

La fisica di Feynmann

Termodinamica

3.1 TEORIA CINETICA

Teoria cinetica dei gas

Pressione	forza esercitata dagli atomi di un gas sulle pareti
Lavoro per comprimere un gas	$dW = -P dV$ $PV = (\gamma - 1) U$
Compressione adiabatica	compressione in cui non è aggiunta né sottratta energia termica $P dV = -dU$ per un gas monoatomico si ha $\gamma = 5/3 \Rightarrow PV^{5/3} = \text{costante}$ data una stella molto calda si ha $\gamma = 4/3 \Rightarrow PV^{4/3} = \text{costante}$
Compressione della radiazione	in due gas che hanno la stessa temperatura le energie cinetiche medie dei moti dei centri di massa sono uguali
Temperatura	
Energia cinetica media di un gas	$\langle E_c \rangle = (3/2) k T$ (non dipende dal gas) In una direzione il valore medio dell'energia è $\frac{1}{2} kT$
Legge dei gas ideali	$P V = n R T$ $n = \text{numero di moli}$
Gradi di libertà	direzioni indipendenti per le quali l'energia cinetica media di un oggetto formato da più atomi è $kT/3$
Moto browniano	in un liquido piccole particelle si muovono in continuazione l'energia cinetica media è: $\langle E_c \rangle = (3/2) kT$, il cammino casuale è dato da: $\langle R^2 \rangle = 6 k T t / \mu$ $t = \text{tempo}$, $\mu = \text{resistenza al movimento del fluido}$
Rumore di Johnson	rumore associato alle fluttuazioni termiche in un circuito elettrico risonante; il voltaggio che fluttua ai capi dell'induttanza è: $\langle V_L^2 \rangle = L \omega_0^2 k T$ la potenza $P(\omega) d\omega$ è indipendente dalla resistenza

Meccanica statistica

Meccanica statistica	leggi della meccanica applicabili all'equilibrio termico
Distribuzione delle molecole	data un'atmosfera in equilibrio termico e priva di attriti, si ha: $dn/dh = - (mg / kT) n$ la soluzione dell'equazione è: $n = n_0 e^{-mgh/kT}$ $h = \text{altezza}$, $m = \text{massa}$, $n = \text{densità}$ ($n_0 = \text{densità ad altezza nulla}$)
Legge di Boltzmann	se sulle molecole di un gas agisce una forza conservativa, si ha: $n = \text{cost. } e^{-U/kT}$ se la forza non è conservativa non si ha alcun equilibrio termico
Distribuzione nello spazio	dato un insieme di molecole che si attraggono, la probabilità di trovare le particelle in una determinata combinazione è: $e^{-\sum V(r_{ij})/kT}$ a basse temperature aumenta la probabilità di trovare le molecole alla distanza di energia minima (i gas si riducono a liquidi e solidi)
Distribuzione delle velocità	dato un gas perfetto, la parte di molecole con velocità tra u e $u+du$ è: $f(u) du = C e^{-mu^2/k2T} du$ (non valido in relatività) $f(p) dp = C e^{-E_c/kT} dp$ (valido in relatività) $C = \sqrt{m/2\pi kT}$

APPLICAZIONI DELLA TEORIA CINETICA

Evaporazione

a T costante e all'equilibrio vale:

$$N_e = v R / V_a e^{-W/kT}$$

n = densità molecolare, V_a = volume molecolare, W = lavoro per trasportare una molecola dal liquido al gas, R = coefficiente di riflessione

Ionizzazione termica

dato un gas ionizzabile, vale:

$$n_e n_i / n_a = e^{-W/kT} / V_a \quad (\text{equazione di ionizzazione di Saha})$$

n_a = numero di atomi neutri, n_e = numero di elettroni, n_i = numero di ioni, W = energia di ionizzazione

se la densità degli atomi diminuisce (o aumenta il volume) la frazione di elettroni e ioni aumenta (vedi gli ioni presenti nello spazio freddo tra le stelle)

Cinetica chimica

dati i composti A e B che si combinano nel composto AB, vale:

$$n_A n_B / n_{AB} = c e^{-W/kT} \quad (\text{equazione approssimata})$$

una reazione avviene ad una certa energia di attivazione (la velocità delle reazioni chimiche è molto sensibile alle condizioni esterne)

DIFFUSIONE

Numero di collisioni tra molecole

$$N = T/\tau \quad (\tau = \text{tempo medio})$$

la probabilità di non avere collisioni è: $P(t) = e^{-t/\tau}$

le particelle che non hanno avuto collisioni sono: $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$

Cammino libero medio

$$\ell = 1 / (\sigma_0 n_0)$$

σ_0 = sezione d'urto, n_0 = densità molecolare

Velocità di trasferimento

data una molecola sollecitata da una forza in un gas di fondo, si ha:

$$v = F \tau / m = \mu F \quad (m = \text{massa della molecola}, \mu = \text{mobilità})$$

Conducibilità ionica

dati ioni in un gas tra due armature cariche si ha:

$$\text{corrente elettrica: } I = [\mu q^2 n_i (A/b)] V$$

A = area dell'armatura, b = distanza tra le armature, n_i = ioni per unità di volume

Diffusione molecolare

$$\text{corrente: } J_x = -D dn_a/dx$$

$$\text{coefficiente di diffusione: } D = \mu k T$$

$$dn_a/dx = n_a F / (k T)$$

Conducibilità termica di un gas

$$\kappa = [1 / (\gamma - 1)] k v / \sigma_c$$

è indipendente dalla densità

3.2 TERMODINAMICA

Termodinamica determina le relazioni tra le proprietà dei materiali senza conoscere la struttura interna

Leggi

Prima legge

$$\Delta U = \Delta Q - P \Delta V$$

l'energia si conserva; se si compie lavoro su un sistema e gli si cede calore, la sua energia interna aumenta del calore ricevuto e del lavoro fatto

Seconda legge

$$W = \Delta V \Delta P = \Delta Q (\Delta T/T)$$

- non è possibile prendere del calore ad una data temperatura e convertirlo in lavoro senza alcun cambiamento nel sistema o nei dintorni

- non è possibile far fluire spontaneamente il calore da un corpo freddo ad uno caldo

Terza legge

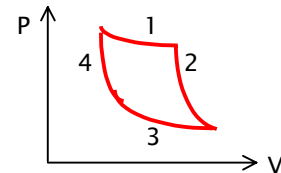
- l'entropia di qualsiasi corpo allo zero assoluto è 0 (teorema del calore di Nerst)

Ciclo di Carnot

data una macchina ideale in cui tutti i processi sono reversibili costituita da un cilindro dotato di un pistone senza attrito contenente gas perfetto e due sorgenti di calore a temperature T_1 e T_2 il ciclo è composto da 4 fasi:

		calore scambiato	temperatura
1	espansione isoterma	immesso Q_1	T_1
2	espansione adiabatica	-	$T_1 \rightarrow T_2$
3	compressione isoterma	estratto Q_2	T_2
4	compressione adiabatica	-	$T_2 \rightarrow T_1$

percorrendo il ciclo in una direzione si compie lavoro sul gas, percorrendolo nell'altra il gas compie lavoro su di noi
 $W = \int P dV$
 (area compresa tra le curve)



Entropia

calore ceduto ad una sorgente di $T = 1^\circ$
 $\Delta S = \int dQ / T$

l'entropia è una funzione di stato

in ogni processo irreversibile l'entropia totale aumenta

Temperatura termodin. assoluta

temperatura definita in modo tale che $Q = S T$

è proporzionale alla temperatura cinetica

Lavoro di una macchina reversibile

$$S = Q_1 / T_1 = Q_2 / T_2$$

se una macchina è reversibile il lavoro non dipende dalla struttura della macchina stessa

Rendimento di una macchina revers.

$$W / Q_1 = (T_1 - T_2) / T_1$$

essendo $T > 0$, il rendimento è < 1

Entropia di un gas perfetto

$$S(V,T) = N k [\ln V + (1/(\gamma-1)) \ln T] + a$$

a = costante chimica che dipende dalla natura del gas

Lavoro di una macchina reale

nessuna macchina termica che prende il calore Q_1 da una sorgente a T_1 e cede il calore Q_2 a una sorgente a T_2 può fare più lavoro di una macchina reversibile

Variazione dell'energia interna	T e V variano: $U = \Delta T \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \Delta V \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T$
Calore specifico	$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$ quantità di calore da somministrare ad una sostanza per innalzare la temperatura di un grado a volume costante
Entalpia	$H = U + PV$ $\Delta H = \Delta Q + V\Delta P$
Relazione fondamentale	se T è costante, vale: $\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P$ se V fisso aumentando T la pressione aumenta come $\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$ se V aumenta T costante somministrando il calore $\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T$ se P è costante, vale: $-\left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T = T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V$ (relazione utilizzata dai chimici)
Entropia e disordine	le leggi della meccanica sono reversibili (t e -t sono soluzioni delle equazioni), le leggi fisiche sono irreversibili (è più probabile il passaggio da una disposizione ordinata ad una disordinata) $\Delta S = \int dQ / T = N k \ln V_2/V_1$ l'entropia misura il disordine: l'universo procede verso il disordine

APPLICAZIONI DELLA TERMODINAMICA

Evaporazione	nel processo di evaporazione, a T costante, vale: Equazione di Clausius-Clapeyron: $\left(\frac{\partial P_{\text{vap}}}{\partial T} \right) = L / [T (V_G - V_L)]$ P_{vap} = tensione di vapore alla temperatura T L = calore necessario all'evaporazione V_G, V_L = volumi di gas e liquido
Fusione	$\left(\frac{\partial P_{\text{fus}}}{\partial T} \right)_V = M / [T (V_L - V_G)]$
Radiazione di corpo nero	$U/V = (4\sigma/c) T^4$ σ = costante non calcolabile con la termodinamica

3.3 CONDUZIONE DEL CALORE

Flusso di calore	$\mathbf{h} = \Delta J / \Delta a \mathbf{e}_f$ ΔJ = energia termica che attraversa l'unità di tempo l'elemento di superficie Δa ; \mathbf{e}_f = versore unitario diretto come il flusso il suo modulo è la misura dell'energia termica che fluisce per unità di tempo attraverso l'unità di superficie perpendicolare al flusso
Equazione del flusso di calore	$\mathbf{h} = -K \nabla T$ K = conduttività termica
Flusso di calore attrav. una superficie	flusso di \mathbf{h} attraverso $S = \int_S \mathbf{h} \cdot \mathbf{n} da$ se il calore si conserva vale: $\int_S \mathbf{h} \cdot \mathbf{n} da = -dQ/dt$
Legge di conservazione del calore	$-dq/dt = \nabla \cdot \mathbf{h}$ (calore che lascia l'unità di volume nell'unità di tempo) se il flusso di calore è stazionario vale: $\nabla \cdot \mathbf{h} = s$, da cui vale: $\nabla \cdot (K \nabla T) = -s$
Equazione di diffusione del calore	$dT/dt = D \nabla^2 T$ $D = K / c_v$ (coefficiente di diffusione)