

LA DILATAZIONE DEI GAS E I TRE TIPI DI TRASFORMAZIONI

In questa lezione esamineremo:

- le trasformazioni isotermeche
- le trasformazioni isobariche
- le trasformazioni isometriche

La dilatazione dei gas

Anche i gas, come i solidi e i liquidi, con l'aumentare della temperatura si dilatano. Ma lo studio della dilatazione dei gas presenta qualche difficoltà in più rispetto allo studio della dilatazione dei solidi e dei liquidi. Infatti una variazione della temperatura nei gas comporta non solo una variazione del volume, ma anche una variazione della pressione. Più in generale, possiamo dire che quando in un gas varia una delle tre grandezze citate (temperatura, volume, pressione), variano anche le restanti due. Perciò:

Stato di un gas

lo stato di un gas è sempre definito da valori ben determinati della temperatura, del volume e della pressione.

Di conseguenza, ogni volta che muta una di tali grandezze si opera una trasformazione dello stato del gas. Le trasformazioni di stato di un gas possono essere di tre tipi.

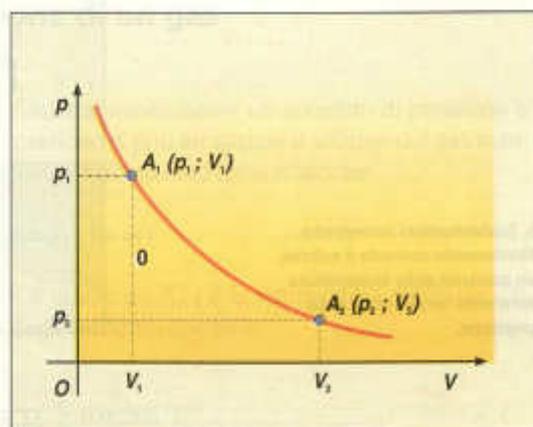
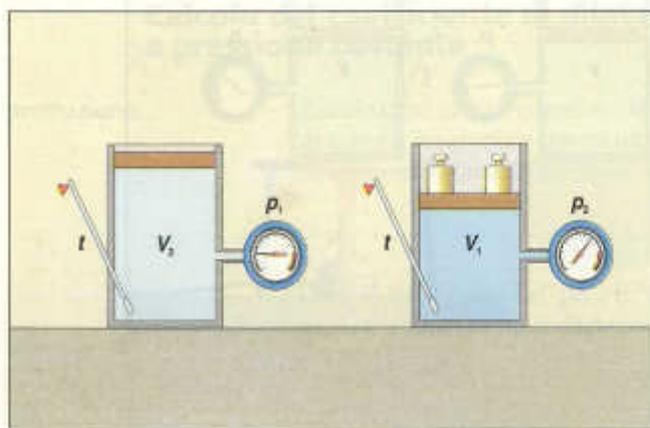
Trasformazioni isotermeche

1. Sotto a sinistra, Trasformazioni isotermeche. Mantenendo costante la temperatura t , un aumento della pressione determina una diminuzione di volume.

Le trasformazioni isotermeche avvengono quando si mantiene costante il valore della temperatura.

In tal caso, al variare della pressione varia il volume e viceversa, come si vede nel grafico sotto riportato, secondo la legge di Boyle e Mariotte (fig. 1), ossia:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

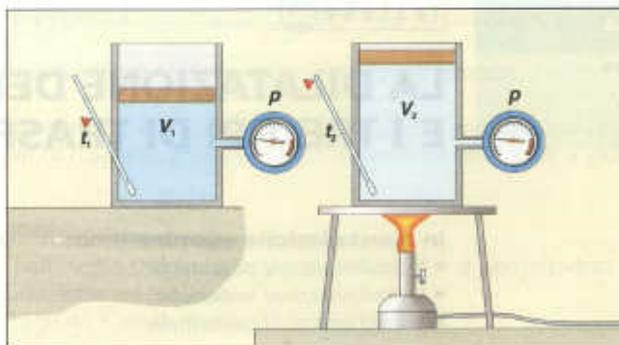


Trasformazioni isobariche

Le trasformazioni isobariche avvengono quando si mantiene costante il valore della pressione.

In tal caso ogni variazione di temperatura comporta una variazione di volume (fig. 2).

2. Trasformazioni isobariche. Mantenendo costante la pressione, un aumento della temperatura determina un aumento di volume.



espressa dalla seguente relazione (**prima legge di Volta Gay-Lussac**):

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t)$$

dove V_0 è il volume del gas a 0°C , V_t è il valore del volume alla temperatura t , e α è il coefficiente di dilatazione a pressione costante. Il valore di tale coefficiente, per temperature lontane da quella di liquefazione del gas, risulta essere: $\alpha = 1/273$.

Trasformazioni isometriche

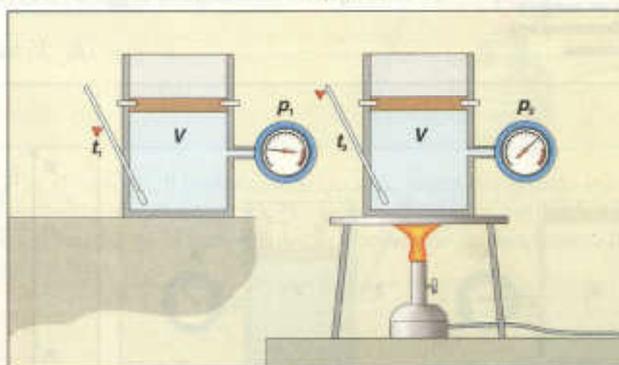
Le trasformazioni isometriche sono quelle che avvengono quando si **mantiene costante il valore del volume**.

In tal caso un cambiamento di temperatura comporta una variazione di pressione (fig. 3), espressa dalla seguente relazione (**seconda legge di Volta Gay-Lussac**):

$$p_t = p_0 (1 + \beta t)$$

dove p_t è la pressione alla temperatura t , p_0 è la pressione del gas a 0°C e β è un coefficiente il cui valore è uguale a quello del coefficiente α della prima legge di Volta Gay-Lussac:

$$\beta = \frac{1}{273}$$



3. Trasformazioni isometriche. Mantenendo costante il volume, un aumento della temperatura determina un aumento della pressione.

I gas perfetti

Le tre leggi esposte in precedenza non descrivono in modo rigorosamente preciso i rispettivi fenomeni. Il grado di esattezza aumenta all'aumentare del valore della temperatura e al diminuire del valore della pressione del gas.

In definitiva, l'esattezza è tanto maggiore quanto più un gas è lontano dal suo punto di liquefazione (passaggio allo stato liquido).

Che cos'è un gas perfetto o ideale

Definiamo **gas perfetto o ideale** un gas che **obbedisce rigorosamente alle leggi suddette.**

TEST

- 1 Da che cosa è definito lo stato di un gas?
- 2 Definisci una trasformazione isoterma.
- 3 Scrivi l'equazione della legge di Boyle e Mariotte.
- 4 Una bombola d'ossigeno contiene 40 dm^3 di gas a una pressione di 3 atm. Mantenendo costante la temperatura, di quanto occorre variare il volume perché la pressione diventi pari a 1 atm?
- 5 Definisci una trasformazione isobarica.
- 6 Scrivi l'equazione della prima legge di Volta Gay-Lussac.
- 7 Un gas perfetto subisce una trasformazione isobarica dovuta a una variazione di temperatura di 50°C . Se il volume iniziale era di 10 dm^3 , quale sarà la variazione di volume?
- 8 Definisci una trasformazione isometrica.
- 9 Scrivi l'equazione della seconda legge di Volta Gay-Lussac.
- 10 Un gas perfetto subisce una trasformazione isometrica a seguito di una variazione di temperatura di 40°C . Se la pressione iniziale era di 2 atm, quale sarà la pressione finale?
- 11 Definisci un gas perfetto.

ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Calcolo del coefficiente di dilatazione di un gas a pressione costante

Introduzione

Riscaldando un gas, questo subisce contemporaneamente un aumento di pressione e di volume. Per studiare questa trasformazione si può far variare il volume del gas mantenendone costante la pressione. Il volume è allora dato dalla relazione:

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t)$$

dove V_0 è il volume del gas a 0°C , V_t è quello a $t^\circ\text{C}$, t è la temperatura raggiunta dal gas, α è il coefficiente di dilatazione degli aeriformi che vale:

$$\frac{1}{273,16} \approx 0,00366 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Scopo dell'esperienza: determinazione di α , avendo cura di utilizzare aria secca.

Prerequisiti: conoscenza delle leggi dei gas (prima e seconda legge di Volta Gay-Lussac).

Materiali occorrenti: un tubo a U provvisto di scala graduata e chiuso a un estremo, bollitore a becco bunsen, termometro, maniccotto, mercurio.

Procedimento

- Versa nel tubo una certa quantità di mercurio. In condizioni di equilibrio, il mercurio si disporrà allo stesso livello nei due rami del tubo, lasciando intrappolato un certo volume V_1 , a pressione atmosferica, nel ramo chiuso *A* (fig. 4a). Leggi il valore del volume V_1 sulla scala graduata incisa nel tubo di vetro:

$$V_1 = \dots$$

- Misura la temperatura ambiente t_1 . Essa sarà anche la temperatura alla quale si trova il volume V_1 di aria suddetta:

$$t_1 = \dots$$

- Riscalda l'acqua nel bollitore fino a portarla all'ebollizione. Il vapore d'acqua, passando nel maniccotto, riscalda l'aria nel tubo e il volume V_1 si dilata diventando V_2 (fig. 4b). Durante tale dilatazione il mercurio, che era allo stesso livello nei due rami del tubo, si alzerà nel tubo aperto e scenderà nel tubo chiuso, mostrando che, in seguito a un aumento di temperatura del gas, si hanno contemporaneamente variazioni di pressione e di volume.

Sarà allora necessario aprire il rubinetto *P* e lasciare uscire mercurio finché questo sarà allo stesso livello nei due rami: l'aria, allora, si è dilatata alla pressione atmosferica costante. Misura V_2 :

$$V_2 = \dots$$

- Misura la temperatura t_2 del vapore d'acqua in uscita dal maniccotto. Tale temperatura sarà, approssimativamente, anche quella dell'aria contenuta nel volume V_2 :

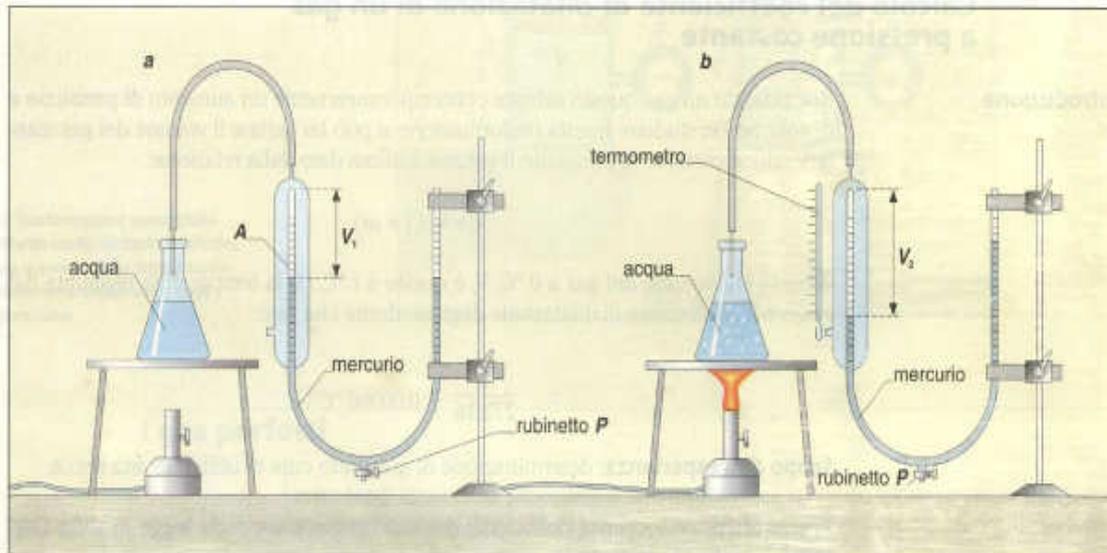
$$t_2 = \dots$$

- A questo punto fai i tuoi conti utilizzando le due seguenti relazioni, caratteristiche della variazione di volume a pressione costante:

$$V_1 = V_0 (1 + \alpha t_1)$$

$$V_2 = V_0 (1 + \alpha t_2)$$

Fig. 4



da cui:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}$$

quindi:

$$\alpha = \frac{V_2 - V_1}{t_2 V_1 - t_1 V_2}$$

Il valore del coefficiente di dilatazione dell'aria è quindi:

$$\alpha = \dots$$

Verifica della legge di Boyle e Mariotte

Introduzione

I gas, a differenza dei solidi e dei liquidi, sono comprimibili se vengono sottoposti a pressione.

La relazione esistente tra il volume di un gas e la pressione cui esso è sottoposto, è data dalle legge di Boyle e Mariotte:

$$p \cdot V = \text{cost}$$

Scopo dell'esperienza: verificare la legge di Boyle e Mariotte. Questa si verifica in laboratorio, dove si suppone che la temperatura si mantenga costante.

Prerequisiti: conoscere la definizione di pressione e le sue unità di misura; conoscere la definizione di peso specifico.

Materiali occorrenti: 2 tubi di vetro muniti di rubinetti a un'estremità, supporti, cannello di gomma, asta millimetrata e calibro, mercurio, barometro.

Procedimento

- Misura il diametro dei due tubi (uguali):

$$d = \dots$$

- Chiudi i rubinetti e versa del mercurio nei due tubi (fig. 5). Collegali con il cannello, rovesciali e fissali ai supporti.

Chiudi quello di sinistra e lascia aperto quello di destra.

In tali condizioni, il volume d'aria intrappolata tra il pelo del mercurio e il rubinetto nel tubo di sinistra è sottoposto alla pressione atmosferica che possiamo misurare con il barometro:

$$P_a = \dots$$

- Solleva il tubo di destra in modo che tra le due colonne di mercurio si venga a determinare un dislivello Δh :

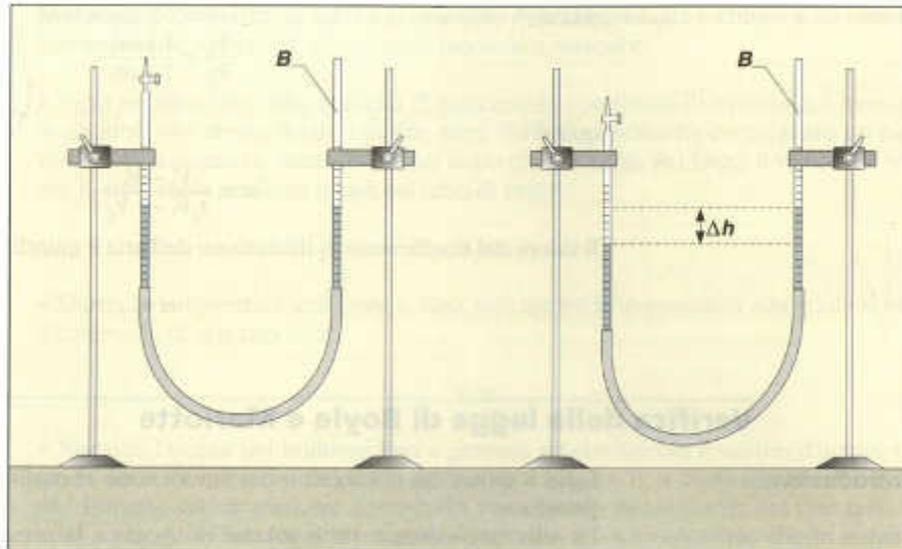
$$\Delta h = \dots$$

- In tale situazione, il volume d'aria intrappolata nel tubo A subirà una compressione dovuta a una variazione di pressione $\Delta P = d \cdot g \cdot \Delta h$:

$$\Delta P = \dots$$

- La pressione a cui è sottoposta l'aria sarà:

Fig. 5



$$P = P_0 + \Delta P = \dots$$

- Misura il nuovo volume dell'aria determinando l'altezza h della colonna d'aria in questa situazione:

$$h = \dots \quad V = h \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 = \dots$$

- Ripeti le misure muovendo in su e in giù il tubo B .
- Raccogli i dati in una tabella così concepita.

Δh	ΔP	P	h	V	PV

- Realizza un grafico su carta millimetrata, riportando in ascissa la pressione e in ordinata il volume.

Domande

Vero o falso?

Indica la risposta giusta.

1. La pressione e il volume di un gas sono due grandezze direttamente proporzionali.
2. La pressione e il volume di un gas sono due grandezze inversamente proporzionali.
3. Il volume che occupa un gas è funzione della pressione e dipende dalla natura del gas in questione.



Elaborazione al computer

Preparazione del foglio

- Scrivi nella cella A1 l'etichetta *diam. (d)* e in A2 il valore del diametro del tubicino.
- Scrivi in B1 l'etichetta P_a e in B2 il valore della pressione atmosferica misurato.
- Scrivi nella cella C1 l'etichetta Δh e in C2..Cn i valori misurati.
- Scrivi nella cella D1 l'etichetta ΔP e in D2 l'espressione $13.59 \cdot 9.8 \cdot C2$, che fornisce la variazione di pressione in relazione al dislivello Δh .
- Copia la cella D2 in D3..Dn.
- Scrivi nella cella E1 l'etichetta P e in E2 l'espressione $+B2+D2$, che ne fornisce il valore.
- Copia la cella E2 in E3..En.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<i>diam. (d)</i>	P_a	Δh	ΔP	P	<i>alt. (h)</i>	V	$P \cdot V$
2	...	...	...	$13.59 \cdot 9.8 \cdot C2$	$+B2+D2$	...	$+F2 \cdot \pi \cdot (\$A\$2/2)^2$	$+E2 \cdot G2$
3			...	...	...	...	...
...			
n			...	...	...	...	...

- Scrivi nella cella F1 l'etichetta *alt. (h)* e in F2..Fn i valori misurati.
- Scrivi nella cella G1 l'etichetta V e in G2 l'espressione $+F2 \cdot \pi \cdot (\$A\$2/2)^2$, che calcola il volume.
- Copia la cella G2 in G3..Gn.
- Scrivi nella cella H1 l'etichetta $P \cdot V$ e in H2 l'espressione $+E2 \cdot G2$, che ne dà il valore.
- Copia la cella H2 in H3..Hn.

Rappresentazione grafica

- Attiva la procedura *Grafico*.
- Scegli una rappresentazione x, y .
- Indica come asse delle x la zona E2..En.
- Indica come asse delle y la zona G2..Gn.
- Visualizza.

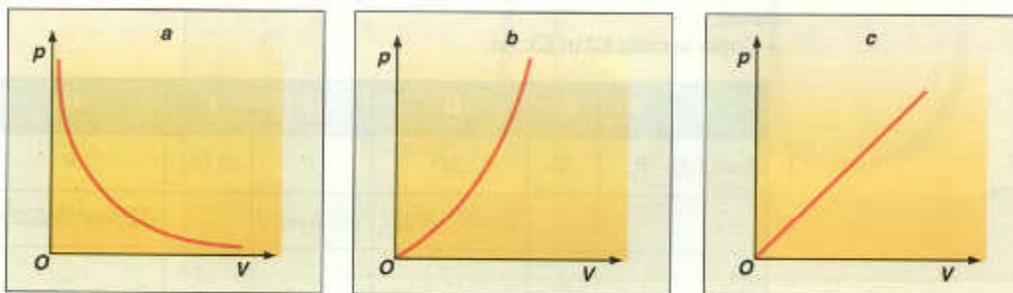
Che cosa si osserva

- Il grafico è un ramo di iperbole.
- I valori delle celle della colonna H sono sostanzialmente uguali.

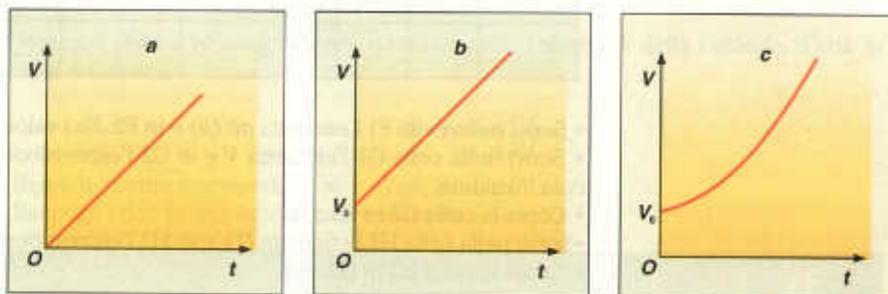
TEST DI AUTOVERIFICA Risposte a pag. 647

- 1 A parità di variazione di temperatura si allunga di più una sbarretta di ferro di 1 m o una di 0,5 m?
- A. Si allunga di più la sbarretta più corta.
 - B. Si allunga di più la sbarretta più lunga.
 - C. L'allungamento è uguale perché si tratta della stessa sostanza e perché la variazione di temperatura è, per ipotesi, la stessa.

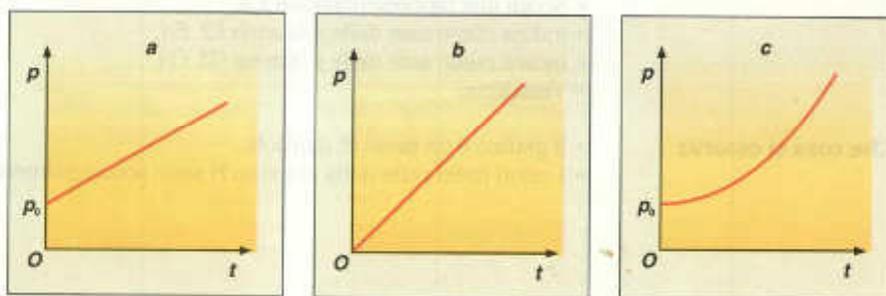
- 2 Quale dei seguenti diagrammi è riferito alla legge di Boyle e Mariotte?
- A. Diagramma a.
 - B. Diagramma b.
 - B. Diagramma c.



- 3 Quale dei seguenti diagrammi è riferito alla prima legge di Volta Gay-Lussac?
- A. Diagramma a.
 - B. Diagramma b.
 - C. Diagramma c.



- 4 Quale dei seguenti diagrammi è riferito alla seconda legge di Volta Gay-Lussac?
- A. Diagramma a.
 - B. Diagramma b.
 - C. Diagramma c.



- 5 Una sferetta è lasciata cadere in un tubo di Newton. Alla fine della caduta succede che l'energia di agitazione termica delle sue molecole:
- A. aumenta se nel tubo viene fatto il vuoto;
 - B. diminuisce se nel tubo c'è aria;
 - C. aumenta se nel tubo c'è aria;
 - D. diminuisce se nel tubo c'è il vuoto.

variazione di volume, come cambia la pressione?

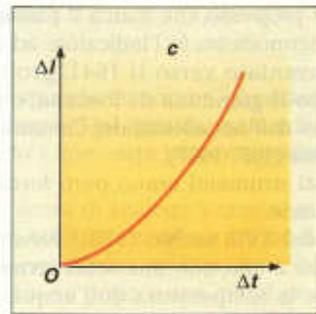
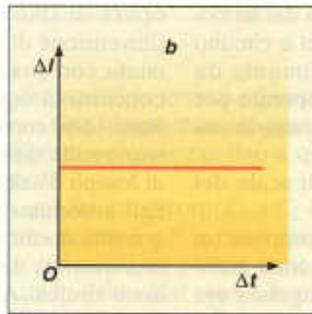
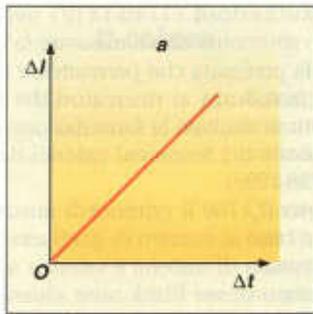
- A. Si raddoppia.
- B. Si triplica.
- C. Diventa un terzo.

$$p \propto \frac{1}{V} \Rightarrow p \propto (1 + \beta \Delta T)$$

- 6 Se la temperatura di un gas perfetto varia da 0 a 546 °C, nell'ipotesi che non ci sia

- 7 A parità di variazioni di temperatura:
- A. si dilatano di più i liquidi;
 - B. si dilatano di più i gas;
 - C. si dilatano di più i solidi;
 - D. si dilatano allo stesso modo purché siano uguali le masse. Indica la risposta giusta.

- 8 Consideriamo due sbarrette di ferro lunghe 1 m e 2 m. In riferimento al coefficiente di dilatazione lineare:
- A. è maggiore quello della sbarretta di 1 m;
 - B. è maggiore quello della sbarretta di 2 m;
 - C. è lo stesso per entrambe le sbarrette.
- 9 Si definisce trasformazione isobarica di un gas una trasformazione che avviene:
- A. a temperatura costante;
 - B. a pressione costante;
 - C. a volume costante.
- 10 Le leggi sulle trasformazioni di un gas sono valide:
- A. per tutti i gas;
 - B. per i gas detti perfetti;
 - C. per i gas che si trovano a una temperatura prossima a quella di liquefazione.
- 11 Quale dei seguenti diagrammi rappresenta la legge degli allungamenti lineari?
- A. Diagramma a.
 - B. Diagramma b.
 - C. Diagramma c.



* Trasformazione in volume a pressione costante.

Isotermia: quella che avviene a temperatura costante.

o La legge ci dice che l'allungamento è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura.

LETTURE

STORIA DEGLI STRUMENTI PER LA MISURAZIONE DELLA TEMPERATURA

I metodi di misurazione della temperatura erano stati grandemente perfezionati, ancor prima di giungere a quella distinzione, che a noi sembrerebbe ovvia, fra calore e temperatura.

Un termometro ad aria, o meglio, un termoscopio, era stato inventato da Galilei verso il 1592 e un termoscopio ad acqua è descritto da Jean Rey nel 1632.

Un grande progresso, che marca il passaggio dal termoscopio al termometro, fu l'indicatore ad alcol a circuito chiuso, inventato verso il 1641, probabilmente da Ferdinando II granduca di Toscana, e adoperato per esperimenti dall'Accademia del Cimento durante la sua breve attività (1657-1667).

Tutti questi strumenti erano però forniti di scale del tutto arbitrarie.

All'inizio del XVIII secolo (1701) Newton propose un termometro a olio, con una scala termometrica razionale, dove la temperatura dell'acqua congelata era segnata come 0° e quella del corpo umano in buona salute con 12°. Quanto alle temperature più elevate, come quelle di corpi incandescenti, egli proponeva di calcolarle sulla base dei tempi impiegati dai corpi stessi a raffreddarsi fino a una temperatura misurabile dal suo termometro; e cioè in base all'ammissione di una pro-

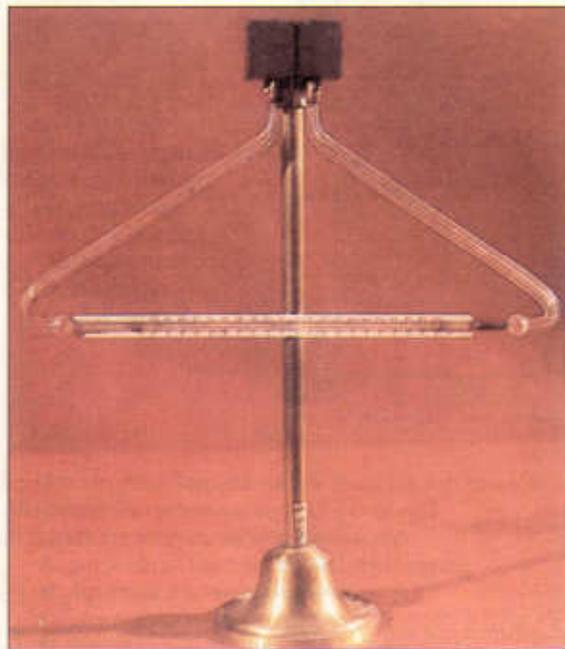
porzionalità tra il tempo di raffreddamento di un corpo e il suo "calore totale". Il termometro a mercurio e una scala termometrica standard furono introdotti da D. G. Fahrenheit (1686-1736), che inviò una comunicazione in proposito alla Royal Society nel 1724. Un termometro a massima e a minima fu fabbricato nel 1757 da Charles Cavendish (1703-1783), e suo figlio Henry studiò il comportamento termometrico del mercurio nel 1783.

Lo strumento venne perfezionato negli ultimi anni del XVIII secolo sino ad assumere la sua forma moderna a opera di Daniel Rutherford (1749-1819) nel 1794. L'invenzione di uno strumento atto a misurare la temperatura, con una scala prefissata che permettesse risultati concordi in ogni circostanza ai ricercatori dei diversi Paesi, ebbe come primo risultato la formulazione di una teoria sulla misurazione dei fenomeni calorici da parte di Joseph Black (1728-1799).

Egli introdusse verso il 1760 il criterio di misurare la quantità di calore in base al numero di gradi assegnati a una quantità determinata di materia e ottenne sorprendenti risultati. Al tempo stesso Black mise chiaramente in luce la differenza fra *calore* e *temperatura*, ossia fra *quantità* di calore e *intensità* di calore.

C. Singer,

Breve storia del pensiero scientifico,
Einaudi, Torino, 1961



Il termometro differenziale di Leslie serve per misurare le differenze di temperatura.



Il termometro di Jolly viene utilizzato per determinare i coefficienti di espansione dei gas.