Anomalo dell'Acqua

A differenza della maggior parte delle sostanze (solide, liquide o gassose) che si dilatano all'aumentare della temperatura, **l'acqua ha un comportamento anomalo** tra 0°C e 4°C. Se infatti facciamo *diminuire* la temperatura di una certa massa (fissata) di acqua partendo da 100 °C (punto di ebollizione), osserveremo (a) che la prevista **diminuzione di volume** proseguirà fino a 4 °C, poi il volume comincerà stranamente ad **aumentare** fino a quando la temperatura raggiunge i 0 °C (punto di congelamento), cioè quando l'acqua comincia a trasformarsi in **ghiaccio** (la cui **densità**, $\rho = m / V$, risulterà quindi minore di quella dell'acqua).

Parallelamente, a causa di tale variazione di volume, la densità dell'acqua allo stato liquido avrà un **picco** proprio alla temperatura di 4 °C (b), cioè in corrispondenza del minimo del volume. Questo fenomeno anomalo è di **fondamentale importanza per la sopravvivenza delle specie acquatiche** durante gli inverni molto freddi: infatti, mentre la temperatura dell'aria a contatto con la superficie di mari, fiumi o laghi decresce, gli strati superficiali di liquido, più freddi e dunque più densi, sprofondano (per il principio di Archimede) facendo affiorare quelli sottostanti. Raggiunti però i 4°C, questo processo si blocca perchè **la densità degli strati superficiali comincia a diminuire** prima di quella degli strati sottostanti, e diminuisce fino a quando, a 0°C, l'acqua degli strati superficiali diventa ghiaccio: in questo modo lo strato di ghiaccio (essendo meno denso dell'acqua) resta in superficie e **isola termicamente** l'acqua sottostante, mantenendola a una temperatura maggiore di 4° e impedendole così di congelare!

