
I.S.I.S. Raffaele del Rosso - Giovanni da Verrazzano

Dispensa IV

Redatta dal prof. Sbroli Iacopo

per le classi IIASC e IIBSC

A.S. 2019-2020

Versione 1 (21/12/2019)

Indice

1	La termologia	2
1.1	Le scale termometriche	3
1.1.1	Equivalenze con le scale termometriche	3
1.1.2	Calore specifico e calore latente	4
1.2	La natura della temperatura e del calore specifico	4
1.2.1	La natura della temperatura	5
1.2.2	Scaldare i corpi	6
1.3	L'equilibrio termico	6
1.3.1	Il termometro a mercurio: fatti noti e paradossi	6
1.3.2	Un esempio	7
1.4	Esercizi	8
2	La forza elastica	9
2.1	Applicazioni	10
2.2	Il dinamometro	10
2.3	La bilancia	10
2.3.1	Lo snervamento	11
2.4	Esercizi	11
	Glossario	12

Capitolo 1

La termologia

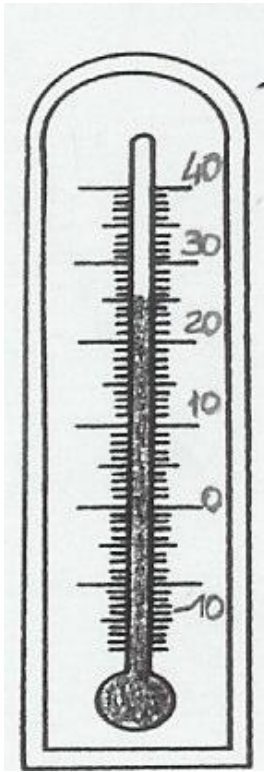


Figura 1.1: Rappresentazione di un termometro a mercurio (o a liquido). La parte inferiore, detta *bulbo*, contiene la maggior parte del volume della sostanza. La colonnina verticale ha un volume minuscolo rispetto al bulbo: per questo motivo basta una piccola variazione di temperatura per apprezzare una variazione di altezza della colonnina

La termologia è una branca della fisica che studia tutta la fenomenologia connessa alla forma di **energia disordinata** nota come *calore*. La termologia può essere suddivisa ulteriormente in numerose importanti branche:

1. La *termodinamica*: branca della termologia che studia i metodi per trasformare il calore in lavoro e viceversa. Le macchine termiche, come i motori delle auto, funzionano grazie ai principi della termodinamica.
2. La *calorimetria*: branca della termologia che studia i metodi per misurare il calore scambiato tra due corpi aventi temperatura differente. Per effettuare queste misure sono necessari dei particolari strumenti, come il *calorimetro*.
3. La *termometria*: branca della termologia che studia le metodologie per misurare la temperatura di un corpo. È profondamente connessa allo studio delle proprietà di dilatazione termica dei corpi (un corpo caldo, generalmente, ha un volume maggiore rispetto a un corpo più freddo: su questo principio si basano i termometri a mercurio e ad alcool).

1.1 Le scale termometriche

Come sapete, è possibile utilizzare numerose unità di misura per determinare la temperatura di un corpo.

Esistono due tipi di scala:

1. Scale *relative*. Lo zero di una scala relativa è un valore arbitrario, che non coincide con l'assenza di moto delle particelle. Le scale *Fahrenheit* e *Celsius* sono relative, perché 0°C è la temperatura di fusione del ghiaccio e 0°F non corrisponde a nessun valore particolare ¹
2. Scale *assolute*. Lo zero di una scala assoluta è un valore ben definito, che corrisponde alla totale assenza di moto vibratorio, rotatorio e traslatorio delle molecole che compongono i corpi ². Due scale assolute sono la *scala Kelvin* e la *scala Rankine*.

Generalmente, **in fisica si utilizza la scala Kelvin, dato che il kelvin (K) è l'unità di misura del sistema internazionale della temperatura. Nella vita quotidiana si utilizzano i gradi Celsius in tutte le nazioni del mondo salvo gli Stati Uniti d'America, dove vengono tuttora utilizzati i gradi Fahrenheit** (prima della Rivoluzione Francese non esisteva un sistema unificato di unità di misura: ogni piccola provincia, in Italia come in altri paesi, aveva le proprie. Basti pensare che a Pitigliano, per misurare il volume, si utilizzavano le «Botti di vino di Pitigliano» fino alla fine del 700).

1.1.1 Equivalenze con le scale termometriche

Per trasformare una temperatura da gradi Fahrenheit in gradi Celsius e viceversa è necessario utilizzare le seguenti equivalenze:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1,8}^{\circ}\text{C} \quad (1.1)$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = (T(^{\circ}\text{C}) \cdot 1,8 + 32)^{\circ}\text{F} \quad (1.2)$$

Per trasformare una temperatura da gradi Celsius in kelvin e viceversa è necessario utilizzare le seguenti equivalenze:

$$T(^{\circ}\text{C}) = (T(\text{K}) - 273,15)^{\circ}\text{C} \quad (1.3)$$

$$T(\text{K}) = (T(^{\circ}\text{C}) + 273,15)\text{K} \quad (1.4)$$

Importante. Una variazione di temperatura espressa in gradi Celsius è uguale a una variazione di temperatura espressa in kelvin:

$$\begin{aligned} T_A(^{\circ}\text{C}) - T_B(^{\circ}\text{C}) &= (T_A(\text{K}) - 273,15)^{\circ}\text{C} - (T_B(\text{K}) - 273,15)^{\circ}\text{C} \\ T_A(^{\circ}\text{C}) - T_B(^{\circ}\text{C}) &= T_A(\text{K}) - 273,15^{\circ}\text{C} - T_B(\text{K}) + 273,15^{\circ}\text{C} \\ T_A(^{\circ}\text{C}) - T_B(^{\circ}\text{C}) &= T_A(\text{K}) - T_B(\text{K}) \end{aligned} \quad (1.5)$$

¹In origine doveva trattarsi della temperatura di una particolare miscela di acqua, ghiaccio e sale in equilibrio, ma nella scala Fahrenheit utilizzata attualmente non è più così. Fonte: <https://www.livescience.com/39916-fahrenheit.html>

²Quando studierete la meccanica quantistica scoprirete che anche allo zero assoluto esiste un piccolissimo moto oscillatorio. L'affermazione fatta nel testo è quindi un'approssimazione

1.1.2 Calore specifico e calore latente

L'unità di misura $\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, che abbiamo spesso utilizzato per il calore specifico, corrisponderà quindi esattamente a $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$:

$$\frac{\text{J}}{\text{kgK}} = \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

Questo è vero perché il kelvin a denominatore indica una *variazione* di temperatura: **il calore specifico è il calore necessario a far aumentare la temperatura di una certa massa di sostanza fratto la massa della sostanza e la variazione di temperatura:**

$$c_{sost} = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (1.6)$$

dove Q è il calore fornito alla sostanza (la lettera Q sta per «quantità di calore»), m è la massa del corpo preso in considerazione mentre $\Delta T = T_{finale} - T_{iniziale}$ è la variazione di temperatura. Si ottengono le seguenti formule inverse:

$$T_f = \frac{Q}{mc_{sost}} + T_i \quad (1.7)$$

$$Q = mc\Delta T \quad (1.8)$$

Ricordiamo anche che **mentre facciamo fondere il ghiaccio o facciamo bollire l'acqua, la temperatura dei corpi rimane costante (l'acqua bollente rimane a 100 gradi celsius fissi): il calore assorbito viene utilizzato per la fusione e per l'ebollizione (fenomeni che implicano l'indebolimento o la rottura dei legami tra le molecole)**. Per misurare l'energia necessaria per far fondere o bollire una sostanza si utilizza una grandezza, detta *calore latente* e indicata con le lettere L o λ (lambda minuscolo), definita come l'energia necessaria per far sciogliere (o bollire) una certa massa di sostanza fratto la massa di sostanza stessa:

$$\lambda_{fus} = \frac{Q_{fus}}{m_{corpo}} \quad (1.9)$$

1.2 La natura della temperatura e del calore specifico

Prima di cimentarci nella descrizione della **misura** della temperatura è opportuno descriverne **la natura**. Vogliamo insomma capire *cosa* è davvero la temperatura. Contrariamente all'intuito, *non* è una misura del «caldo» e del «freddo»: la percezione delle sensazioni di caldo e freddo non è tanto legata alla temperatura, quanto alla *rapidità* dell'aumento o del calo della temperatura. Infatti, percepiamo una maggiore sensazione di freddo immergendo la nostra mano in una bacinella d'acqua di temperatura 10°C che non lasciandola penzolare nell'aria orbetellana (o albiniese, o santostefanese) invernale alla stessa temperatura. **L'acqua sottrae calore più rapidamente dell'aria**, quindi la percepiamo più fredda, anche se non necessariamente questo è vero. **È anche questo il motivo per cui la sensazione di freddo in inverno è acuita dal vento:** per *convezione*, il vento è in grado di raffreddare il nostro corpo molto rapidamente, rimuovendo continuamente lo strato d'aria mite più prossimo al nostro corpo (l'aria vicina al nostro corpo è più mite in inverno di quella lontana dal nostro corpo perché noi siamo caldi e per conduzione riscaldiamo gli strati d'aria immediatamente prossimi al nostro corpo).

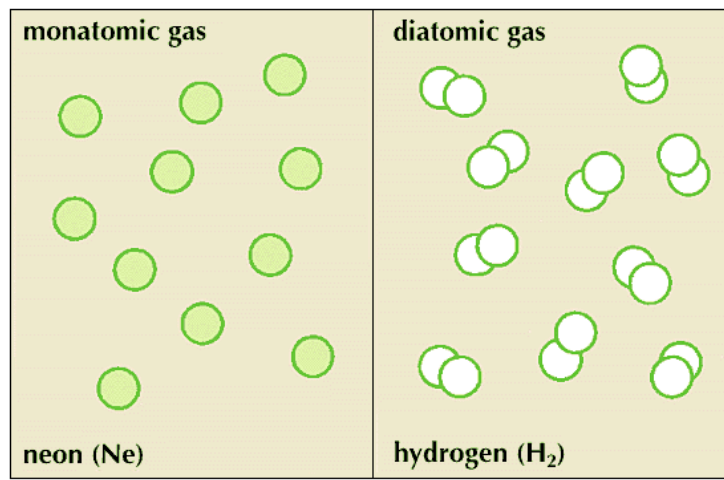


Figura 1.2: Rappresentazione di molecole monoatomiche (neon, gas nobile, a sinistra) e biatomiche (idrogeno gassoso, a destra). Le molecole monoatomiche contengono un solo atomo, mentre le molecole biatomiche ne contengono due.

1.2.1 La natura della temperatura

La *temperatura*, in fisica, è strettamente legata *all'energia cinetica media delle particelle che compongono un corpo*. È particolarmente facile scrivere l'equazione per determinare la temperatura di un *gas monoatomico*, ovvero di un gas composto da molecole formate da un solo atomo (per esempio l'elio, il neon, l'argon e lo xenon, ovvero i cosiddetti *gas nobili*, chiamati così perché formano molecole da soli in modo molto sgarbato). **Possiamo infatti immaginare il gas come un insieme di palline che rimbalzano continuamente all'interno di una stanza, e che la temperatura del gas è legata alla velocità di queste palline.** L'equazione per determinare la temperatura è la seguente:

$$T_{gas}(K) = \frac{\frac{1}{2}m_{atomo}v_{media\ atomi}^2}{\frac{3}{2}k} \quad (1.10)$$

dove m_{atomo} è la massa dell'atomo, $v_{media\ atomi}$ è la velocità media degli atomi e $k \approx 1,4 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ è la *costante di Boltzmann*, una costante fondamentale dell'Universo che si manifesta in innumerevoli equazioni fisiche. È chiaro che il termine $\frac{1}{2}m_{atomo}v_{media\ atomi}^2$ rappresenta *l'energia cinetica media* degli atomi nel gas. **Il 3 presente al denominatore è un fattore legato al numero di movimenti che le molecole possono compiere:** dato che esse possono muoversi lungo tre assi spaziali (avanti-indietro, destra-sinistra, su-giù) il fattore al denominatore è pari a 3. **Chiaramente, la temperatura aumenta se aumenta la velocità dei singoli atomi.**

Facciamo un esempio di calcolo della temperatura. Supponiamo di avere un gas composto da elio. La massa di un atomo di elio è $m_{elio} = 6,6 \cdot 10^{-27}kg$. Supponiamo che la velocità media degli atomi di elio sia $v_{media\ elio} = 1000 \frac{m}{s}$. Per trovare la temperatura scriveremo:

$$\begin{aligned} T_{gas}(K) &= \frac{\frac{1}{2}6,6 \cdot 10^{-27}1000^2}{\frac{3}{2}1,4 \cdot 10^{-23}}K \\ &= \frac{3,3 \cdot 10^{-27}10^6}{2,1 \cdot 10^{-23}}K \\ &= \frac{3,3 \cdot 10^{-21}}{2,1 \cdot 10^{-23}}K \\ &= \frac{3,3}{2,1} \cdot 10^{-21+23}K \\ &= 1,57 \cdot 100K \\ &= 157K \end{aligned} \quad (1.11)$$

Immaginate quindi che gli atomi di elio, pur muovendosi a una velocità di ben 3600 chilometri orari (1000 metri al secondo), hanno una temperatura pari a $-116,15^\circ C$! Non sorprende che sia così difficile liquefare l'elio.

Per visualizzare un'animazione che chiarisce il legame tra temperatura di un gas e la sua velocità, cliccate qui: <https://www.youtube.com/watch?v=tEFHkcx2cz0>. Nell'animazione sono presenti due masse di gas (una più «calda», di colore blu, e una più «fredda», di colore rosso). La massa di gas più calda si muove a una velocità maggiore rispetto alla massa di gas più fredda, come ci aspettavamo.

1.2.2 Scaldare i corpi

Alcune sostanze si scaldano più facilmente di altre (hanno calori specifici inferiori). Questo può avvenire per due motivi:

1. Due corpi, anche se hanno la stessa massa, sono composti da molecole di masse diverse.
2. Due corpi, anche se hanno la stessa massa, sono composti da molecole che possono compiere un numero di movimenti diversi (per ora non lo trattiamo)

Vediamo un esempio. Supponiamo di avere due masse di gas: una massa d'elio di 1kg e una massa di ossigeno di 1kg.

Due masse uguali.

Sappiamo, tramite delle tabelle, che ogni atomo di elio ha una massa di $6,6 \cdot 10^{-27}$ kg, mentre ogni molecola di ossigeno ha una massa di $52 \cdot 10^{-27}$ kg (la massa dell'ossigeno è circa 8 volte quella dell'elio).

Ora: il numero di molecole di elio in un kg sarà $N_{elio} = \frac{1\text{kg}}{6,6 \cdot 10^{-27}\text{kg}} = 1,5 \cdot 10^{26}$, mentre il numero di molecole di

ossigeno in un kg sarà $N_{ossigeno} = \frac{1\text{kg}}{52 \cdot 10^{-27}\text{kg}} = 1,9 \cdot 10^{25}$ (ho più molecole di elio, a parità di massa). Se a entrambe le sostanze fornisco la stessa quantità di calore, **nell'elio sarà spartita tra un numero maggiore di molecole**, e quindi *in media* ciascuna molecola avrà acquisito un'energia cinetica minore rispetto all'ossigeno, quindi l'elio si sarà scaldato meno rispetto all'ossigeno (la temperatura è legata all'energia cinetica *media*!). **L'elio ha quindi un calore specifico maggiore di quello dell'ossigeno.**

Possiamo quindi affermare che **se due corpi di massa uguale sono composti da molecole di massa diversa, sarà più facile scaldare quello composto da molecole di massa più grande**, perché il calore si distribuirà su un numero minore di molecole, e l'aumento di energia cinetica media (e quindi di temperatura) sarà maggiore.

1.3 L'equilibrio termico

Tutti i corpi presenti nell'Universo si scambiano calore. La più remota delle stelle nella più distante delle Galassie ci cede calore lanciando verso di noi dei tenui fotoni. Noi, meno grandi e meno brillanti delle stelle, lanciamo verso lo spazio una debolissima radiazione infrarossa.

La misura della temperatura si basa sul fatto che **due corpi qualsiasi presenti nell'Universo si scambiano calore fino a raggiungere una temperatura di equilibrio**, intermedia tra le temperature dei due corpi. Il *termometro* può misurare questa temperatura scambiando calore con l'oggetto di cui si vuole misurare la temperatura, riscaldandosi o raffreddandosi.

1.3.1 Il termometro a mercurio: fatti noti e paradossi

Il termometro a mercurio si basa sulla legge della dilatazione termica: un corpo, se riscaldato, aumenta il proprio volume perché le molecole che lo compongono acquistano energia cinetica e sono più libere di muoversi. **Affinché il volume del mercurio cambi, è necessario che l'ambiente di cui si vuole misurare la temperatura scambi calore con il mercurio.** Ma se analizziamo bene questo passaggio osserviamo un paradosso: se dobbiamo raffreddare del mercurio la cui temperatura iniziale sia 20°C per misurare la temperatura di un blocco di ghiaccio la cui temperatura iniziale sia -40°C , allora il blocco di ghiaccio si dovrà scaldare leggermente, essendo a contatto con un corpo più caldo. **Il termometro, inevitabilmente, altera la temperatura che vogliamo misurare!**

Chiaramente, è possibile limitare questo effetto. Vediamo come. Sappiamo che per trovare la temperatura di equilibrio si utilizza la seguente formula:

$$\Theta = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \quad (1.12)$$

dove Θ (theta maiuscolo) è la temperatura di equilibrio ³, m_1 , c_1 e T_1 sono la massa, il calore specifico e la temperatura del primo corpo, mentre m_2 , c_2 e T_2 sono la massa, il calore specifico e la temperatura del secondo corpo. Per far sì che sulla temperatura di equilibrio pesino poco le proprietà del termometro, **sarà necessario utilizzare sostanze con calore specifico basso (metalli come il mercurio) e piccole masse di sostanza.**

Le temperature nell'equazione 1.12 possono essere espresse in qualsiasi scala (Celsius, Kelvin, Fahrenheit): si otterrà un valore di temperatura di equilibrio nella stessa scala utilizzata per le temperature T_1 e T_2 . In questa formula, è possibile utilizzare qualsiasi unità di misura per esprimere la massa, a patto che la scelta di tale unità di misura sia la stessa per le masse m_1 e m_2 .

1.3.2 Un esempio

Ipotizziamo di voler misurare la temperatura di un blocco di ghiaccio di massa 1kg e temperatura -40°C . Il mercurio del termometro ha una massa di 5g e una temperatura iniziale di 20°C . Se il calore specifico del ghiaccio è $2220 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$ e il calore specifico del mercurio è $140 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$, la temperatura di equilibrio (quella misurata dal termometro) sarà:

$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{1 \cdot 2220 \cdot (-40) + 0,005 \cdot 140 \cdot 20}{1 \cdot 2220 + 0,005 \cdot 140} {}^\circ\text{C} \\ &\approx -39,98^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (1.13)$$

che è quasi uguale a quella iniziale del ghiaccio, cioè meno quaranta gradi celsius, ma non esattamente uguale. **Il termometro misura una temperatura diversa da quella che il ghiaccio aveva all'inizio:** la sua presenza ha alterato il valore di temperatura che si voleva trovare.

³Se i due corpi sono composti dalla stessa sostanza (se ad esempio, abbiamo due masse d'acqua) l'equazione è più semplice, ovvero $\Theta = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$. Si tratta di una media pesata delle temperature sulle masse: la temperatura di equilibrio sarà più vicina a quella del corpo di massa maggiore.

1.4 Esercizi

- Esprimi una temperatura di 30°C in kelvin e gradi Fahrenheit.
- Esprimi una temperatura di 30°F in kelvin e gradi Celsius.
- A quanto equivale una variazione di 10°C in gradi Fahrenheit?
- Se fornisco a un blocco di ghiaccio di 1kg un calore di 100.000J , quanto varrà la sua temperatura finale se la sua temperatura iniziale era -50°C ? Ricorda che $c_g = 2220 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$.
- Se fornisco a un blocco di ghiaccio di 1kg un calore di $1.000.000\text{J}$, quanto ne scioglierò, sapendo che la sua temperatura iniziale era -20°C ? (Ricorda che per sciogliere il ghiaccio devi prima portarlo a una temperatura di zero gradi celsius e poi fornire ulteriore calore per lo scioglimento. Il calore latente di fusione del ghiaccio è $\lambda_{fus} = 334000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$).

- Determina la temperatura di equilibrio raggiunta da un lingotto d'oro immerso in una coperta di neve sapendo che:

$$(a) \quad c_{neve} = 2050 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$(b) \quad c_{oro} = 120 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$(c) \quad m_{neve} = 5\text{kg}$$

$$(d) \quad m_{oro} = 2\text{kg}$$

$$(e) \quad T_{neve} = -10^{\circ}\text{C}$$

$$(f) \quad T_{oro} = 55^{\circ}\text{C}$$

Determina se parte della neve si scioglierà.

- Determina la temperatura di equilibrio raggiunta da un blocco di ghiaccio immerso in acqua sapendo che:

$$(a) \quad c_{gh} = 2220 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$(b) \quad c_{ac} = 4184 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$(c) \quad m_{gh} = 5\text{kg}$$

$$(d) \quad m_{ac} = 10\text{kg}$$

$$(e) \quad T_{gh} = -90^{\circ}\text{C}$$

$$(f) \quad T_{ac} = 20^{\circ}\text{C}$$

Determina se parte dell'acqua si congelerà e, in caso di risposta affermativa, quanta acqua si congelerà sapendo che il calore latente di solidificazione dell'acqua è $\lambda_{sol} = 334000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Prima di effettuare questo calcolo, devi determinare quanto calore deve cedere l'acqua al ghiaccio per arrivare a una temperatura di 0°C e poi quanto calore deve assorbire il ghiaccio dall'acqua per arrivare a una temperatura di 0°C . La differenza tra i due valori sarà il calore che il ghiaccio, assorbendo dall'acqua, causerà il suo congelamento.

- Determina la temperatura di un gas di ossigeno sapendo che la massa di una molecola di ossigeno è $52 \cdot 10^{-27}\text{kg}$ e che la velocità media delle molecole nel gas è $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Capitolo 2

La forza elastica

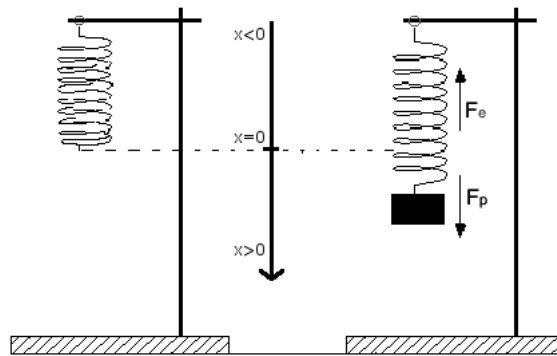


Figura 2.1: Molle. A sinistra, una molla a riposo. A destra, una molla sottoposta alla forza peso agente su un corpo appeso. La molla, quando è in equilibrio, si allunga in modo tale che la forza elastica (indicata con F_e in questa rappresentazione) sia uguale in modulo alla forza peso.

Se proviamo ad allungare una molla, l'oggetto proverà a ricompattarsi. **Più allunghiamo la molla, maggiore sarà la forza con cui l'oggetto tenderà a tornare allo stato iniziale.** La forza che tende a far ricompattare la molla (detta *forza di richiamo*) è direttamente proporzionale all'allungamento della molla, e ha verso opposto. A parità di allungamento **abbiamo molle dure che tendono a far ricompattare il corpo con vigore, e molle morbide che tendono a ripristinare la situazione iniziale più debolmente.** La durezza della molla è quantificata da una costante k , detta costante elastica. **Conoscendo tutte queste informazioni, possiamo scrivere la seguente equazione:**

$$F_{richiamo}^{\vec{}} = -k\vec{\Delta}l \quad (2.1)$$

dove $F_{richiamo}^{\vec{}}$ è la forza di richiamo, $\vec{\Delta}l$ è l'allungamento della molla mentre k è la costante elastica della molla. **Attenzione: presa una certa molla, la costante elastica ha un valore fisso: tale costante non dipende né dall'allungamento né tantomeno dalla forza con cui è tirata la molla.** La costante elastica rappresenta la durezza della molla, ed è legata ad alcune proprietà geometriche dell'oggetto: **più una molla è lunga, meno è dura; più una molla è stretta, più è dura.**

L'equazione 2.1, detta *legge di Hooke* (dal nome di un fisico vissuto al tempo di Newton nella seconda metà del 600) afferma che *la forza di richiamo della molla ha verso opposto all'allungamento (se tiro a destra la molla si ricompatta tirando verso sinistra).* Ma se siamo interessati solo all'intensità dei vettori (ovvero alla loro lunghezza, senza tener conto dei versi) possiamo scrivere:

$$F_{richiamo} = k\Delta l \quad (2.2)$$

Attenzione: l'allungamento δl è dato dalla seguente formula:

$$\Delta l = l_{finale} - l_{riposato} \quad (2.3)$$

dove $l_{riposato}$ è la lunghezza a riposo dell'oggetto elastico (ovvero la sua lunghezza quando non sottoposto a forze).

2.1 Applicazioni

La legge di Hooke non vale solo per le molle che intendiamo solitamente: un enorme numero di oggetti possiede proprietà elastiche (ovvero, se deformato e poi rilasciato tende a riprendere la forma precedente). Pensiamo alle ruote delle biciclette e delle automobili: quando toccano la strada si comprimono, ma se questo contatto viene a mancare riprendono la forma precedente. **Anche tutti gli oggetti con cui abbiamo a che fare normalmente possiedono proprietà elastiche, ma il nostro occhio non ci permette di apprezzare la compressione di pochi micrometri causata, ad esempio, dalla presenza di un computer su una scrivania. I terremoti sono causati dalle vibrazioni delle rocce del sottosuolo che, come molle, vibrano rapidamente quando si muove una placca.**

2.2 Il dinamometro



Figura 2.2: Esempio di piattaforma (usata dai bambini nei parchi giochi) connessa a una molla. Se il bambino sale sopra la piattaforma la molla si comprimerà di un valore direttamente proporzionale alla massa del bambino .

Una delle più spettacolari applicazioni della legge di Hooke è la possibilità di costruire uno strumento che misura le forze, detto *dinamometro*. Il dinamometro può misurare le forze perché tramite l'equazione 2.2 osserviamo che l'allungamento è legato alla forza tramite un valore costante k : questo significa che se la forza applicata raddoppia, allora raddoppia anche la forza. **Sfruttando questo principio possiamo inserire la molla all'interno di un involucro cilindrico di plastica, stampare sull'involucro una scala graduata e far corrispondere a ogni centimetro della scala graduata una certa forza in newton legata alla costante elastica della molla.** Ad esempio, se $k = 10.000 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, allora a un allungamento di 1cm corrisponderà una forza di 100N (abbiamo $F = 10.000 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,01\text{m} = 100\text{N}$).

2.3 La bilancia

Tramite la legge di Hooke **possiamo anche costruire delle bilance**. Se la molla è posta in verticale ed è provvista di un gancio, possiamo appendere alla molla un corpo.

Dopo aver appeso il corpo, la molla si allungherà fino a raggiungere un punto di equilibrio, fermandosi. **All'equilibrio, la la forza di richiamo (diretta verso l'alto) avrà la stessa intensità della forza peso (diretta verso il basso).** Otterremo quindi:

$$F_{\text{richiamo}} = k\Delta l \quad (2.4)$$

$$F_{\text{peso}} = mg \quad (2.5)$$

$$F_{\text{richiamo}} = F_{\text{peso}} \rightarrow k\Delta l = mg \quad (2.6)$$

$$(2.7)$$

Con la formula inversa otteniamo:

$$m = \frac{k\Delta l}{g} \quad (2.8)$$

Quindi, se conosciamo la costante elastica della molla k e l'accelerazione di gravità g , potremo determinare la massa di un corpo semplicemente appendendolo a una molla (oppure poggiandolo su una piattaforma che si regge su una molla) e misurandone l'allungamento (o la compressione).

2.3.1 Lo snervamento

La molla, se sottoposta a una forza troppo intensa, si rompe e perde la sua elasticità: **non può più tornare allo stato originario**. L'allungamento che causa il fenomeno è detto «allungamento di snervamento». Potete osservare questo fenomeno sulla molla tirata con una gran forza da un ragazzo del nostro Istituto conservata in una scatola del laboratorio portatile.

Chiaramente, dato che la l'allungamento della molla non può essere maggiore dell'allungamento di snervamento, la portata di una bilancia costruita con una molla è data da:

$$m_{max} = \frac{k\Delta l_{snerv}}{g} \quad (2.9)$$

2.4 Esercizi

1. Determina l'accelerazione di gravità su Marte sapendo che se sul pianeta rosso Beatrice Bindi si siede sopra una piattaforma collegata a una molla (come in figura 2.2) la molla passerà da una lunghezza a riposo di 50,00cm a una lunghezza finale di 49,97cm, che la massa di Beatrice Bindi è 49,5kg e che la costante elastica della molla è $600.000 \frac{\text{N}}{\text{m}}$.
2. Determina la costante elastica di un muro sapendo che io stesso, scagliandomi contro il muro a una velocità di $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ e decelerando fino a $-10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ dopo l'urto, ne ho causato una deformazione di soli 0,01 millimetri. L'urto è durato $\Delta t = 0,1\text{s}$ e la mia massa è 50 kg (suggerimento: trova la forza con cui mi sono scagliato contro il muro usando il secondo principio della dinamica. Questa forza sarà uguale alla forza elastica provocata dal muro. Aspettati valori alti della costante elastica per oggetti duri come un muro).
3. Determina il valore attendibile della costante elastica della gomma di una bicicletta sapendo che in classe, a causa di Giulia Sandroni e delle sue chiacchiere, ho misurato una compressione della gomma di 0,5 mm per una forza di 5N, una compressione di 1,1 mm per una forza di 10N, una compressione di 1,3mm per una forza di 15N e una compressione di 2,0mm per una forza di 20N . Rappresenta questi valori su un grafico (in ascissa le forze, in ordinata gli allungamenti). In teoria, se la costante elastica fosse davvero indipendente dalla forza, questi punti dovrebbero essere collegati da una retta. Lo osserviamo?

Glossario

Accelerazione di gravità Aumento della velocità di un corpo che cade fratto l'intervallo di tempo. È legata alla massa del pianeta più vicino e alla distanza dal centro del pianeta.

Si ha $g = \frac{GM}{R^2}$, dove $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$ è la costante di gravitazione universale, M è la massa del pianeta e

R è la distanza dal pianeta. Sulla superficie della Terra $g \approx 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. (Pagina 11)

Allungamento Differenza tra la lunghezza finale della molla e la sua lunghezza a riposo. Si indica con Δl . Si ha che $\Delta l = l_{fin} - l_{rip}$, dove l_{rip} è la lunghezza a riposo della molla. (Pagina 9)

Bilancia Strumento che misura la massa di un corpo. Qualsiasi corpo può essere una bilancia se una sua caratteristica è direttamente proporzionale alla massa collegata al corpo. (Pagine 1, 10)

Calore specifico Rapporto tra calore fornito (o sottratto) a una sostanza e il prodotto della massa di sostanza scaldata (o raffreddata) e la variazione della sua temperatura: $c = \frac{Q}{m\Delta T}$. (Pagine 1, 4, 7)

Calorimetro Strumento composto da una massa d'acqua m_a , chiusa all'interno recipiente isolante (che non disperde calore) e da un termometro che ne misura la temperatura. **È utilizzato per misurare il calore specifico delle sostanze.** Il funzionamento è il seguente: inserendo all'interno del calorimetro un oggetto di massa m_o e temperatura T_o , l'acqua e l'oggetto raggiungeranno una temperatura di equilibrio Θ . Conoscendo tutte queste informazioni, si inverte l'equazione 1.12 e si ricava il calore specifico dell'oggetto. (Pagina 2)

Costante elastica Caratteristica intrinseca di una molla (o di un oggetto qualsiasi aventi proprietà elastiche). Non dipende da nessun fattore esterno. Si misura in newton su metri. Rappresenta la forza necessaria a far allungare la molla di un metro. (Pagina 11)

Elasticità Proprietà dei materiali. Un materiale è detto elastico se si allunga o si comprime se soggetto a una forza e se, rimuovendo questa forza, ritorna esattamente allo stato originario. Tutti i materiali sono elastici se non vengono sottoposti a sollecitazioni eccessive (ad esempio, se investite un muro con un camion il muro crollerà e non tornerà allo stato originario). (Pagina 10)

Elio Gas nobile composto da un atomo che comprende due protoni e due neutroni. È il secondo elemento della tavola periodica ed è quindi una delle sostanze più leggere presenti in natura. Essendo un gas nobile, non può infiammarsi: questo ne rende l'uso sicuro per certe applicazioni particolari (ad esempio per gonfiare dirigibili o mongolfiere). (Pagine 5, 6)

Ossigeno Gas presente in atmosfera composto da due atomi ciascuno dei quali comprende 8 protoni e 8 neutroni. In totale è composto da 32 elementi tra neutroni e protoni, 8 volte quelli presenti nell'elio. (Pagine 6, 8)

Temperatura di equilibrio Due corpi A e B, aventi temperature T_A e T_B con $T_A < T_B$, scambiandosi calore (per conduzione, convezione o irraggiamento) raggiungono una temperatura di equilibrio Θ maggiore di T_A e minore di T_B : $T_A < \Theta < T_B$. (Pagina 6)