La conservazione dell’energia

Dott.ssa M. Gabriella Ortu

Liceo Scientifico ”Alberti” di Cagliari - IV C (P.N.I. mat. e fis.).

Lezione per il tirocinio operativo del biennio S.S.I.S 2005-2007
classe di concorso A049

Lezione n.7 del 4 Dicembre 2006

Note di copyright

Realizzazione

Questa presentazione è stata realizzata con la classe 'Beamer' di LaTeX. Informazioni e download alla pagina:

`http://www.ctan.org/tex-archive/help/Catalogue/entries/beamer.html`

oppure alla pagina:

`http://latex-beamer.sourceforge.net/`

Parte I

Riepilogo

Teorema dell'energia cinetica

- Teorema dell'energia cinetica:

$$\boxed{L_{\text{RIS}} = \Delta E_c \equiv E_{c,f} - E_{c,i}}$$

il lavoro effettuato dalla risultante delle forze applicate ad una particella materiale di massa m quando questa si sposta da un punto «i»ad un punto «f»è uguale alla variazione dell'energia cinetica della particella.

- Abbiamo dimostrato questo teorema nel caso semplice di $\vec{F}_{ris}$ costante in modulo e ovunque parallela allo spostamento, ma il teorema vale sempre, comunque si prenda la forza risultante.
- La dimostrazione usa semplicemente il fatto che $\vec{F} = m\vec{a}$: il teorema equivale alla seconda legge della dinamica.
- per un insieme (sistema) di particelle opp. un corpo esteso l'equazione va riferita al centro di massa (C.M.) del sistema o corpo: la $\vec{F}_{ris}$ è applicata al C.M. e le velocità considerate sono quelle del C.M. (il C.M. di un blocco uniforme è il suo baricentro).

Forze conservative

Quelle che seguono sono definizioni equivalenti di forza conservativa:

- una forza si dice conservativa se il lavoro eseguito dalla forza su un corpo quando questo si sposta da un punto A ad un punto B dipende solo da tali punti (estremi della traiettoria) e non dal percorso seguito per andare da A a B;
- una forza si dice conservativa se il lavoro eseguito dalla forza su un corpo quando questo si sposta lungo un percorso chiuso (parte da A e torna in A) è nullo;
- quando su un corpo agiscono solo forze conservative esso ritorna al punto di partenza con la stessa velocità che aveva quando è partito (infatti $\Delta E_c = 0$ lungo un percorso chiuso se F_{ris} è conservativa);
- per un sistema soggetto solo a forze conservative vale il teorema di conservazione dell'energia cinetica (da cui il nome di forza conservativa).

Energia potenziale

- Alle forze conservative è possibile associare una energia potenziale, ossia una energia che una particella materiale ha in virtù della sua posizione nello spazio. In realtà si parla sempre non di energia ma di differenze di energia.
- Si definisce variazione di energia potenziale di una particella quando questa si sposta da un punto A ad un punto B il lavoro, cambiato di segno, compiuto dalla forza conservativa quando la particella si sposta dal punto A al punto B ($-L_{AB}$); ovvero il lavoro che bisogna compiere contro la forza conservativa per spostare la particella dal punto A al punto B:

$$\boxed{\Delta U_{AB} \equiv U_B - U_A = -L_{AB}}$$

Conservatività della forza peso

Abbiamo dimostrato la conservatività della forza peso ricavando che:

$$L_{AB} = -mg\Delta h = -mg(h_B - h_A)$$

- il lavoro effettuato dalla forza peso quando la particella di massa m si sposta da un punto A (quota h_A) ad un punto B (quota h_B) dipende solo dalla differenza di quota fra i due punti e non dalla traiettoria seguita;
- il segno meno indica che il punto B è ad una quota superiore rispetto al punto A, perciò la forza peso compie lavoro resistente allo spostamento;
- memo: nella dimostrazione si sommano i lavori infinitesimi dL scomponendo lo spostamento infinitesimo $d\vec{s}$ in due vettori, parallelo e perpendicolare alla forza peso (il lavoro lungo il vettore perpendicolare alla forza è nullo);

Energia potenziale gravitazionale

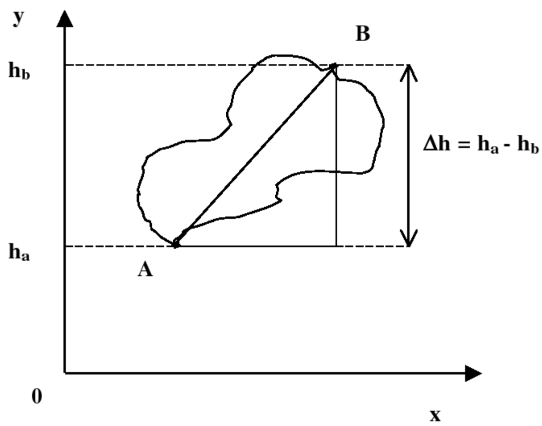
energia potenziale

$$U_{AB} \equiv U_B - U_A =$$
$$-L_{AB} = mg(h_B - h_A)$$
$$U_B = mg(h_B - h_A) + U_A$$

se si pone per convenzione $U_A = 0$ quando A è sulla superficie terrestre, e per B un punto qualunque a quota $h_B = h$, si ha:

$$U_B = mgh$$

conservatività forza peso



Conservazione dell'energia meccanica

- Legge della conservazione dell'energia meccanica: l'energia meccanica di un sistema sul quale agiscano soltanto forze conservative rimane invariata durante il moto;
- si tratta di una conseguenza della seconda legge di Newton ($\vec{F} = m\vec{a}$), infatti:

$$L_{cons} = \Delta E_C \longleftarrow \vec{F} = m\vec{a}$$
$$\Delta U = -L_{CONS}$$
$$\Delta E_{MEC} \equiv \Delta E_C + \Delta U = 0$$
$$E_{MEC} \equiv E_C + U = cost.$$
$$E_C, f + U_f = E_C, i + U_i$$

Problema: e se sono presenti forze non conservative (es. attriti)?

Parte II

Conservazione dell'energia

Il principio di conservazione dell'energia

Principio di conservazione dell'energia

L'energia totale di un sistema isolato di corpi rimane costante del tempo

Esiste una proprietà, o se preferite una legge, che governa tutti i fenomeni naturali conosciuti fino ad oggi. Non si conosce eccezione a questa legge - essa è esatta nel limite delle nostre conoscenze. La legge è chiamata conservazione dell'energia. Essa stabilisce che vi è una certa quantità, che chiamiamo energia, che non cambia nei molteplici mutamenti subiti dalla natura. Il concetto è astratto, poiché si tratta di un principio matematico; esso afferma che esiste una quantità numerica che non cambia qualsiasi cosa accada. Non è la descrizione di un meccanismo o di un fenomeno concreto, è soltanto il fatto singolare di poter calcolare un numero, e dopo aver osservato i mutamenti capricciosi della natura, ricalcolarlo ottenendo sempre lo stesso risultato. *R. P. Feynman*

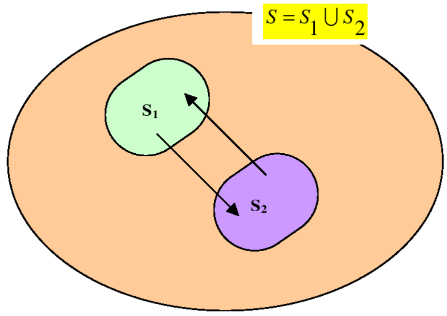
Significato e 'traduzione' in simboli

Conservazione in simboli

- due corpi, sistemi: S_1 e S_2;
- di energia totale: $E^{(1)}_{tot}$ ed $E^{(2)}_{tot}$;
- possono scambiarsi energia: $E^{(1)}_{tot}$ ed $E^{(2)}_{tot}$ variano nel tempo;
- $S = S_1 \cup S_2$ è isolato;
- S ha $E_{tot} = E^{(1)}_{tot} + E^{(2)}_{tot}$;
- principio conservazione energia:

$$E_{tot} = E^{(1)}_{tot} + E^{(2)}_{tot} = cost.$$
$$\Delta E_{tot} = \Delta E^{(1)}_{tot} + \Delta E^{(2)}_{tot} = 0$$
$$\Delta E^{(1)}_{tot} = -\Delta E^{(2)}_{tot}$$

Sistemi interagenti



Conservazione in simboli

$$\boxed{E_{tot} = E^{(1)}_{tot} + E^{(2)}_{tot} = cost. \Longleftrightarrow \Delta E^{(1)}_{tot} = -\Delta E^{(2)}_{tot}}$$

- Quando due sistemi interagiscono si scambiano energia, la loro energia varia in maniera tale per cui la diminuzione dell'energia dell'uno la si ritrova esattamente come aumento dell'energia dell'altro, cosicché l'energia totale (sistema complessivo isolato) rimane invariata nel tempo.
- Ogni qual volta nella storia della fisica questo principio sembrava violato ci si è accorti che occorreva considerare qualche nuovo fenomeno (es. fenomeni termici...).
- Occorre definire cosa sia l'energia totale di un corpo: per comodità vengono distinti vari tipi di energia a seconda dei fenomeni fisici coinvolti.

Energia 'macroscopica'

- Utile distinguere energia totale di un corpo in due contributi:

$$\boxed{E_{tot} = E_{\text{MACRO}} + E_{\text{MICRO}}}$$

- per energia 'microscopica' intendiamo l'energia 'interna' dei corpi, quella legata ai moti dei suoi costituenti microscopici: atomi e molecole;
- per energia 'macroscopica' intendiamo tutte le altre forme di energia;
- le variazioni di energia macroscopica di un corpo potranno essere di origine: cinetica, potenziale (gravitazionale ed elettromagnetica), chimica, ottica, sonora, ecc.
- considerando, ad esempio, le variazioni energetiche in S_1, si ha:

$$\Delta E^{(1)}_{\text{MACRO}} \equiv \Delta E^{(1)}_{cin} + \Delta E^{(1)}_{pot} + \Delta E^{(1)}_{chim} + \Delta E^{(1)}_{ott} + \Delta E^{(1)}_{sonora} + \cdots$$

Energia 'microscopica'

- Di solito non si usa chiamare energia 'microscopica' l'energia interna di un corpo, si parla o di energia interna o di energia termica;
- simboli equivalenti: $\Delta E_{\text{MICRO}} \equiv \Delta E_{\text{TERM}} \equiv \Delta E_{\text{INT}} \equiv \Delta U$;
- non confondere il simbolo ΔU (il più usato!) indicante (la variazione di) l'energia interna con l'analogo simbolo indicante l'energia potenziale (per entrambi ΔU=0 in circuito chiuso);
- è interpretabile in termini di energia cinetica e potenziale di atomi e molecole (interazioni elettromagnetiche delle molecole fra loro e con campi esterni);
- ΔU legata alla T di un corpo (e a P e V) (è una funzione di stato...);
- esempio: $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} PV$ per un gas perfetto monoatomico.

Parte III

Il I Principio della Termodinamica

1° principio termodinamica

Non è altro che la conservazione dell'energia espressa in termini di calore e lavoro scambiati fra i sistemi interagenti (sistema e ambiente):

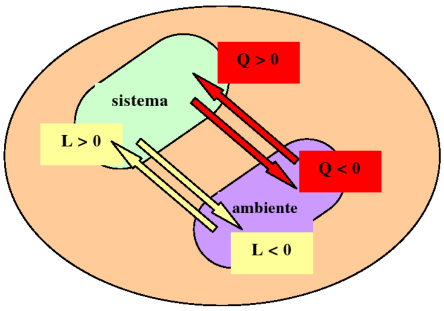
$$\Delta E_{tot}^{sis} \equiv \Delta E_{macro}^{sis} + \Delta U^{sis} = -\Delta E_{tot}^{amb}$$

$$\Delta E_{tot}^{sis} = Q + L$$

$$\text{se} \quad \Delta E_{macro}^{sis} = 0 \quad \text{allora :}$$

$$\Delta U^{sis} = Q + L$$

scambi Q ed L



Perché la conservazione dell'energia viene scritta così? perché è utile nella descrizione degli scambi energetici fra sistemi; macroscopicamente lo scambio si palesa nelle due forme: calore e lavoro scambiati.

Calore e lavoro

CALORE

Q: energia scambiata fra corpi in contatto termico quando fra loro esiste una differenza di temperatura

- Q è la quantità di calore passata tra il corpo e l'ambiente
- assumiamo: Q>0 se il calore è passato dall'ambiente al corpo

LAVORO

L: lavoro scambiato tra il corpo e l'ambiente

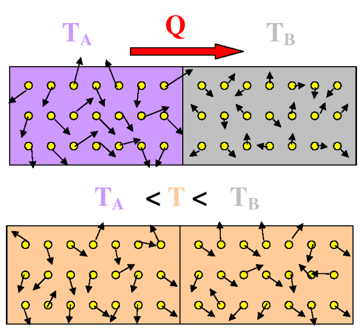
- L è la differenza tra il lavoro fatto dall'esterno sul corpo e quello fatto dal corpo verso l'esterno;
- assumiamo: L>0 se il lavoro fatto dall'esterno sul corpo è maggiore di quello fatto dal corpo verso l'esterno;
- N.B.: L è scambiato attraverso il bordo del sistema (es. blocco).

Calore: interpretazione microscopica

Calore

- Q non è posseduto dai corpi così come non lo è L;
- il calore è energia in transito fra corpi quando fra di essi esiste una differenza di temperatura e vi è contatto termico;
- fig.: le frecce indicano $\vec{v}$ media $\propto T$;
- alla sprf. scontro molecole veloci (T_1) vs molecole più lente (T_2): le prime rallentano, le seconde accelerano;
- processo si estende all'interno sino a uniformare velocità media: T intermedia;
- nel complesso: passaggio di energia dal corpo 1 al corpo 2.

Contatto termico



Parte IV

Applicazioni

Blocco con attrito

Equazioni

$$F_{tot}\Delta x = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$$

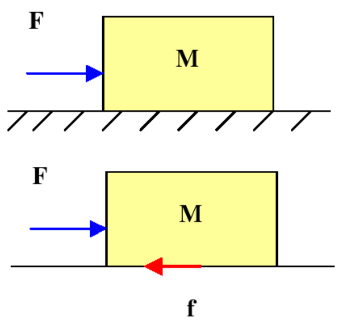
$$\Delta E^{sis}_{tot} = Q + L$$

la prima la applico al blocco, la seconda al sistema blocco-pavimento:

$$(F - f)\Delta x = \Delta\left(\frac{1}{2}Mv^2\right) = \frac{1}{2}Mv_f^2$$

$$\Delta E_{term} + \frac{1}{2}Mv_f^2 = -Q_{perd} + F\Delta x$$

Sistemi e forze



Discussione

$$\boxed{\Delta E_{term} = \left(F\Delta x - \frac{1}{2}Mv_f^2\right) - Q_{perd}}$$ variaz. energia int. blocco-pavim.

- la forza esterna F compie lavoro sul sistema ma non tutto va in variazione dell'energia cinetica: la quantità fra parentesi è il lavoro «dissipato»;
- il sistema blocco-pavimento si scalda, la sua T diventa maggiore di quella ambiente e si ha perdita di calore dal sistema all'aria;
- se $Q_{perd} \simeq 0$, allora l'aumento di energia termica interna del sistema blocco-pavimento è uguale a quella parte del lavoro fatto dalla F che non si è trasformato in energia cinetica del blocco: il lavoro «dissipato»è trasformato direttamente in energia termica interna (non c'è trasferimento di calore al sistema!);

Urto elastico e anelastico

Equazioni

$$F_{tot}\Delta x = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$$

$$\Delta E_{tot}^{sis} = Q + L$$

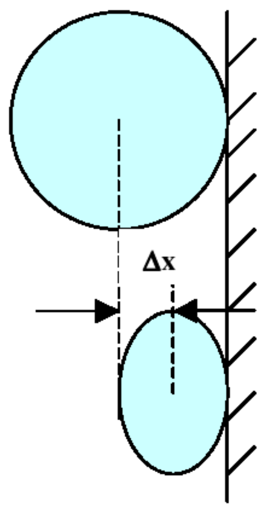
1^a eq. a palla, 2^a eq. a sistema palla-muro:

$$-N\Delta x = 0 - \frac{1}{2}Mv^2$$

$$\Delta E_{term} + \Delta E_{cin,tr} + \Delta E_{pot,el} = 0$$

N: intensità forza media esercitata da muro su palla;
Q=0 e L=0 essendo sistema palla-pavimento isolato! (trascuro...)

Sistemi e forze



Discussione

$$\boxed{\Delta E_{term} = \frac{1}{2}Mv^2 - \Delta E_{pot,el}}$$ variaz. energia int. palla-muro

- si è considerato come istante iniziale quello di primo contatto della palla con il muro e come istante finale quello a $v = 0$, poco prima del rimbalzo;
- se $\Delta E_{pot,el} = \frac{1}{2}Mv^2 \Longrightarrow \Delta E_{term} = 0$: urto perfettamente elastico (rimbalza con stessa v);
- se $\Delta E_{pot,el} = 0 \Longrightarrow \Delta E_{term} = \frac{1}{2}Mv^2$: urto perfettamente anelastico (es. palla di stucco);
- nell'urto con il muro la trasformazione da energia cinetica a energia potenziale elastica della palla non è mai integrale ma è accompagnata da riscaldamento (aumento energia interna) di palla e muro e da produzione di rumore;

Discussione

- "nel caso delle deformazioni elastiche, la termodinamica sostituisce la dizione «energia potenziale elastica» con «energia interna »; nel caso delle deformazioni anelastiche la meccanica parla di meccanismi di attrito interno, mentre la termodinamica parla di conversione irreversibile del lavoro meccanico fatto sul corpo in energia interna";
- "quando si deforma un corpo si converte lavoro meccanico in energia interna del corpo e, in generale, una parte di tale energia può essere successivamente restituita dal corpo sotto forma di lavoro meccanico, mentre la parte restante si è mutata irreversibilmente in energia interna del corpo"

G. Manuzio e G. Passatore, "Verso la Fisica", volume 2, ed. Principato 1984

Riferimenti bibliografici

- A. Arons, ”Guida all’insegnamento della fisica”, ed. Zanichelli 1992;
- R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, ”La fisica di Feynman”, volume I - parte 1”, ed. Addison-Wesley, 1968;
- G. Manuzio e G. Passatore, ”Verso la Fisica”, volume 2, ed. Principato 1984

GNU Free Documentation Licence (GFDL)