MM F

Luigi Togliani

CALORE, FORZA, ENERGIA: UN'INTRODUZIONE OPERATIVA

INTRODUZIONE

La seguente dispensa è destinata ad alunni che seguono il secondo anno di un corso sperimentale di Fisica, corso presumibilmente pensato come preparatorio ad un successivo approfondimento triennale della disciplina.

I pre-requisiti necessari per poter affrontare il lavoro qui proposto sono certo di tipo contenutistico (concetti di volume e di massa; proprietà caratteristiche delle sostanze come densità, punto di ebollizione, ...; concetto intuitivo di temperatura e di tempo; concetti di lunghezza, area e volume, almeno per via elementare; equazioni di 1° grado; alcune conoscenze elementari di geometria piana), ma anche e soprattutto di tipo metodologico (saper affrontare stime e misure; saper impostare e sviluppare un'esperienza di laboratorio a gruppi di allievi; saper trarre le conseguenze da un esperimento fatto; saper valutare i limiti di validità di un'esperienza eseguita; saper determinare l'incertezza di una misura, dopo aver eseguito una semplice analisi statistica dei risultati di tutti i gruppi di laboratorio; saper fare una relazione scritta su un esperimento fatto; ...). Estremamente adatto per l'acquisizione di tali pre-requisiti mi pare il lavoro proposto dal corso: "I.P.S. - Introduzione alla Scienza Fisica" - ed. Zanichelli, Bologna, soprattutto ai capitoli 2 e 3 ed anche, preferibilmente, ai capitoli 4, 9 e 10.

Partendo da tali pre-requisiti, questa proposta per un secondo corso di Fisica vuol portare gli studenti verso una sempre più consapevole padronanza nei confronti dell'attività sperimentale e delle conseguenze e delle applicazioni ad essa relative.

In particolare l'allievo, migliorate le sue abilità e le sue conoscenze, dovrà giungere a formulare anche delle previsioni su qualche aspetto dell'attività proposta e dovrà essere in grado di trattare in modo più formalizzato quanto ha ricavato mediante l'uso appropriato della Matematica."

Riguardo ai contenuti, sono proposti tre argomenti: il calore, le forze e l'energia. L'esposizione, ispirata a quella del corso I.P.S. e del seguente corso P.S.2, parte da alcune premesse tratte dall'esperienza quotidiana di ciascuno. Dopo una sintetica presentazione dell'apparato sperimentale, vengono introdotte le varie esperienze di laboratorio in modo che l'alunno prima, durante e dopo lo esperimento sia stimolato con domande intese a far emergere il significato dell'esperienza e le conseguenze che se ne possono trarre.

In un successivo paragrafo, in genere, vengono formalizzate le deduzioni tratte e viene avviata o proseguita la costruzione di quell'intelaiatura teorica in cui le nuove acquisizioni trovano collocazione.

La trattazione di ciascuno dei tre argomenti indicati sopra non è e non vuole essere completa. Quella che propongo è un'introduzione, anche abbastanza approfondita, di ognuno dei tre concetti, per i quali si rimanda al triennio una conoscenza e uno studio più esauriente sul piano teorico. E' un'introduzione di tipo operativo, dato il taglio sperimentale del lavoro. I problemi proposti alla fine di ogni capitolo hanno lo scopo di rinforzare quanto acquisito dall'attività di laboratorio appena svolta e di estendere la propria indagine ad altre situazioni fisiche ipotizzabili. Alcuni problemi hanno invece soltanto lo scopo di esercitare lo studente nell'applicazione di una certa legge fisica o nell'uso di un certo concetto.

Nel realizzare questa dispensa mi sono basato, oltre che sui già menzionati corsi I.P.S. e P.S.2, anche e in particolare sulle lezioni e sui relativi appunti dell' "Introduzione operativa al concetto di energia", Lugo, 1988 del Prof. Francesco Dalla Valle, nell'ambito dei corsi di aggiornamento per insegnanti proposti dall'A.I.F. sui nuovi programmi di Fisica nel biennio della Scuola Secondaria Superiore.

Non meno importante mi è risultato l'aiuto del Prof. Maurizio Francesio, per la vasta esperienza di insegnamento sperimentale della Fisica nel biennio che ha generosamente messo a mia disposizione. A questi colleghi va pertanto il mio sentito ringraziamento.

Infine due parole sugli strumenti di laboratorio. Non mi è possibile in dettaglio descrivere tutti i dispositivi ed i materiali necessari per ciascuna esperienza. Dirò solo che ciò che occorre per sviluppare i Capitoli 1 e 2 è da considerare per 12 gruppi di due o tre allievi ciascuno; è materiale non particolarmente ricercato, nè molto costoso (bicchieri di polistirolo, termometri da laboratorio, molle, qualche prodotto chimico). Fa eccezione l'esperimento 1.6 per il quale occorrono almeno 6 alimentatori a bassa tensione con relativi voltmetri e amperometri. Questi comunque sono materiali che molte scuole già hanno in dotazione.

Per il capitolo 3 occorre invece il dispositivo di Dalla Valle (un solo esemplare per laboratorio: le esperienze proposte non possono essere fatte a gruppi di allievi, data la delicatezza ed il costo dello strumento), che è prodotto da un'apposita ditta, fornito di tutti gli accessori necessari.

Mantova, 6 settembre 1989

Luigi Taglioni

1. IL CALORE

1.1 - Alcune premesse

Dalla nostra comune esperienza quotidiana possiamo ammettere che:

a) due corpi 1 e 2 alle rispettive temperature t_1 e t_2, messi a contatto tra di loro, dopo un certo tempo più o meno lungo, raggiungono la stessa temperatura finale t_f;

b) se i due corpi sono immersi nell'ambiente che li circonda alla temperatura (ambiente) t_a, detta t_f la temperatura finale di cui al punto a), risulterà, dopo un certo tempo più o meno lungo, che $t_f = t_a$.

1.2 - Il calorimetro

È un oggetto in grado di isolare nel migliore modo possibile il suo interno dall'ambiente esterno.
Un buon calorimetro può essere fatto con un bicchiere o recipiente di polistirolo espanso, munito di coperchio dello stesso materiale recante due fori: uno per il termometro, l'altro per l'agitatore (che consente di mescolare il contenuto - liquido - presente nel calorimetro).

1.3 - Esperimento: "Acqua calda e acqua fredda".

Prendi una massa di acqua $m_1 = 50$ g portata alla temperatura t_1 circa tra i 10°C e i 15°C; versa m_1 nel calorimetro e leggi il valore di t_1, dopo aver mescolato con l'agitatore per avere una temperatura uniforme. Nel frattempo riscalda una massa $m_2 = m_1$ d'acqua posta in un becher su un fornellino fino ad una temperatura t_2 tra i 35°C e i 40°C. Dopo aver letto bene il valore di t_2, immetti rapidamente l'acqua calda nel calorimetro e, dopo aver mescola=

to, leggi il valore della temperatura finale t_f.
Che cosa hai trovato? Che cosa ti aspettavi?
Riprova l'esperienza tenendo sempre $m_1 = m_2 = 50$ g, ma mettendo inizialmente nel calorimetro l'acqua calda e aggiungendo poi l'acqua fredda. Che cosa concludi?
Per le masse potete usare un cilindro graduato. Perchè?
Come puoi spiegare il fatto che la temperatura finale t_f è diversa da t_1 e t_2? Che cosa pensi sia accaduto?

1.4. Esperimento: "Massa e differenza di temperatura".
Studiamo ora che cosa accade mescolando acqua calda con acqua fredda, avendo però differenti masse.
Come erano le differenze di temperatura nell'esperimento 1.3 con masse uguali di acqua?
Ora metti 80 g di acqua calda (35 °C ÷ 40 °C) nel calorimetro; mescola e leggi la temperatura t_1. Prepara 40 g di acqua fredda (10 °C ÷ 15 °C); mescola e leggi la temperatura t_2; versa l'acqua fredda pure nel calorimetro.
Che cosa concludi? Calcola anche le differenze di temperatura: $t_1 - t_f$ e $t_f - t_2$. Confrontando i risultati dei vari gruppi che cosa concluderesti?
Ripeti l'esperienza con una massa $m_1 = 60$ g di acqua calda ed una massa $m_2 = 30$ g di acqua fredda; poi con $m_1 = 90$ g e $m_2 = 30$ g.
Per ognuna delle tre prove fatte si possono scambiare anche i valori delle masse così: 40 g di acqua calda + 80 g di acqua fredda; 30 g di acqua calda + 60 g di acqua fredda; 30 g di acqua calda + 90 g di acqua fredda. Metà dei gruppi possono eseguire le tre prove nel primo modo; l'altra metà nel secondo modo. Riuniamo tutti i risultati in tre tabelle, una per ogni prova (nei due modi detti).

Che cosa si può concludere? Che legame ritieni che ci sia tra variazioni di temperature e masse d'acqua? Per rispondere esegui i calcoli e utilizza anche un grafico opportuno. Può essere conveniente, nelle letture sul termometro, stimare il decimo di grado centigrado.
Ritieni possa aver avuto incidenza sui risultati la temperatura ambiente? Perché?

1.5 - Il calore

Negli esperimenti precedenti possiamo dire che la massa di acqua a temperatura maggiore ha ceduto "qualcosa" alla massa d'acqua a temperatura minore, che lo ha acquistato completamente (semprechè l'ambiente - aria, pareti del calorimetro, termometro, ... - non sia entrato nel gioco di questo scambio). Chiamiamo calore questo "qualcosa". Preciseremo meglio in seguito che cos'è il calore.
Osserviamo che non sempre cedendo o sottraendo calore ad un corpo quest'ultimo varia la sua temperatura. Ad es. durante la solidificazione o la fusione la temperatura resta costante (ricordi il "pianerottolo"?).

1.6 - Esperimento: "Calore e temperatura"

Vogliamo cercare la relazione che esiste tra il calore fornito ad un oggetto e l'innalzamento di temperatura da esso subito e cercare una grandezza fisica che caratterizzi l'oggetto e una proprietà caratteristica della sostanza di cui l'oggetto è fatto.
Il calore sarà ceduto da un riscaldatore ad una certa massa d'acqua (tale massa costituisce l'oggetto); il riscaldatore cede calore in quanto percorso da corrente elettrica; l'acqua è contenuta nel solito calorimetro. L'apparato sperimentale è illustra-

to in fig. 1.1. Ammettiamo che durante l'intera esperienza l'alimentatore funzioni sempre allo stesso modo in modo che il riscaldatore eroghi sempre la stessa quantità di calore nell'unità di tempo. Per controllare che ciò accada, vedremo se amperometro e voltmetro indicano sempre lo stesso valore. Inoltre ammettiamo che la quantità di calore fornita dal riscaldatore all'acqua sia proporzionale al tempo di funzionamento del riscaldatore.

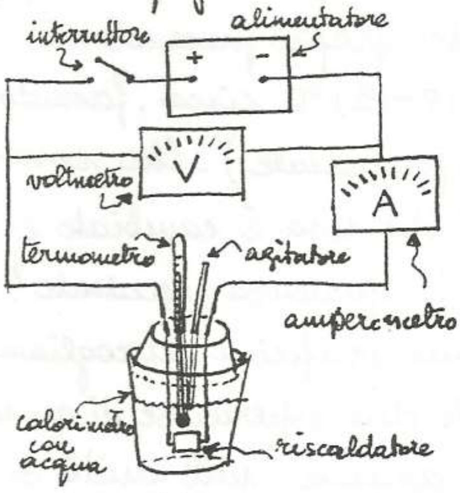


fig. 1.1

Un piccolo accorgimento che è però importante: dal momento che non possiamo essere certi che tutto il calore ceduto dal riscaldatore venga assorbito dall'acqua (un po' infatti andrà a riscaldare l'ambiente: aria, calorimetro, termometro, ...), conviene lavorare intorno alla temperatura ambiente ϑ_a, in modo cioè che, dette ϑ_i e ϑ_f le temperature iniziali e finali dell'acqua ($\vartheta_i < \vartheta_a < \vartheta_f$), risulti circa: $\vartheta_a - \vartheta_i \cong \vartheta_f - \vartheta_a$.

Premesso ciò, eseguite l'esperimento con il circuito di fig. 1.1. Fate una lettura di temperatura ϑ ogni 30 s (usate un contasecondi). Fate il grafico della temperatura ϑ (°C) in funzione del tempo t (s). Tenete conto delle seguenti osservazioni. Usate dapprima una massa d'acqua di 50 g. Leggete sul voltmetro e sull'amperometro i corrispondenti valori della tensione (V) e dell'intensità di corrente (A) e controllate che tali valori restino costanti durante l'intera esperienza. Partite con una temperatura iniziale ϑ_i sui 15°C e arrivate fino ad una temperatura finale ϑ_f sui 30°C ($\frac{\vartheta_i + \vartheta_f}{2} \cong \vartheta_a$).
Che cosa deducete dal grafico temperatura-tempo?

Rifate l'esperienza con una massa $m = 100$ g di acqua. Riportate il grafico relativo sullo stesso foglio del grafico precedente (potete partire con una temperatura di $(18 \div 19)$ °C circa, facendo durare l'esperienza lo stesso tempo della precedente). Che cosa risulta dal confronto dei due grafici? Che cosa è cambiato e che cosa è rimasto inalterato rispetto all'esperienza precedente? Calcolate la "pendenza" di ognuno dei due grafici e raccogliamo i dati di tutta la classe. Per ognuna delle due esperienze di quanto è aumentata la temperatura dell'acqua nell'unità di tempo (1 s)? Moltiplichiamo ciascun aumento $\Delta\theta$ di temperatura con la rispettiva massa d'acqua m; che cosa si può dedurre?

1.7 - Misura del calore. Calore specifico dell'acqua.

Dall'esperimento precedente abbiamo ricavato che il nostro riscaldatore produce un ben preciso aumento di temperatura su un grammo d'acqua, nell'intervallo di tempo di un secondo. Ma quant'è il calore ceduto dal riscaldatore all'acqua in 1 s? Per rispondere bisogna conoscere alcune cose. Il prodotto intensità di corrente I con la tensione V ci dà la potenza del riscaldatore, cioè la quantità di calore rapportata alla durata dell'erogazione del calore. Cioè:

$$I \cdot V = P = \frac{Q}{\Delta t}$$

. I si misura in A (ampère), V in V (volt), P in W (watt), Q in J (joule) e Δt in s (secondo).

Quindi potete calcolare facilmente la potenza P del vostro riscaldatore e la quantità di calore Q così erogato in 1 s. Dunque, se Q è la quantità di calore ceduto dal riscaldatore in 1 s e se $\Delta\theta$ è il conseguente aumento di temperatura di 1 g d'acqua, quanto calore occorrerà per innal

sempre 1 g d'acqua di 1 °C ?
Chiamiamo quindi calore specifico dell'acqua la quantità di calore (assorbita o ceduta dall'acqua) rapportata alla massa dell'acqua e al suo sbalzo termico; cioè:

$$c_{acqua} = \frac{Q}{m \cdot \Delta\vartheta} \quad , \text{ossia :} \quad Q = c_{acqua} \cdot m \cdot \Delta\vartheta \, .$$

Il calore specifico risulta dunque una proprietà caratteristica della sostanza acqua, ed è quindi indipendente dalla massa d'acqua impiegata.
Altre sostanze avranno lo stesso calore specifico dell'acqua?

1.8 - Esperimento: "Calore specifico di un solido".
Per determinare il calore specifico di un solido non possiamo riscaldarlo direttamente come è stato fatto per l'acqua nell'esp. 1.6 : il riscaldamento non sarebbe uniforme. Per scaldare il solido, mettetelo, legato ad uno spago, in un becher contenente acqua calda. In quali condizioni potete esser sicuri che la temperatura del solido è uguale a quella dell'acqua calda (scaldata precedentemente su un fornello, fino ad un valore di (45 ÷ 55) °C)?
Preparate in un calorimetro circa 100 g di acqua fredda sui (15 ÷ 20) °C e immergetevi rapidamente il solido riscaldato. Registrate la temperatura finale del sistema solido - acqua.
Quanto calore ha acquistato l'acqua fredda? Quanto calore è stato perduto dal solido? Qual è il calore specifico del solido? E quanto vale la sua densità?

1.9 - Capacità termica e calore specifico - La caloria.
Un oggetto di massa m subisce uno sbalzo termico $\Delta\vartheta$.
Il prodotto $C_T = m \cdot \Delta\vartheta$ si dice capacità termica dell'oggetto e si esprime in g · °C . Dunque la capacità ter-

mica di un corpo è la quantità di calore necessaria a produrre una variazione di temperatura di 1°C di quel corpo, mentre il calore specifico di una sostanza è la quantità di calore necessaria per ottenere una variazione di temperatura di 1°C su ogni grammo di quella sostanza. Ne segue che il calore specifico è una proprietà caratteristica delle sostanze, mentre la capacità termica non lo è. In tab. 1.1 trovate l'elenco dei calori specifici di alcune sostanze a 0°C e a pressione atmosferica. Ciò perchè il calore specifico dipende in piccola misura dalla temperatura. In realtà esso dipende anche dalla pressione e dal volume; tuttavia ciò è considerevole soprattutto per i gas (le sostanze elencate invece sono solidi o liquidi). Se cercate analoghe tabelle su libri o enciclopedie, troverete che il calore specifico è espresso nell'unità $\frac{cal}{g \cdot °C}$. Ciò perchè viene ancora adoperata la vecchia unità di misura del calore, la caloria (o piccola caloria); simbolo: cal. Si ha che:

sostanza	calore specifico $\left(\frac{J}{g \cdot °C}\right)$
alluminio	0,91
rame	0,39
piombo	0,13
ferro	0,45 ÷ 0,49
oro	0,13
argento	0,23
mattoni	0,84 ÷ 0,92
alcool etilico	2,43
acqua	4,19
glicerina	2,43
mercurio	0,14
ghiaccio	2,10

tab. 1.1 - Calori specifici di alcune sostanze a 0°C e a pressione atmosferica.

controllare

1 cal = 4,19 J (anche qui vi sono discordanze sul valore del fattore di conversione: chi fornisce 4,18, chi 4,184, chi 4,185, chi 4,186, chi 4,19; negli esercizi noi prenderemo 4,2). Si usa anche la chilocaloria: 1 kcal = 10^3 cal.

4,18933 (medie)
4,21700 (0°C)
4,18121 (20°C) vedi Handbook of Physics & Chemistry

1.10. **Esperimento**: "Calore di fusione".

Nell'esperimento "Solidificazione e fusione" avevate notato che durante la solidificazione la naftalina (o il paradiclorobenzolo) manteneva invariata la temperatura, anche se l'acqua del bagno maria continuava a raffreddare: bisogna quindi che del calore sia passato dal liquido all'acqua. Invece, durante la fusione, ci aspettiamo che del calore passi al solido fondente. Chiamiamo calore di fusione la quantità di calore necessaria per fondere 1 g della sostanza (nel nostro caso, ghiaccio).

Preparate 100 cm^3 di acqua nel calorimetro alla temperatura di circa 45 °C. Spezzate un cubetto di ghiaccio a pezzetti e, dopo averli asciugati, metteteli nel calorimetro con la acqua. Misurate la temperatura finale (quando tutto il ghiaccio è fuso) e la massa del ghiaccio fuso tramite il volume dell'acqua alla fine della fusione. Quanto calore è stato perduto dall'acqua nel raffreddarsi? Quanto calore è stato assorbito dal ghiaccio per fondersi e poi per riscaldarsi fino alla temperatura finale? Quanto calore è stato assorbito dal ghiaccio dopo che si era fuso? Quanto calore è stato necessario per fondere soltanto il ghiaccio? Qual è il calore di fusione del ghiaccio?

1.11. Calore di fusione e calore di evaporazione

Si trova che il calore per fondere 1 g d'acqua è uguale al calore liberato per solidificare 1 g d'acqua, sempre alla temperatura di fusione del ghiaccio (0°C).

Così il calore fornito per far evaporare 1g d'acqua (calore di evaporazione) alla temperatura di ebollizione (100 °C) è lo stesso che viene liberato quando 1g di vapore o di gas si condensa in acqua, sempre a 100°C. Calore di fusione e calore di evaporazione sono altre due proprietà caratteristiche delle sostanze.

sostanza	temperatura di fusione (°C)	calore di fusione (J/g)	temp. di ebollizione (°C)	calore di evaporaz. (J/g)
alluminio	658,7	360 ± 30	2300	9220
rame	1083	214	2360	5410
alcool etilico	−114	105	78,3	846
glicerina	—	176	290	825
oro	1063	66,6	2800	1575
acqua	0	334	100	2260
ferro	1530	293	3050	6300
piombo	327,3	22,5	1750	880
mercurio	−38,9	11,7	356,7	285
argento	960,8	88	2160	2350

tab. 1.2 - Calore di fusione e di evaporazione di alcune sostanze a pressione atmosferica.

1.12 - Esperimento: "Calore di soluzione".

Se mescolate 50 g d'acqua a 20°C con 50 g di alcool sempre a 20°C, ottenete una soluzione acqua-alcool a temperatura diversa. Perché? Evidentemente si è sviluppata una certa quantità di calore. Si chiama calore di soluzione la quantità di calore, per unità di massa disciolta in soluzione, che si sviluppa o viene assorbita.

Fate sciogliere una massa di (5 ÷ 15) g di cloruro di calcio in 50 g d'acqua, inizialmente a temperatura ambiente, nel solito calorimetro. Leggete la temperatura finale. Si può fare l'esperienza anche con 10 g di cloruro di sodio o di cloruro di ammonio, sempre in 50 cm³ d'acqua. Tutte e tre le soluzioni hanno calore specifico pari a circa: 3,35 $\frac{J}{g \cdot °C}$.

Calcolate quindi il calore di soluzione per ognuno dei tre casi studiati.

1.13. Esperimento: "Calore di reazione".

Come si ottiene il calore prodotto da una fiamma? Nella reazione tra il gas del fornello e l'ossigeno dell'aria viene prodotto calore. Così anche per reazioni di combustione di legno, benzina o altri combustibili. Tuttavia ci sono molte altre reazioni in cui non interviene l'ossigeno e che ugualmente producono calore. Altre volte il calore anziché essere prodotto viene assorbito nella reazione. Chiamiamo calore di reazione il calore liberato o assorbito per ogni grammo di sostanza reagente.

Mettete un paio di pezzetti di zinco ($0,5\,g \leq m \leq 2,0\,g$, ove m è la massa dello zinco adoperato) in $50\,cm^3$ di acido cloridrico nel calorimetro. In realtà usate una soluzione di acido cloridrico e acqua (in parti uguali) che ha densità circa di $1,1\,g/cm^3$ e calore specifico di circa $3,14\,J/g\,°C$. Nel calcolo del calore di reazione si può trascurare il calore di soluzione assorbito dal cloruro di zinco che si forma insieme all'idrogeno, perché la massa di queste ultime sostanze è molto minore di quella dell'acido, che resta quasi inalterata durante la reazione. Calcolate il calore di reazione liberato per ogni grammo di zinco. Confrontate tale calore di reazione col calore ceduto da 1 g di acqua per raffreddarsi dal punto di ebollizione alla temperatura ambiente. Che cosa ne deducete? Il calore di reazione è una proprietà caratteristica di una sostanza (vd tab. 1.3)?

sostanza	reazione	calore di reazione della sostanza (J/g)
alcool met.	alcool met. + ossigeno → bioss. di carb. + acqua	$5,3 \cdot 10^3$
benzina	benzina + ossigeno → bioss. di carb. + acqua	$11,5 \cdot 10^3$
idrogeno	idrogeno + ossigeno → acqua	$33,9 \cdot 10^3$
azoto	azoto + ossigeno → ossido d'azoto	$-1,5 \cdot 10^3$
magnesio	magnesio + ac. clorid. → idrog. + cloruro di magn.	$1,2 \cdot 10^3$
rame	rame + zolfo → solfuro di rame	$0,18 \cdot 10^3$

tab. 1.3. Calore di reazione di alcune sostanze.

Esercizi e problemi (relativi al Cap. 1)

1 - Mescola 50 g di acqua calda (40°C) con 30 g di acqua fredda (13°C) nel solito calorimetro. Quanto sarà la temperatura finale? Entro quali ipotesi vale la tua risposta?

2 - Abbiamo a disposizione acqua calda a 50°C e acqua fredda a 15°C. Quale sarà la massa dell'acqua fredda, sapendo che l'acqua calda ha massa 20 g e la temperatura finale è di 20°C? Quale sarà il rapporto delle masse, sapendo solo che la temperatura finale è di 25°C?

3 - Calcola il calore ceduto dall'acqua calda e quello assorbito dall'acqua fredda nell'es. 1.

4 - Due becher contengono, il primo $m_1 = 50$ g d'acqua ed il secondo $m_2 = 500$ g d'acqua, sempre a temperatura ambiente. Entrambi vengono scaldati finché l'acqua in ogni becher arriva alla temperatura di 60°C.

a) In quali dei due becher le molecole d'acqua si muovono più velocemente: prima del riscaldamento? dopo il riscaldamento?

b) I due becher hanno ricevuto la stessa quantità di calore?

5 - Un riscaldatore elettrico fornisce 80 cal/min ed è posto in un calorimetro contenente 100 g d'acqua.

a) Quanto calore (in J) fornirà all'acqua in 2,0 min?

b) Quale aumento di temperatura avrà avuto l'acqua?

6 - Quanto calore bisogna fornire ad 1 g di: acqua, mercurio e rame per portare ognuna di queste sostanze dal suo punto di fusione al suo punto di ebollizione?

7 - Masse eguali di acqua e di alcool etilico sono riscaldate in due identici recipienti per lo stesso tempo sulla stessa piastra calda. Se l'acqua aumenta di 5,0°C la sua temperatura, quale sarà l'aumento di temperatura dell'alcool? Entro quali ipotesi si può dare la risposta?

8 - E' meglio usare acqua o glicerina in una boule per l'acqua calda?

9. Tre solidi di massa 100 g sono rispettivamente di alluminio, rame e piombo e sono messi in acqua bollente. Ciascuno di essi viene poi messo in un calorimetro contenente 100 g d'acqua a 20°C. Calcola le variazioni di temperatura dell'acqua fredda in ciascun caso.

10. Un solido di massa 200 g, prima immerso in acqua bollente, viene poi inserito in 100 g d'acqua fredda a 20°C. Dopo un certo tempo la temperatura dell'acqua s'alza a 25°C. Di che materiale è fatto il solido?

11. Per far evaporare 10 g di biossido di zolfo al suo punto di ebollizione (−10°C) occorrono 3976 J. Qual è il suo calore di evaporazione?

12. Perché il ghiaccio a 0°C è più efficace, nel refrigerare un corpo a temperatura ambiente, dell'acqua sempre a 0°C?

13. Per fondere 5,0 g di una certa sostanza occorre cedere circa 334 J. Di che sostanza presumibilmente si tratta?

14. Se si mescolano uguali volumi di due liquidi alla stessa temperatura iniziale di 25°C, pensi che la temperatura finale possa essere diversa da 25°C? Perché?

15. Esperimento: Mescola 50 g d'acqua con 50 g d'alcool (entrambi a temperatura ambiente). Misura la temperatura finale. Come puoi spiegare il risultato?

16. Se si mescolano 100 g di acido cloridrico concentrato con 100 g d'acqua, la temperatura del miscuglio aumenta di circa 15°C. Quale aumento di temperatura ti aspetti mescolando masse doppie?

17. Come si può determinare il calore specifico del cloruro di sodio?

18.

t (s)	ϑ (°C)
0	17,5
30	18,0
60	18,6
90	19,0
120	19,5

Un riscaldatore elettrico, alimentato con tensione di 6,0 V e percorso da corrente di 1,0 A, determina gli aumenti di temperatura a fianco indicati per una certa quantità d'acqua. Qual è il volume dell'acqua riscaldata? Traccia il grafico della temperatura ϑ (°C) in funzione del calore erogato Q (J) dal riscaldatore. Quanto calore verrà ceduto dopo 3,0 min?

19. Un pezzo di ghiaccio di massa 20 g viene tolto dal freezer

a temperatura di $-10\,°C$ e viene portato a temperatura ambiente di $20\,°C$. Calcola quanto calore ha assorbito l'ambiente alla fine, quando cioè il ghiaccio (o meglio, l'acqua) ha raggiunto la temperatura ambiente.

20 - Vengono riscaldati 10 g di glicerina, inizialmente a temperatura inferiore a quella di ebollizione, fino alla completa evaporazione. Per l'operazione sono impiegati complessivamente 12.000 J. Qual era la temperatura iniziale della glicerina?

21 - Un riscaldatore della potenza di 40 W viene impiegato per portare 1 l d'acqua dalla temperatura ambiente (25°C) al punto di ebollizione. Per quanto tempo verrà impiegato?

22 - L'olio ha mediamente calore specifico metà di quello dell'acqua. Perché i difensori dei castelli versavano olio bollente e non acqua bollente sugli assalitori delle mura?

23 - Esperimento: Come potresti determinare la temperatura di una fiamma, avendo a disposizione un pezzo di ferro, un termometro, un calorimetro, le pinze e un po' d'acqua?

24 - Perché l'idrogeno liquido è uno dei migliori combustibili per la propulsione dei razzi? (vd tab. 1.3)

25 - Vogliamo riscaldare, in 5 min, 250 cm³ di olio ($c_s = 2{,}1 \frac{J}{g\,°C}$) fino alla temperatura di 50°C, partendo da temperatura ambiente (22°C). Quale potenza dovrà avere il riscaldatore? ($d_{olio} = 0{,}92 \frac{g}{cm^3}$)

26 - Una miscela ghiaccio + acqua a 0°C, ben isolata dall'ambiente esterno (o con l'ambiente a 0°C), è tale che il ghiaccio non fonde, né l'acqua congela. Perché?

27 - Una vasca contiene 100 l d'acqua a 25°C. Quant'acqua a 60°C bisogna aggiungere per ottenere un bagno caldo a 40°C?

28 - Un riscaldatore da 100 W viene immerso in un calorimetro contenente 100 g di alcool etilico alla temperatura di 20°C. Quale sarà la temperatura dell'alcool dopo 16 min?

2 - LE FORZE

2.1 - Alcune premesse

Per introdurre operativamente il concetto di forza, useremo le molle - Una molla è un oggetto a tutti famigliare che ha le seguenti caratteristiche:

a) una molla si deforma se è sottoposta a trazione (si allunga) o a compressione (si accorcia), nel senso della sua lunghezza;

b) per esercitare una trazione (o una compressione) su una molla bisogna tirarla (o schiacciarla) da entrambe le estremità;

c) cessata la trazione (o la compressione) che l'hanno deformata, la molla ritorna alla sua configurazione iniziale (ciò è vero se è una "buona" molla e se non si è esagerato nell'applicare trazioni o compressioni);

d) più intensa è la trazione (o la compressione), maggiore è la deformazione; uguali deformazioni derivano da uguali trazioni;

e) tendendo due molle collegate in serie (come in fig. 2.6), la trazione esercitata sull'una è uguale alla trazione prodotta sull'altra molla.

Anziché i termini "trazione" o "compressione" useremo spesso il termine "forza". Questo concetto verrà a definirsi con lo sviluppo del presente capitolo.

2.2 - Esperimento : "Confronto tra molle".

Prendete due molle: per ciascuna attaccate un estremo ad una piastrina forata; il rimanente estremo di ognuna delle due molle venga invece fissato ad una piastrina comune. Disponete poi il tutto sul tavolo, insieme ad una cordella metrica per misurare gli allungamenti delle molle. Determinate la posizione della molla di sinistra di estremi S_1 e S_2 e la posizione della molla di de=

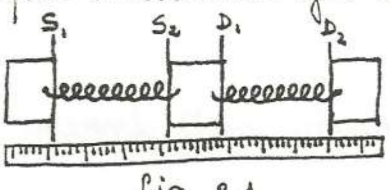


fig. 2.1

stra di estremi D_1 e D_2; più precisamente misurate la lunghezza della molla di sinistra l_S e di quella di destra l_D, usandola riga sottostante (vd fig. 2.1). Fate ciò per le molle a riposo e poi per le molle sollecitate da varie trazioni, determinando ogni volta la posizione di S_1, S_2, D_1 e D_2 e misurando i relativi valori di l_S e l_D. L'ultima prova fatela di nuovo con le molle a riposo: è cambiata la loro configurazione rispetto alla posizione iniziale? Determinate per ogni prova fatta gli allungamenti (o variazioni di lunghezza) Δl_S e Δl_D delle due molle. Fate un grafico mettendo in ascisse Δl_S e in ordinate Δl_D. Che cosa potete concludere? Dall'analisi fatta potete concludere che le due molle sono uguali o diverse? Come potreste definire "uguali" o "diverse" due molle?
Se le due molle appena studiate sono risultate uguali, chiameremo "molla campione" C una qualunque di esse. Ripetete ora l'esperienza precedente con la molla campione C al posto della molla di sinistra S e con una nuova molla come molla di destra. Rilevate le varie posizioni C_1, C_2, D_1 e D_2 delle due molle, le loro lunghezze l_C e l_D a riposo e in trazione e i rispettivi allungamenti Δl_C e Δl_D riportati poi in grafico nello stesso foglio del grafico precedente. Che cosa concludete? La nuova molla D è uguale o diversa rispetto alla molla campione C?
Ripetete l'esperienza, confrontando la molla campione con ognuna delle molle di un gruppo assegnato. Riportate gli allungamenti Δl_C e Δl_D (per ognuno dei confronti a due effettuati) in grafico, su un solo foglio. Determinate la pendenza minima e massima del grafico. Sono uguali le molle? Con quale incertezza potete fornire il vostro risultato?

2.3 - Esperimento: "Come misurare le forze".

Per allungare le molle del precedente esperimento avete dovuto usare forze. Vogliamo introdurre operativamente una unità di misura per le forze, al fine di poterle misurare. Abbiamo a disposizione un certo numero di molle che, a parità di trazioni, si deformano tutte allo stesso modo. Conveniamo di considerare unitaria la forza che produce, in ognuna delle molle uguali studiate, un allungamento di 2,0 cm. Chiamiamo tale forza unitaria : 1 man -

Come avere forze multiple di : 2 man, 3 man, 4 man, ...?

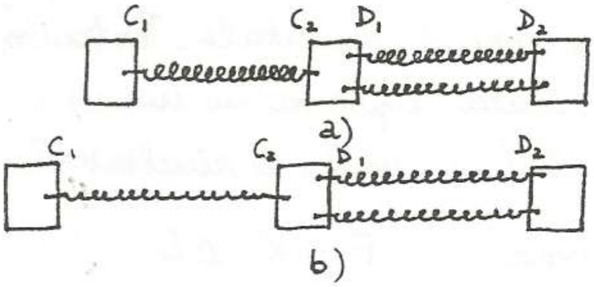


fig. 2.2

Collegate due delle molle uguali in parallelo (fig. 2.2-a)) e il tutto in serie con la molla campione C. Applicate una forza alle due molle D (e quindi alla molla campione C) in modo che ciascuna delle due molle D sia allungata di $\Delta l_D = 2,0$ cm (fig. 2.2-b)). Quanto vale l'allungamento Δl_C della molla campione? È chiaro che adesso la forza applicata è F = 2 man. Ripetete l'esperienza mettendo 3, 4,... molle eguali in parallelo tra loro ed in serie sempre con la stessa molla campione C; se in ogni caso applicate una forza tale da produrre sempre lo stesso allungamento di 2,0 cm nel sistema in parallelo ($\Delta l_D = 2,0$ cm), è chiaro che applicherete di volta in volta una forza F = 3 man, 4 man, ... Determinate, caso per caso, l'allungamento Δl_C della molla campione. Ripetete, per ogni caso, la prova tre o quattro volte e prendete il valore medio con la rispettiva incertezza. Fate, ovviamente, anche la prova per F = 1 man (prova, d'altra parte, già fatta nel precedente esperimento). Costruite quindi il grafico, mettendo in ascisse gli allungamenti Δl_C (cm) ed in ordinate le forze applicate F (man). Che cosa osservate? Che legame c'è tra F e Δl_C? Andate ad esprimere pendenza ni-

nima e la pendenza massima del grafico. Sapete esprimere la costante dell'esperimento?

2.4 - Legge di Hooke e costante di elasticità.

Dall'esperimento 2.3 abbiamo trovato un modo per misurare le forze applicate ad una determinata molla campione mediante gli allungamenti della molla stessa. Il legame tra forze e allungamenti è risultato una diretta proporzionalità, ovviamente entro gli errori sperimentali. Pertanto, indicando con F la forza applicata (espressa in man) e il rispettivo allungamento con Δl (in cm), è risultato che:

$$\frac{F}{\Delta l} = K \text{ (costante)} \quad , \text{ ossia: } \quad F = K \cdot \Delta l \quad .$$

Tale costante di proporzionalità K è da ritenersi legata alle caratteristiche della molla campione e si chiama costante elastica (o costante di elasticità) della molla. La legge espressa sopra si chiama legge di Hooke.

E' bene osservare che, essendo F espressa in unità arbitraria (man), pure K sarà espressa in unità arbitraria $\left(\frac{man}{cm}\right)$. Sarà necessario trovare una unità facilmente riproducibile per le forze e che appartenga al sistema internazionale (S. I.) per le grandezze e le unità di misura. Ciò non è per ora possibile per noi; ci proponiamo di farlo più avanti nel corso di Fisica.

Un'altra osservazione. La legge di Hooke vale indiscriminatamente, senza cioè alcuna limitazione? In realtà se applicassimo alla nostra molla forze molto elevate, non troveremmo più una proporzionalità diretta tra F e Δl. Potremmo giungere addirittura a compromettere l'elasticità della molla fino a deformarla in modo permanente o, insistendo ancora, fino a romperla.

2.5 - Esperimento: "Il dinamometro".

Vogliamo costruirci uno strumento per misurare le forze; si chiamerà dinamometro. Per farlo utilizziamo la molla campione e la legge di Hooke.

Ci costruiamo una scala (in man) che riproduca, in corrispondenza di allungamenti di: 2,0 cm ; 4,0 cm ; 6,0 cm ; ... , i rispettivi valori della forza che li ha prodotti, cioè : 1,0 man ; 2,0 man; 3,0 man ; ... - Questa operazione è lecita solo perchè sappiamo bene che c'è proporzionalità diretta tra Δl (cm) ed F (man), in virtù di quanto precedentemente trovato (legge di Hooke). Dunque, mettendo la scala accanto alla molla campione come in fig. 2.3, abbiamo realizzato uno strumento di misura, cioè uno strumento dotato di scala, o, come si dice, uno strumento tarato. Siccome questo strumento misura le forze si chiamerà dinamometro.

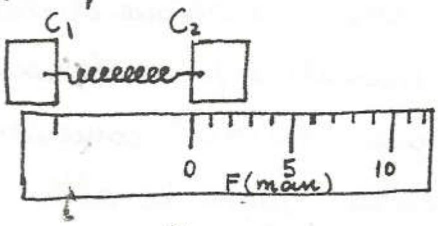


fig. 2.3

Ora che avete a disposizione un dinamometro, potete facilmente determinare la costante elastica di una molla qualsiasi. Collegate la nuova molla D in serie con il dinamometro; mettete anche una cordella metrica parallelamente a D al fine di leggerne gli allungamenti (vd fig. 2.4). Ora applicate a D

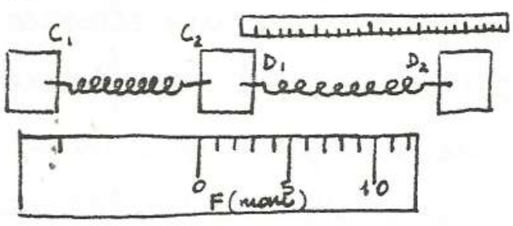


fig. 2.4

forze note (le "leggete" sulla scala del dinamometro, mediante gli allungamenti della molla campione C) e rilevate i conseguenti allungamenti di D. Costruite il grafico di F (man) in funzione di Δl_D (cm) e dal grafico ricavate la costante elastica di D. Qual è il valore della costante elastica della molla studiata D? Com'è rispetto alla costante elastica della molla campione? Quale tra le due molle è più "tenera"?

Un'osservazione importante. Con un dinamometro a disposizio-

ne è possibile definire forze che non siano multipli interi di 1 man.
Come definireste, ad es., una forza di 0,3 man o di 2,5 man?
Potete infine determinare la costante di elasticità per una molla "dura", ripetendo quanto fatto prima per quella "tenera". Che cosa potete concludere dall'analisi del grafico relativo a questo caso, rispetto alla situazione precedente?

2.6 - <u>Esperimento</u>: "<u>Allungamento di un elastico</u>".

Nelle premesse (§ 2.1 - punto c)) avevamo esposto la caratteristica fondamentale di un corpo elastico: la capacità di assumere di nuovo la configurazione iniziale, cessata l'azione della forza deformante. Questa caratteristica quindi è presente non solo nelle molle, ma anche negli altri oggetti "elastici", come appunto, i comuni elastici che abbiamo in casa. Anche le altre caratteristiche esposte per le molle nello stesso paragrafo ai punti a), b) e d) valgono anche per gli elastici. Allora ci chiediamo: varrà anche la legge di Hooke per gli elastici?

Per rispondere a questa domanda utilizzate il dinamometro costruito precedentemente e attaccate in serie ad esso un elastico, come descritto in figura 2.4, al posto della molla D. Per fissare l'elastico alle due piastrine potete usare due fermagli. Come nell'esperimento 2.5 applicate varie forze all'elastico (potete arrivare fino a circa (18 ÷ 20) man) e rilevatene gli allungamenti. Tracciate il grafico della forza in funzione dell'allungamento. Potete trovare una costante di elasticità? Ripetete l'esperienza con un altro elastico diverso dal precedente e tracciate il relativo grafico. Che cosa concludete?

2.7 - <u>Molle in parallelo e molle in serie</u>.

Colleghiamo due molle in parallelo. Esse abbiano costanti elastiche: K_1 e K_2. Allunghiamo il sistema delle due molle in pa-

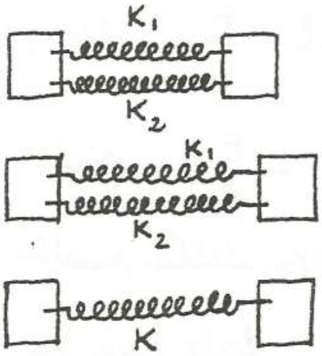


fig. 2.5

rallelo di un tratto Δl (fig. 2.5). Chiamiamo molla equivalente al sistema delle due molle in parallelo quella molla, di costante K, che, soggetta alla stessa forza subita dal sistema, risulta allungata dello stesso tratto Δl di cui si è allungato il sistema. Quale relazione ci sarà tra le costanti elastiche K_1, K_2 e K? Osserviamo che la forza necessaria per deformare il sistema di Δl sarà data da $F_1 + F_2$, ove F_1 e F_2 sono le forze rispettivamente impiegate per allungare di Δl ciascuna delle due molle. Quindi la forza per allungare di Δl la molla equivalente sarà: $F = F_1 + F_2$. Ora: $F_1 = K_1 \cdot \Delta l$; $F_2 = K_2 \cdot \Delta l$; $F = K \cdot \Delta l$; quindi:

$K \cdot \Delta l = F = F_1 + F_2 = K_1 \cdot \Delta l + K_2 \cdot \Delta l = (K_1 + K_2) \cdot \Delta l$. Ne segue:

$K = K_1 + K_2$. Quindi per due molle in parallelo si può dire che sono sostituibili con una molla equivalente avente per costante la somma delle costanti di ciascuna molla.

Se invece le molle sono collegate in serie le cose vanno diversamente. Siano Δl_1 e Δl_2 i loro rispettivi allungamenti quando il sistema viene allungato di Δl. Ovviamente sarà: $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$. Chiamiamo ancora molla equivalente al sistema quella molla che, soggetta alla stessa forza subita dal sistema, risulta allungata dello stesso tratto Δl. Detta F la forza per allungare di Δl il sistema e dette rispettivamente F_1 e F_2 le forze necessarie per allungare di Δl_1 e Δl_2 ciascuna molla, sarà: $F = F_1 = F_2$. Ma: $F = K \cdot \Delta l$ (con K costante della molla equivalente); $F_1 = K_1 \cdot \Delta l_1$; $F_2 = K_2 \cdot \Delta l_2$.

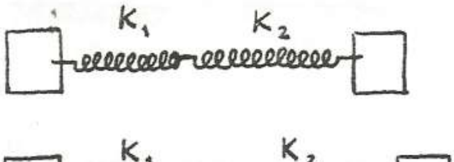


fig. 2.6

Segue: $\Delta l_1 = \frac{F_1}{K_1} = \frac{F}{K_1}$; $\Delta l_2 = \frac{F_2}{K_2} = \frac{F}{K_2}$; $\Delta l = \frac{F}{K}$. Ma, siccome: $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$, risulta: $\frac{F}{K} = \frac{F}{K_1} + \frac{F}{K_2}$, cioè: $\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$. Quindi la costante elastica della molla equivalente ad un sistema di molle in serie è tale che il suo reciproco è uguale alla somma dei reciproci delle costanti di ciascuna molla del sistema.

E' ovvio che i risultati trovati non cambiano se i sistemi di molle in parallelo o in serie sono costituiti da più di due molle.

2.8 _ Forze come grandezze vettoriali.

Finora abbiamo esplicitamente parlato di una caratteristica delle forze: la loro intensità. Vi sono infatti forze di varia intensità: una forza di 3,5 man è più intensa di un'altra di 3,0 man, ecc.. Ma una forza è caratterizzata solo dalla sua intensità? Evidentemente no. Infatti, se un uomo applica una forza di

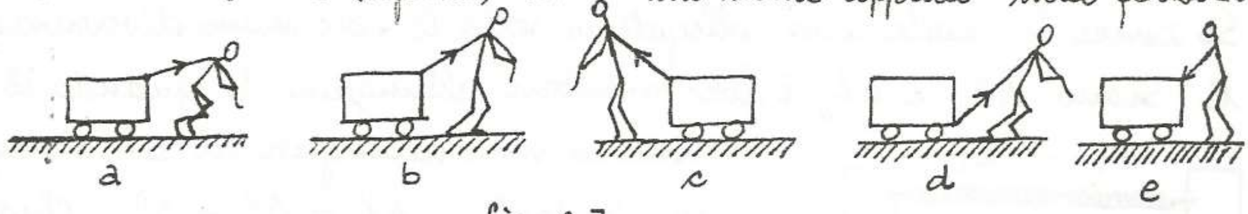


fig. 2.7

intensità fissa ad un medesimo carrello, ottiene diversi risultati a seconda di come applica tale forza. Più precisamente la forza, applicata al carrello mediante una fune, può essere applicata secondo diverse direzioni o linee di azione (fig. 2.7_a) e b)); oppure secondo la stessa direzione, ma con verso opposto (fig. 2.7- b) e e)); oppure con differenti punti di applicazione (fig. 2.7_ b), c), d)).

Quindi per una forza occorrerà distinguere:

- l'intensità, espressa per ora in man (è detta anche modulo);
- la direzione, cioè la retta (e tutte quelle ad essa parallele)

lungo la quale agisce la forza;
- il verso (o senso), individuato da una freccia, che indica quale delle due orientazioni segue la forza lungo la sua direzione;
- il punto di applicazione, cioè il punto in cui viene applicata la forza.

Le prime tre caratteristiche (intensità, direzione e verso) sono tipiche di molte grandezze fisiche che prendono il nome di grandezze vettoriali o anche vettori. La forza è quindi un vettore. Tuttavia, siccome interessa anche il punto in cui la forza è applicata, diremo che essa è più propriamente un vettore applicato.

Grandezze fisiche (come la lunghezza, l'area, il volume, la massa, la densità, la solubilità...) per le quali non ha senso parlare di direzione o di verso, ma solo di intensità (espressa con un numero seguito dalla relativa unità di misura), si dicono grandezze scalari o semplicemente scalari.

Un vettore è rappresentato mediante un segmento orientato; il suo simbolo è dato da una lettera, maiuscola o minuscola, con una freccia orizzontale sopra, orientata da sinistra a destra.

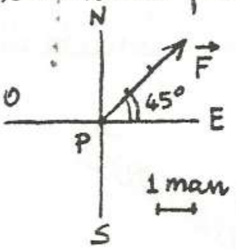


fig. 2.8

Per rappresentare graficamente un vettore bisogna fornire un sistema di riferimento rispetto al quale il vettore è rappresentato; può essere usata la rosa dei venti. Bisogna anche rappresentare a parte l'unità di misura della grandezza da raffigurare. Ad es., il vettore $\vec{F}$ in fig. 2.8 è così individuabile:

$\vec{F}$ = 3,0 man , 45° da Est verso Nord ; oppure :

$\vec{F}$ = 3,0 man , 45° da Nord verso Est .

Nello stesso diagramma vettoriale si possono raffigurare più vettori. Il modulo (o intensità) di $\vec{F}$ si indica con: F o $|\vec{F}|$.

non sempre: vedi un piano verticale

Due vettori si dicono uguali se hanno stesso modulo, stessa direzione e stesso verso; due vettori si dicono opposti se hanno stesso modulo, stessa direzione e verso opposto. È chiaro che le due molle D in fig. 2.2 - b) sono sottoposte a forze uguali $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ (cioè $\vec{F}_1 = \vec{F}_2$), mentre la molla C è soggetta ad una forza $\vec{F}$ opposta alla "somma" di $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ (cioè: $\vec{F} = -(\vec{F}_1 + \vec{F}_2)$), come è schematicamente indicato in fig. 2.9 - Per "somma" di $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, qui intendiamo un nuovo vettore-forza $\vec{F}_3$ che abbia stessa direzione e stesso verso di $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, ma modulo pari alla somma dei moduli di $\vec{F}_1$ e di $\vec{F}_2$. È poi importante notare che i vettori-forza in esame sono tutti applicati al medesimo punto O; il sistema delle molle risulta perciò in equilibrio.

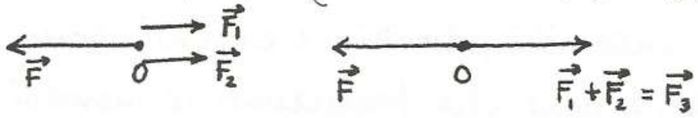


fig. 2.9

2.9 - Esperimento: "Somma di forze".

Nel precedente paragrafo si è parlato di somma di forze nel caso di forze aventi la stessa direzione - Vogliamo invece studiare ora che cosa accade applicando ad un medesimo punto forze con diversa direzione.

Allo scopo usate tre molle uguali di cui una (almeno) fornita di scala (dinamometro): sarà la molla campione C.

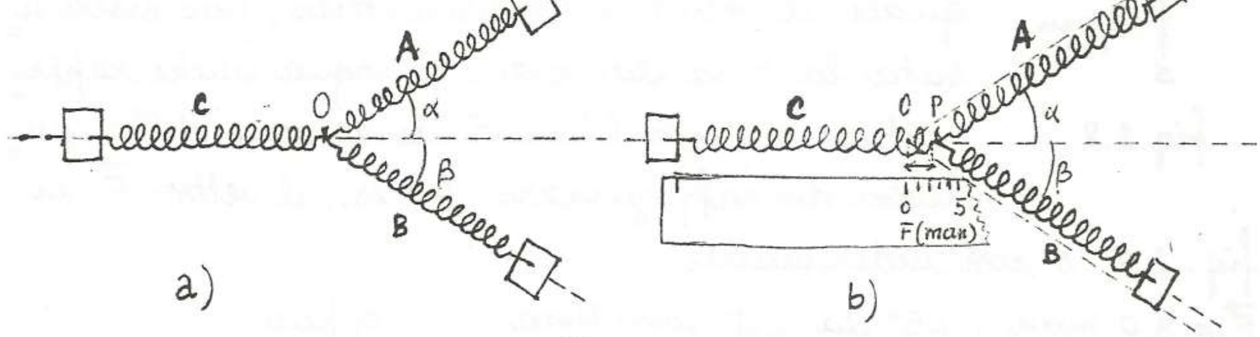


fig. 2.10

Disegnate su un foglio di carta una retta e, da un punto O di essa, originate due semirette inclinate rispetto alla retta di ampiezze

α e β uguali tra loro. Disponete la molla C e altre due uguali A e B lungo la retta e le due semirette come in fig. 2.10_a). Le tre molle, ora a riposo, sono agganciate tra loro nel punto O. Segnate sul foglio la posizione del rimanente estremo di ciascuna molla. Ora prevedete di applicare una certa forza (potrebbe essere di 2 o 3 man) alla molla C fino a portare in P il suo estremo da collegare alle altre due. Per comodità vi conviene tracciare due semirette parallele alle precedenti, uscenti però da P. Ridisponete le molle come prima e poi allungate la molla C con allungamento [OP], agendo sulle molle A e B disposte ora lungo le semirette parallele a quelle iniziali (fig. 2.10_b)). Segnate la nuova posizione dell'estremo non comune alle tre molle (per C sarà invece P) e determinate i valori dei tre allungamenti Δl_C, Δl_A e Δl_B. Dalla misura degli allungamenti potete passare facilmente alla intensità in man delle varie forze $\vec{F}_C$, $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$ applicate tutte al medesimo punto O. Costruite il diagramma vettoriale delle forze (in scala!). È chiaro che la forza $\vec{F}_C$ è equilibrata dalla somma: $\vec{F}_A + \vec{F}_B$, cioè: $\vec{F}_C = -(\vec{F}_A + \vec{F}_B)$. Ma che cosa sarà la somma: $\vec{F}_A + \vec{F}_B$? Il modulo di $\vec{F}_A + \vec{F}_B$ è dato dalla somma dei moduli di $\vec{F}_A$ e di $\vec{F}_B$? (cioè: $|\vec{F}_A + \vec{F}_B| = |\vec{F}_A| + |\vec{F}_B|$?). Se non siete convinti della regola trovata per sommare le forze, potete rifare le misure.
Nota tale regola (regola del parallelogramma), costruite i diagrammi vettoriali relativi a forze uguali in modulo (chiamatele sempre $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$), inclinate come prima di ampiezze $\alpha = \beta$, per valori particolari: $\alpha = 30°, 45°, 60°$. Come sarà in ciascun caso $\vec{F}_C$? Potete verificare quanto trovato graficamente mediante l'esperimento. C'è concordanza tra previsione teorica e verifica sperimentale?
Fate infine una prova o più con ampiezze α e β diverse tra loro. Esprimete anche in questi casi la somma: $\vec{F}_A + \vec{F}_B$.

2.10 - Somma di vettori. Differenza di vettori.

La somma di forze, applicate ad uno stesso punto, è un caso particolare di somma tra grandezze vettoriali. Più in generale, infatti, si può definire la somma tra due vettori qualsiasi.

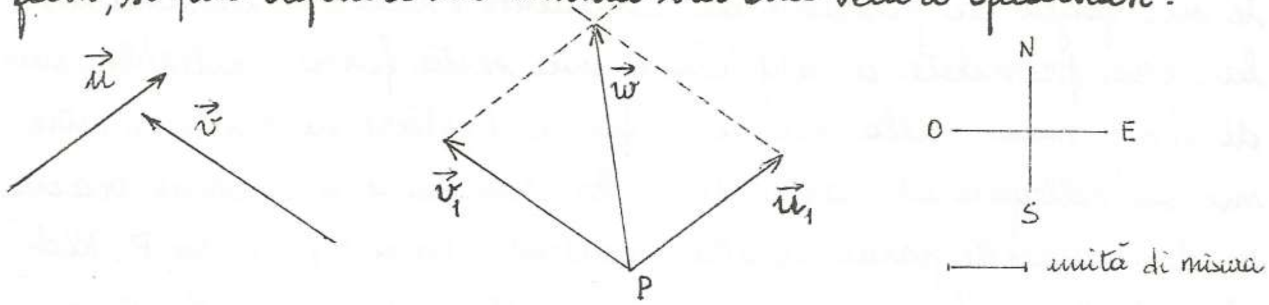


fig. 2.11

Dati due vettori, non applicati, $\vec{u}$ e $\vec{v}$, disposti lungo una qualunque delle rette che per ciascuno di essi individua la sua direzione, costruiamo due nuovi vettori, $\vec{u}_1$ e $\vec{v}_1$, applicati ad uno stesso punto P del piano (punto P scelto a piacere), tali però che $\vec{u}_1 = \vec{u}$ e $\vec{v}_1 = \vec{v}$. Quindi la retta su cui giace $\vec{u}_1$ sarà parallela a quella di $\vec{u}$ e così per quelle di $\vec{v}_1$ e di $\vec{v}$ (fig. 2.11). Ora dalle frecce di $\vec{u}_1$ e $\vec{v}_1$ mandiamo le parallele agli stessi vettori; si ottiene così un parallelogramma, la cui diagonale avente origine in P rappresenta il vettore somma $\vec{w} = \vec{u}_1 + \vec{v}_1 = \vec{u} + \vec{v}$.

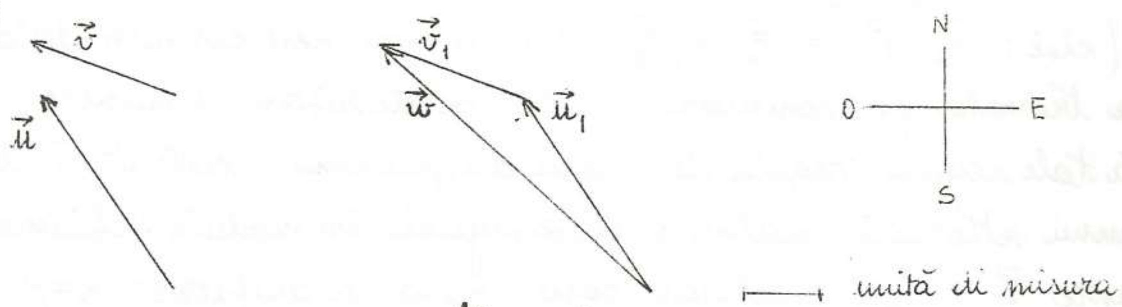


fig. 2.12

Per sommare i vettori $\vec{u}$ e $\vec{v}$ si può seguire anche il procedimento illustrato in fig. 2.12, del tutto equivalente al precedente. Come prima $\vec{u}_1 = \vec{u}$ e $\vec{v}_1 = \vec{v}$; ora però $\vec{u}_1$ e $\vec{v}_1$ non son più applicati ad uno stesso punto, ma $\vec{v}_1$ è applicato alla freccia di $\vec{u}_1$. Il vettore risultante $\vec{w}$, che si origina nel punto di applicazione di $\vec{u}_1$, termina nella freccia di $\vec{v}_1$. Anche qui: $\vec{w} = \vec{u}_1 + \vec{v}_1 = \vec{u} + \vec{v}$, com'è facile verificare costruendo anche in questo caso il parallelogramma. Provate, come esercizio, a sommare $\vec{v}_1 + \vec{u}_1$: otterrete sempre un vettore uguale a $\vec{w}$. Dunque la somma tra vettori è commutativa.

Si possono sommare anche tre o più vettori tra loro. Ad esempio, dovendo sommare i vettori: $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ e $\vec{d}$, si sommano dapprima $\vec{a}$ e $\vec{b}$; la loro somma $\vec{u}$ verrà sommata a $\vec{c}$; la somma $\vec{v}$ di $\vec{u}$ con $\vec{c}$ verrà sommata infine con $\vec{d}$, dando così origine al vettore somma $\vec{w}$ dei quattro vettori assegnati. In simboli:

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d} = \left[(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}\right] + \vec{d} = (\vec{u} + \vec{c}) + \vec{d} = \vec{v} + \vec{d} = \vec{w}.$$

La somma tra vettori gode pure della proprietà associativa; cioè: $(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c} = \vec{a} + (\vec{b} + \vec{c})$. Provatelo con qualche esempio grafico.

Per eseguire la differenza tra due vettori $\vec{u}$ e $\vec{v}$, basterà sommare $\vec{u}$ con l'opposto di $\vec{v}$; cioè: $\vec{u} - \vec{v} = \vec{u} + (-\vec{v})$. Pensate che la differenza tra vettori sia commutativa o associativa?

Vi sono molte altre cose da dire sui vettori, altre operazioni, altre proprietà che li riguardano. Avrete modo di studiare tutto ciò nei prossimi anni. Per ora può bastare quanto abbiamo visto.

2.11 - Esperimento: "La forza-peso".

È noto a tutti che ogni corpo sulla superficie terrestre è soggetto ad una forza diretta verticalmente verso il basso. Al momento non sappiamo qual è l'origine di tale forza, che chiamiamo "forza-peso" o anche "peso". Per saperne di più sulla forza-peso appendiamo alla nostra molla campione (tarata in nan) un bullone; la molla è tenuta in posizione verticale mediante un apposito sostegno. Il bullone viene agganciato ad un estremo della molla-dinamometro mediante un pezzo di spago. Mettete un foglio di carta attaccato ad un corpo rigido (una riga graduata) dietro la molla al fine di segnarvi le posizioni del suo estremo libero. Annotate tale posizione quando la molla è scarica e quando è caricata con uno, due, tre,... bulloni (non esagerate nel caricare la molla!). Grazie alla scala costruita nell'esperimento 2.5 siete in grado di stabilire quanto vale il peso di uno, due, tre,... bulloni (considerate trascurabile il peso dei pezzetti di spago necessari per agganciare i bulloni alla molla). Potreste dire che i bulloni siano circa uguali tra di loro? Con una bilancia misurate la massa dei bulloni che avete adoperato; così potete confrontare i bulloni tra loro e quindi esprimere la massa dei gruppi di due, tre,... bulloni adoperati precedentemente. Calcolate il rapporto peso/massa per i casi di uno, due, tre, ... bulloni. Potete anche fare un grafico del peso in funzione della massa. Che cosa potete concludere? È costante il rapporto peso/massa? Pensate che il peso e la massa di uno stesso oggetto siano la stessa grandezza? Perché?

2.12. Il campo gravitazionale terrestre.

Dall'esperimento precedente avete ricavato che il rapporto tra il peso e la massa di un oggetto posto alla superficie terrestre è costante, cioè non dipende dall'oggetto stesso. Perciò, se indichiamo con m la massa dell'oggetto e con P il suo peso in modulo, sarà: $P/m = g$, ove g è la costante di proporzionalità. L'unità di misura di g sarà il man/g oppure il man/kg. In base a quanto trovato nel precedente esperimento, esprimete il valore del modulo g del campo gravita-

zionale: con questo nome chiamiamo la costante g.
Dalla relazione: $\frac{P}{m} = g$ ne segue che: $P = mg$. Ma il peso è una grandezza vettoriale (è una forza!). Dunque anche il campo gravitazionale sarà un vettore, con la stessa direzione e lo stesso verso della forza-peso; cioè è diretto verticalmente verso il basso. Pertanto riscriviamo l'equazione di sopra così: $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$. Il secondo membro di questa uguaglianza è un vettore dato dal prodotto dello scalare m con il vettore $\vec{g}$ (vedi l'es. 22 di questo capitolo riguardo al prodotto di un numero, o di uno scalare, con un vettore).
Il vettore campo gravitazionale $\vec{g}$, per come è stato definito, non dipende dal particolare oggetto di cui è stata misurata la massa e del quale è stato trovato il peso; il vettore $\vec{g}$ esprime una caratteristica dell' "oggetto" alla superficie del quale sono collocati i vari altri oggetti, cioè $\vec{g}$ è una caratteristica della Terra, del nostro pianeta. Ecco perché, più propriamente, si chiama $\vec{g}$ col nome di campo gravitazionale terrestre. In qualunque punto della superficie terrestre eseguiamo la misura di $\vec{g}$, usando anche oggetti diversi appesi sempre alla nostra molla campione, troveremo sempre lo stesso valore di $|\vec{g}|$ da voi misurato. La direzione ed il verso di $\vec{g}$ cambiano invece a seconda del punto A, B, C, D, E, ... scelto sulla superficie terrestre; in ogni caso $\vec{g}$ è diretto verso il centro O della Terra. Se invece di riferirci alla Terra, vogliamo determinare il campo gravitazionale sulla Luna, c'è da aspettarsi che valgano considerazioni analoghe per la direzione ed il

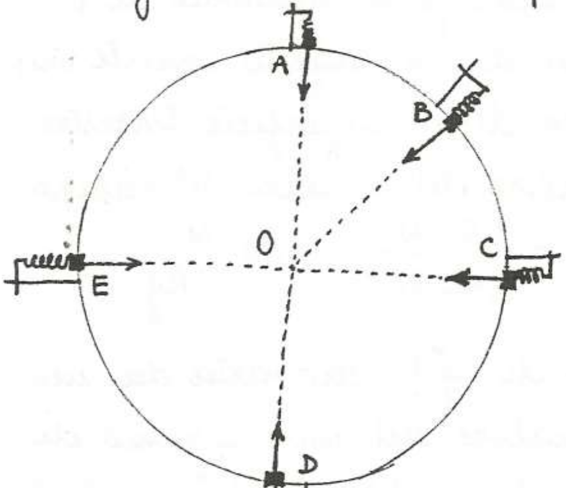


fig. 2.13

verso di $\vec{g}$; il modulo di $\vec{g}$ è invece notevolmente inferiore sulla Luna rispetto al valore terrestre. Si è misurato il campo gravitazione lunare $\vec{g}_L$, trovando che, rispetto al campo terrestre $\vec{g}_T$, risulta circa: $|\vec{g}_L| = \frac{1}{6} \cdot |\vec{g}_T|$. Pure diversi in modulo saranno i campi gravitazionali sugli altri corpi celesti.
Resta aperto un problema. La misura di $g = |\vec{g}_T|$ da voi fatta è espressa in mau/kg. L'unità di misura per le forze, il mau, è legata alla particolare molla campione scelta. Usando un'altra molla come molla campione, avremmo un'altra unità di misura per le forze non confrontabile facilmente con il mau, a meno che non avessimo a disposizione entrambe le molle campione. E' necessario quindi definire una unità per le forze che sia facilmente riproducibile e universalmente accettata.

2.13 - Una nuova unità di misura per le forze.

Diamo la seguente definizione. Chiamiamo forza unitaria di 1 newton (simbolo: N) la forza-peso di un oggetto avente massa 0,102 kg e posto in prossimità della superficie terrestre.
Da questa definizione si ricava il valore del modulo del campo gravitazionale terrestre: $|\vec{g}| = \frac{|\vec{P}|}{m} = \frac{1,00\ N}{0,102\ kg} = 9,80\ N/kg$.

Questo è in realtà un valore medio di $|\vec{g}|$, che varia da un minimo di circa $9,78\ N/kg$ all'equatore ad un massimo di circa $9,83\ N/kg$ ai poli; alla nostra latitudine $|\vec{g}|$ vale circa $9,81\ N/kg$. Il perchè di queste seppur lievi differenze non è per ora spiegabile; lo sarà quando conoscerete qualcosa in più sulla gravitazione.
Detto questo, stabilite ora quanti mau occorrono per 1 N e viceversa.

Esercizi e problemi (relativi al Cap. 2)

M_1		M_2	
Δl (cm)	F (man)	Δl (cm)	F (man)
0,2	0,8	0,4	2,5
0,5	2,2	0,6	3,6
0,8	3,5	0,8	4,6
1,5	6,4	1,0	6,1
2,5	10,8	1,5	9,2

1 - Sono date due molle M_1 e M_2 cui si riferiscono le tabelle a lato.

a) Traccia su un unico diagramma i due grafici relativi alle tabelle.

b) Determina, con le loro incertezze, le costanti elastiche K_1 e K_2 delle due molle, sia usando il grafico, sia in altro modo.

c) Determina l'allungamento delle due molle in parallelo nel caso che il loro sistema sia soggetto ad una forza di 5,0 man.

d) Stessa questione del punto c) con M_1 e M_2 collegate in serie.

2 - Stabilisci in due diversi modi se le molle M_1 e M_2 dell'es. precedente sono o no uguali.

3 - Relativamente all'esperimento del paragrafo 2.3 "Come misurare le forze", pensa di rifare l'esperienza usando degli elastici, anziché le molle uguali D. Lasciando inalterata la molla campione C e supponendo gli elastici tutti uguali, pensi si potrebbe giungere alle stesse conclusioni trovate con le molle? Preparati a discutere la questione in classe.

4 - Son date tre molle M_1, M_2, M_3 con rispettive costanti: $K_1 = 2,5$ man/cm; $K_2 = 3,0$ man/cm; $K_3 = 5,0$ man/cm - Determina la costante elastica di una molla equivalente al sistema:

a) avente M_1 e M_2 in parallelo ed M_3 ad esse in serie;

b) avente M_1 in serie con M_2 ed M_3 in parallelo;

c) avente M_1, M_2 e M_3 in serie tutte e tre;

d) avente M_1, M_2 e M_3 in parallelo tutte e tre.

5 - Quale tra i sistemi a), b), c) e d) del precedente problema conviene scegliere al fine di ottenere un fissato allungamento del sistema con la minima forza applicata? Perché?

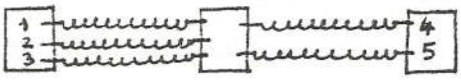
6 - 

Dato il sistema di molle M_1, M_2 e M_3 a fianco rappresentato, noto che: $K_1 = 2,0\ ^{mau}/_{cm}$ e $K_3 = 7,5\ ^{mau}/_{cm}$, determina il valore della costante elastica K_2 di M_2 in modo che risulti K_2 uguale alla costante K del sistema.

7. - Sempre riferendoti alla figura e agli stessi valori di K_1 e di K_3 dell'esercizio precedente, determina il valore di K_2 affinché, applicando ad M_3 una forza $F_3 = 12,0$ mau, il sistema si allunghi di 2,4 cm. Trova successivamente gli allungamenti e le forze agenti per ciascuna delle tre molle.

8. - Hai a disposizione alcune molle uguali, aventi costante (uguale per tutte) di $6,0\ ^{mau}/_{cm}$ - Determina il loro numero ed il tipo di collegamento tra di esse, sapendo che formano un sistema di costante $2,0\ ^{mau}/_{cm}$ -

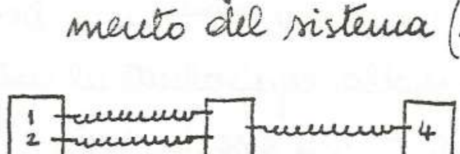
9. - Stesso quesito del precedente problema, sapendo però che le molle uguali (ciascuna di costante $6,0\ ^{mau}/_{cm}$) formano un sistema di costante elastica pari a $4,0\ ^{mau}/_{cm}$ -

10. - 

Dato il sistema di 5 molle uguali di costante tutte uguali a K_1, trova:

a) la costante elastica del sistema (vd figura);

b) l'allungamento di ciascuna molla, detto Δl l'allungamento del sistema (esprimete $\Delta l_1, \Delta l_2, \ldots$ solo in funzione di Δl).

11. - 

Studia se il sistema in figura, costituito dalle stesse 5 molle uguali di costante K_1 del problema precedente, è equivalente al sistema del problema 10 - Sapresti dare una motivazione di tipo fisico al tuo risultato?

12. - Per ciascuno dei seguenti gruppi di forze applicate ad uno stesso punto, determina la forza risultante (cioè la loro somma) e la forza equilibrante (cioè l'opposta della risultante):

a) $\vec{F}_1 = 2,0$ mau, verso N ; $\vec{F}_2 = 2,0$ mau, 45° da N verso E ;

b) $\vec{F}_1 = 2{,}5$ mau, verso S ; $\vec{F}_2 = 2{,}5$ mau, 60° da S verso O ;

c) $\vec{F}_1 = 3{,}0$ mau, verso O ; $\vec{F}_2 = 3{,}0$ mau, 30° da N verso E ;

d) $\vec{F}_1 = 2{,}0$ mau, 32° da N verso E ; $\vec{F}_2 = 4{,}0$ mau, 28° da N verso O ;

e) $\vec{F}_1 = 2{,}5$ mau, 27° da S verso O ; $\vec{F}_2 = 3{,}5$ mau, 63° da E verso N ;

f) $\vec{F}_1 = 2{,}0$ mau, 27° da S verso O ; $\vec{F}_2 = 2{,}0$ mau, 27° da E verso S ;

g) $\vec{F}_1 = 3{,}0$ mau, 19° da N verso O ; $\vec{F}_2 = 3{,}0$ mau, 19° da S verso E.

13 - Date le forze: $\vec{F}_1 = 2{,}4$ mau, 30° da N verso E ; $\vec{F}_2 = 2{,}0$ mau, 40° da N verso O ; $\vec{F}_3 = 3{,}0$ mau, 45° da O verso S , applicate tutte ad uno stesso punto, determina graficamente:

a) $(\vec{F}_1 + \vec{F}_2) + \vec{F}_3$;

b) $\vec{F}_1 + (\vec{F}_2 + \vec{F}_3)$;

c) $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$;

d) $\vec{F}_2 - \vec{F}_1$;

e) $\vec{F}_1 + (\vec{F}_2 - \vec{F}_3)$;

f) $(\vec{F}_1 + \vec{F}_2) - \vec{F}_3$.

14 - Che cosa ti suggeriscono i risultati del problema 13?

15 - E' più facile dimostrare che vale una certa proprietà di una certa operazione o è più facile dimostrare che non vale?

16 - Analogamente a quanto visto nell'esperimento 2.9, tre molle uguali applicate allo stesso punto P sono in equilibrio (vd fig. 2.10 - b)). Alla molla C è stata applicata una forza di 4,0 mau ; $\alpha = 20°$; $\beta = 30°$. Determina $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$.

17 - Sempre in relazione all'esp. 2.9 ed alla fig. 2.10 - b), si sa che il sistema, in equilibrio, ha le caratteristiche: $|\vec{F}_C| = 4{,}0$ mau ; $\beta = 60°$; $|\vec{F}_B| = 2{,}0$ mau. Determina $\vec{F}_A$ e α.

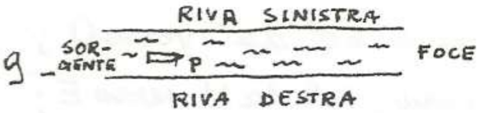
18 - Determina quali tra le seguenti relazioni sono vere e quali sono false, motivando la tua risposta:

a) $|\vec{F}_1 + \vec{F}_2|$ può essere uguale a $|\vec{F}_1| + |\vec{F}_2|$;

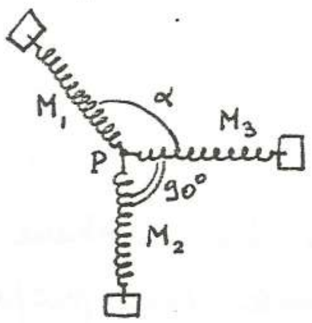
b) $|\vec{F}_1 - \vec{F}_2| = |\vec{F}_1| - |\vec{F}_2|$;

c) $|\vec{F}_1|^2 + |\vec{F}_2|^2 = |\vec{F}_1 + \vec{F}_2|^2$ solo se $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$;

d) $|\vec{F}_1 + F_2| = |\vec{F}_2 + \vec{F}_1|$.

19 - 

Una barca galleggia sulle acque di un canale. Alla prua P è attaccata una fune tenuta all'altro capo da un uomo sulla riva sinistra che esercita una forza: $\vec{F}_1 = 500$ man, $40°$ dalla foce verso la riva sinistra; sempre in P è attaccata una seconda fune mediante la quale un altro uomo esercita dalla riva destra una forza: $\vec{F}_2 = 400$ man, $30°$ dalla foce verso la riva destra. Calcola quale forza dovrà applicare un ragazzo, posto su una delle due rive, mediante una fune perpendicolare alle rive stesse, affinché la forza risultante agente sulla barca sia parallela alle rive.

20 - 

Tre molle M_1, M_2 e M_3, unite insieme nell'estremo comune P, sono tese ed in equilibrio secondo la disposizione in figura. Si sa che: $\Delta l_3 = 10{,}0$ cm ; $K_3 = K_2 = 1{,}0 \frac{\text{man}}{\text{cm}}$; $K_1 = 2{,}0 \frac{\text{man}}{\text{cm}}$. Determina la forza agente e l'allungamento per M_1 nel caso che: a) $\alpha = 135°$; b) $\alpha = 120°$.

21 - Sono dati i vettori non applicati allo stesso punto:
$\vec{a} = 3{,}0$ U, $15°$ da N verso O ; $\vec{b} = 2{,}0$ U, $36°$ da E verso N ; $\vec{c} = 4{,}0$ U, $20°$ da E verso S . Costruisci graficamente i seguenti vettori, determinando per ognuno modulo, direzione e verso:

a) $\vec{d} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$;
b) $\vec{e} = \vec{a} + \vec{b} - \vec{c}$;
c) $\vec{f} = \vec{a} - (\vec{b} + \vec{c})$;
d) $\vec{g} = -\vec{a} - \vec{b} - \vec{c}$.

N.B. - Con U si intende l'unità di misura per il modulo.

22 - Rappresenta il vettore: $\vec{v} = 4{,}0$ U, $27°$ da S verso O (con U unità di misura per il modulo). Costruisci anche $-\vec{v}$. Sapresti rappresentare i vettori: $2\vec{v}$, $3\vec{v}$, $\frac{1}{2}\vec{v}$, $\frac{1}{4}\vec{v}$? E i vettori: $-2\vec{v}$, $-3\vec{v}$, $-\frac{1}{2}\vec{v}$, $-\frac{1}{4}\vec{v}$?

23 - Dati i vettori, non applicati nello stesso punto, : $\vec{x} = 2{,}0\ U$, $52°$ da O verso N ; $\vec{y} = 3{,}0\ U$, $128°$ da E verso N, determina:

a) $\vec{x} + \vec{y}$;

b) $\vec{x} - \vec{y}$;

c) $3\vec{x} - 2\vec{y}$ (vd es. 22) ;

d) $\frac{1}{2}\vec{x} + \frac{1}{3}\vec{y}$ (vd es. 22) .

24 - Costruisci quattro vettori la cui somma sia uguale al vettore nullo (cioè al vettore avente modulo nullo).

25 - Rappresenta un vettore qualunque $\vec{s}$. Quante coppie di vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$ puoi rappresentare affinché: $\vec{s} = \vec{a} + \vec{b}$?

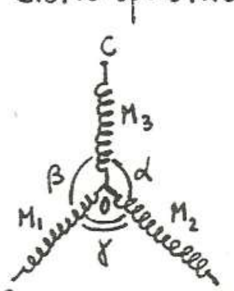
26 - Stessa questione del problema 25, supponendo ora : $\vec{a} \perp \vec{b}$.

27 - Rappresenta un vettore qualunque $\vec{v}$ e fissa nel piano due direzioni qualunque, mediante due rette r, s non parallele tra loro, né parallele a $\vec{v}$. Quante coppie di vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$ puoi rappresentare affinché : $\vec{v} = \vec{a} + \vec{b}$. I vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$ trovati si dicono i componenti di $\vec{v}$ lungo le rette, rispettivamente, r e s ; l'operazione eseguita si chiama scomposizione del vettore $\vec{v}$ lungo le rette (o le direzioni) r e s .

28 - Per ciascuno dei vettori dell'esercizio 12 - parti : a), b) e c) determina i componenti lungo le direzioni : S-N e O-E (vd es. 27) -

29 - Stesso quesito del problema 28 per i vettori dell'esercizio 13 -

30 -



E' dato il sistema di molle M_1, M_2 e M_3 in figura. Le molle sono in trazione ed in equilibrio. Le loro costanti sono rispettivamente : $K_1 = K_2 = 1{,}0\ \text{man}/\text{cm}$; $K_3 = 2{,}0\ \text{man}/\text{cm}$; gli allungamenti di M_1 e M_2 sono dati da : $\Delta l_1 = \Delta l_2 = 2{,}0\ \text{cm}$; le ampiezze in figura sono: $\alpha = \beta = 135°$. Determina l'allungamento di M_3 e le forze agenti su ciascuna molla, facendone anche il grafico. diagramma

31 - Rifai il problema 30 con gli stessi dati, tranne : $\alpha = \beta = 120°$.

32 - Determina il tuo peso in man e in N . Cambierebbe il valore del tuo peso se tu fossi sulla Luna ? E se tu ti tro-

vassi lontano da qualunque corpo celeste (cioè nello spazio interstellare)? Rispondi alle stesse domande sostituendo il peso con la massa.

33. Riprendi i risultati dell'esperimento 2.11 e determina gli eventuali cambiamenti che si avrebbero rifacendo l'esperienza sulla superficie lunare.

34. Esprimi il campo gravitazionale lunare in man/kg ed in N/kg.

35. Determina la tua massa ed il tuo peso al Polo Nord ed in Venezuela.

36. Le più diffuse bilance da cucina sono a molla. Illustra schematicamente il loro funzionamento e spiega se esse forniscono la massa o il peso degli oggetti. Spiega anche quale valore troveresti usando una di tali bilance relativamente a un litro di latte: sulla Terra; sulla Luna; nello spazio interstellare. Stesso problema usando una bilancia a piatti tipo quella usata nelle esperienze del corso I.P.S.

37. Nell'esperimento 2.11 avresti potuto usare un elastico al posto della molla? Motiva la tua risposta.

3. L' ENERGIA

3.1. Alcune premesse

Nel Cap. 1 abbiamo considerato alcune sorgenti di calore, come ad es., il riscaldatore dell'esperimento 1.6. Ci sono tuttavia delle situazioni fisiche in cui compare calore in modi diversi da quelli visti. Ad esempio, se strofiniamo le mani l'una contro l'altra, osserviamo che sicuramente si è sviluppato del calore, dissipato nell'ambiente. In questo capitolo studieremo appunto il calore sviluppato per attrito, per giungere poi sperimentalmente al fondamentale concetto di energia.

3.2. Dispositivo per misurare il calore sviluppato per attrito

Per rendere possibile lo studio di cui si è detto è necessario aver a disposizione una macchina che ci consenta di misurare il calore che si viene a produrre (e a dissipare all'esterno) per attrito. Tale macchina, ideata e costruita dal Prof. Francesco Dalla Valle con la collaborazione dell'aiutante tecnico Enzo Cortesi, è illustrata nelle figure seguenti: 3.1, 3.2 e 3.3. Il dispositivo di Dalla Valle (brevemente DDV) contiene un dischetto di rame (l'elemento sensibile dello strumento) sul quale è avvolto il filo che regge le masse in caduta. Il dischetto di rame ruota, allo scendere delle masse in caduta, compresso tra dischetti di legno, sviluppando così attrito. Ne consegue un aumento di temperatura dell'elemento sensibile del dispositivo, aumento registrabile da termometro A (preciso al decimo di grado centigrado) delle figg. 3.1, 3.2 e 3.3. Affinché il termometro A abbia il miglior contatto termico coll'elemento sensibile del DDV, viene cosparso il bulbo di A con una miscela a base di olio e polvere di rame. Il termometro B di fig. 3.1 serve invece a registrare la temperatura-ambiente. La manovella D in figg. 3.1 e 3.3 consente di riavvolgere il filo dopo ogni caduta; il

Dispositivo per misurare il calore sviluppato per attrito

A - Termometro per misure
B - Termometro (temp. amb.)
C - Sostegni
D - Avvolgitore a manovella
E - Dischetti di legno
F - Dischetto di rame
G - Freno
H - Supporto termometro
I - Masse in caduta
L - Raccogli-masse
M - Morsetti
N - Barra metallica per pre-raffreddare
O - Contenitore ghiaccio

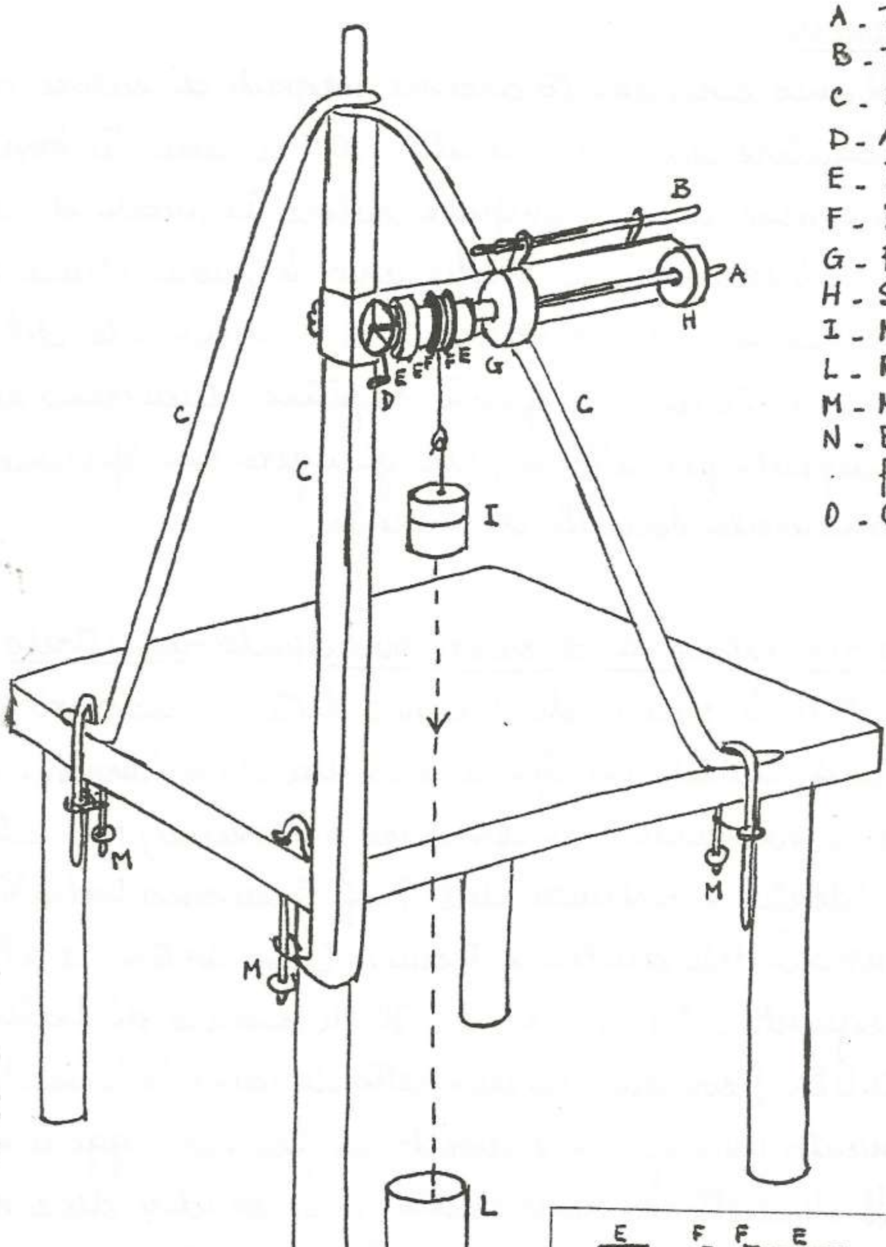


fig. 3.1

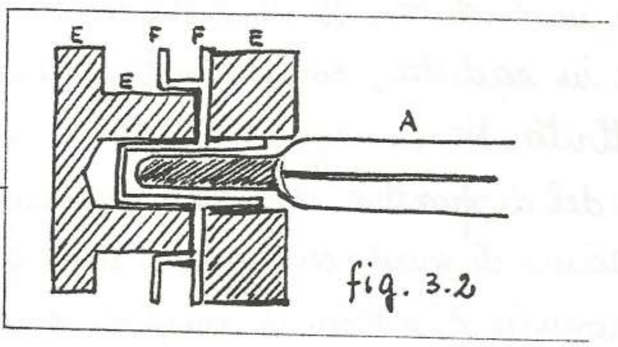


fig. 3.2

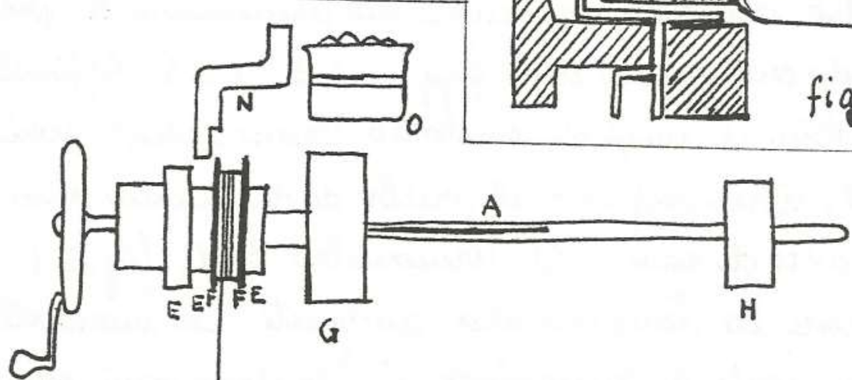


fig. 3.3

freno G consente di regolare la velocità di caduta delle masse. Come si era osservato nel paragrafo 1.6, quando si ha svilup-po di calore conviene lavorare attorno alla temperatura-ambien-te; cioè si parte pre-raffreddando il sistema cosicchè il calore che il sistema assorbe dall'ambiente nella fase iniziale compensi quello che il sistema dovrà dare all'ambiente nella fase finale del-l'esperienza. Per questa operazione di pre-raffreddamento si usa la barra N (fig. 3.3) conduttrice di calore, che ad una estre-mità viene messa a contatto coll'elemento sensibile del DDV e con l'altra estremità viene immersa nel contenitore O riempito di ghiaccio. Quando la temperatura del sistema (elemento sensi-bile) è inferiore alla temperatura-ambiente di quel tanto di cui la supererà, viene subito interrotto il pre-raffreddamento. Per concludere questa descrizione del DDV, bisogna dire che l'e-lemento sensibile dell'apparecchio ha capacità termica C_T mol-to piccola, il cui valore è noto e vi verrà fornito primo di ini-ziare gli esperimenti. Misurando quindi la variazione di tempe-ratura Δt prodotta, si può facilmente calcolare il calore Q sviluppato per attrito mediante la nota relazione: $Q = C_T \cdot \Delta t$.

3.3. Esperimento: "Masse in caduta e calore sviluppato per attrito".
Appendiamo un oggetto I (fig. 3.1) all'estremità del filo del DDV. Dopo aver pre-raffreddato il sistema (può andar bene (1,0 ÷ 1,5) °C sotto la temperatura-ambiente), lasciamo scendere molto len-tamente l'oggetto I, aiutandoci opportunamente col freno G, fin-chè I non è giunto a toccare il fondo del recipiente L (fig. 3.1). Prima di iniziare conviene prendere nota dell'altezza h da cui I è partito (rispetto al fondo del recipiente, s'intende) e della massa di I. Appena conclusa la caduta occorre registrare la temperatu-ra finale, per poi poter calcolare il calore sviluppato. Da nota-re che, per fare questa registrazione, è necessario attendere qualche

istante affinché si crei una situazione di equilibrio termico del l'elemento sensibile del DDV insieme al termometro A. Possiamo ripetere due/tre volte la stessa prova (cioè sempre con stessa altezza h e stessa massa in discesa, m) e considerare il valor medio di Q.
Ora ripetiamo l'esperienza, cambiando m, ma lasciando h inalterata. Anche qui possiamo rifare due/tre volte ogni prova e prendere per Q il suo valore medio. Calcoliamo quindi, per ogni prova, il valore di: $Q/_m$ (J/kg) e di: $Q/_{mh}$ $\left(\frac{J}{kg\cdot m}\right)$. Che cosa concludereste? Potete anche fare un grafico di Q in funzione di m.
Ripetiamo infine l'esperimento lasciando invariata la massa m e cambiando l'altezza h, sempre ripetendo ogni prova come sopra.
Calcoliamo ora: $Q/_h$ $(J/_m)$ e: $Q/_{mh}$ $\left(\frac{J}{kg\cdot m}\right)$ per ognuna delle prove fatte. Che cosa potete dedurre dai risultati trovati?
Che legame c'è tra il calore Q sviluppato per attrito ed il prodotto mh? Potete anche fare un grafico di Q in funzione di h.

3.4 - <u>Alcune osservazioni sulle costanti γ e $|\vec{g}|$</u>.

Dal precedente esperimento abbiamo potuto concludere che il rapporto $\frac{Q}{mh}$ è costante; non dipende cioè né da Q, né da m, né da h. Posto: $\gamma = \frac{Q}{mh}$ (cioè: $Q = \gamma \cdot mh$) si è potuto esprimere il valore di questa costante γ.
Confrontate ora il valore trovato di γ con quello trovato per il campo gravitazionale terrestre $|\vec{g}|$. Che cosa ne dedurreste? Pensate che la costante γ sia legata al tipo di oggetto in caduta? E $|\vec{g}|$ era dipendente dal particolare oggetto di cui si misurava massa e peso?
Se vi risulta che $|\vec{g}|$ è numericamente eguale a γ, siccome entrambe le costanti risultano svincolate dall'oggetto e, anzi, in entrambe le situazioni – allungamento della molla in posizione verticale e discesa in caduta dell'oggetto – la causa pare sia sempre la forza con cui l'oggetto è attratto lungo la verti=

NB Il ragionamento del § 3.4 può essere evitato introducendo il $N = \frac{J}{m}$ più avanti, quando si parla di lavoro di una forza (vedi Dalla Valle)

cale verso il centro della Terra, sembra del tutto ragionevole pensare che $|\vec{g}|$ e γ siano uguali non solo numericamente, ma anche come unità di misura. Dunque:

$|\vec{g}| = \gamma \Rightarrow 9{,}8\ \frac{N}{kg} = 9{,}8\ \frac{J}{kg \cdot m}$. Allora ne consegue: $N = \frac{J}{m}$,

ossia: $J = N \cdot m$. Queste ultime uguaglianze esprimono il legame tra le unità di misura del calore (J), delle forze (N) e delle lunghezze (m).

3.5 - Esperimento: "Masse in caduta lungo un piano inclinato".

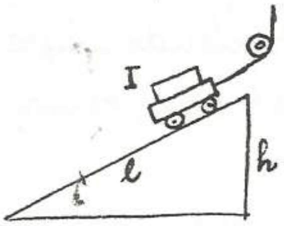


fig. 3.4

Ripetiamo l'esperimento 3.3 facendo scendere l'oggetto I, questa volta montato su un carrello, lungo un piano inclinato di lunghezza l e di altezza h. Anche qui eseguiamo varie prove utilizzando diversi valori della massa m e dell'altezza h. Calcoliamo per ogni prova il valore del rapporto: $\frac{Q}{mh}$. Che cosa se ne deduce?

E' importante, anche in questa esperienza, regolare il freno in modo che il carrello scenda con velocità molto bassa (quasi nulla).

3.6 - Calore associato ad una massa ad una certa altezza.

Da quanto appena trovato e osservato, risulta che se noi portiamo un oggetto I di massa m ad una certa altezza h dal suolo o da un piano di riferimento da noi stabilito, possiamo associare a tale massa una ben precisa quantità di calore Q: quella che si sviluppa per attrito lasciando scendere molto lentamente la massa lungo la verticale o lungo un piano inclinato. Tale quantità di calore si sa che è data da: $Q = \gamma \cdot mh = |\vec{g}| \cdot mh$ ed è anche misurabile con il DDV.

Per quanto riguarda la lentezza della caduta, c'è da aggiungere che basta che sia lenta la caduta anche solo nell'ultimo tratto, prima cioè che la massa raggiunga il suolo o il piano di riferimento: ciò è confermato sperimentalmente.

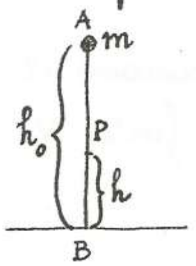


fig. 3.5

Consideriamo ora l'oggetto di massa m inizialmente collocato nel punto A, a distanza h_0 dal piano di riferimento orizzontale (o al suolo), con: $h_0 = \overline{AB}$.
Il calore associato alla massa m collocata in A è dato da: $Q_0 = \gamma m h_0$. Chiamiamo P un generico punto sulla verticale AB, perpendicolare al piano di riferimento (vd sempre fig. 3.5). Se la massa m, partendo sempre in A, giungesse infine in P, il calore associato ad essa, relativamente al tratto [AP], sarebbe dato da:

$Q = \gamma m (h_0 - h)$, cioè da: $Q = \gamma m h_0 - \gamma m h$.

Ma, poiché: $Q_0 = \gamma m h_0$, sarà anche:

$Q = Q_0 - \gamma m h$, cioè: $Q_0 = Q + \gamma m h$ (1) .

Da quest'ultima equazione segue che la somma tra il calore sviluppato per attrito dalla massa m durante la caduta lungo il tratto [AP] e il calore che si dovrà sviluppare (e quindi non ancora sviluppato) lungo il restante tratto [PB], tale somma è costante ed è uguale alla quantità di calore Q_0 che si sviluppa lungo tutto il tratto [AB].

3.7. Esperimento: "Masse in caduta vincolate ad una molla".

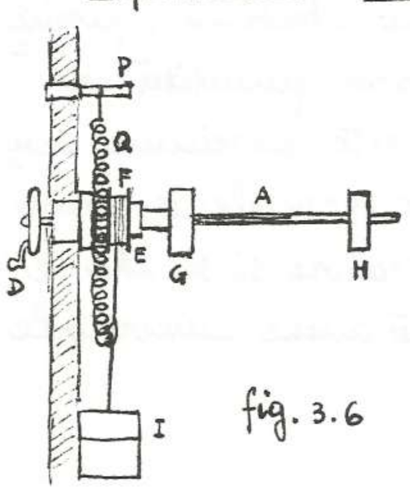


fig. 3.6

Prepariamo il DDV come già fatto nel precedente esperimento con una variante: la massa I, durante la sua discesa, allungherà la molla Q. Quest'ultima, vincolata al sostegno P, ha il suo estremo libero in condizioni di riposo prima dell'inizio dell'esperimento; lo stesso estremo è agganciato al punto in cui I si connette al gancio del filo di sostegno (fig. 3.6).

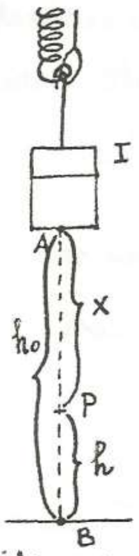


fig. 3.7

Conviene prendere le misure delle lunghezze (altezza rispetto al piano di riferimento, allungamento della molla) a partire dalla parte inferiore di I e non dal punto di connessione molla-gancio-filo. Allentando il freno G, la massa I comincia a scendere lentamente e si ha contemporaneamente: lo sviluppo di calore nell'elemento sensibile del DDV e l'allungamento della molla. La massa discende lungo la verticale AB partendo da A, ma, durante la discesa, si allunga la molla a tal punto che si origina una forza di richiamo che tende ad opporsi alla discesa della massa. In un ben preciso punto P di [AB] (vd fig. 3.7) la massa finisce per essere arrestata dalla molla. Posto: $\overline{AB} = h_0$; $\overline{AP} = x$ (allungamento della molla) ; $\overline{PB} = h_0 - x = h$, chiamiamo Q_x la quantità di calore sviluppato per attrito durante il tratto [AP] percorso dalla massa m. Q_x si determina sperimentalmente nel solito modo: $Q_x = C_T \cdot \Delta t$, ove C_T è la capacità termica dell'elemento sensibile e Δt il suo aumento di temperatura. Il calcolo teorico del calore sviluppato Q, senza far uso della molla, è dato da: $Q = \gamma m x$. Calcolate Q_x e Q. Ne risulta che $Q_x < Q$. Ripetiamo l'esperienza con valori diversi della massa m, regolando il sistema in modo da ottenere lo stesso allungamento x. Poi eseguiamo altre prove sempre con diverse masse, usando pure differenti allungamenti. Risulterà sempre che $Q_x < Q$. Viene spontaneo quindi valutare la differenza: $Q - Q_x = \gamma m x - Q_x = \gamma m x - C_T \cdot \Delta t$. Calcolate il valore $Q - Q_x$ per ognuna delle esperienze effettuate. Che cosa se ne deduce? Rimane costante il valore di $Q - Q_x$ o varia al variare di x? Dopo aver calcolato anche il valore di x^2 per ogni prova effettuata, calcolate pure il valore del rapporto: $\dfrac{Q - Q_x}{x^2}$. Che cosa potete concludere?

3.8 - <u>Considerazioni sul calore sviluppato in presenza della molla.</u>
Dal precedente esperimento abbiamo dedotto che risulta costante il rapporto : $Q - Q_x / x^2$. Cioè, indicata con c la costante, sarà:

$$\frac{Q-Q_x}{x^2} = c \quad ; \quad Q - Q_x = c\,x^2$$

. Ma $Q = \gamma m x = \gamma m (h_0 - h) = \gamma m h_0 - \gamma m h$. Pertanto la precedente equazione si scriverà così:

$\gamma m h_0 - \gamma m h - Q_x = c x^2$, oppure, posto : $Q_0 = \gamma m h_0$, così :

$$Q_0 = \gamma m h + Q_x + c x^2 \qquad (2)$$

.

L'equazione (2) ricorda la (1) del paragrafo 3.5 . Tuttavia in (2) figura in più, a secondo membro, l'addendo: $c x^2$. Questo termine fornisce quindi una grandezza che dipende dal l'allungamento della molla x , ma anche dalla costante c trovata . A questo proposito ci si può chiedere se la c è una co stante universale o se è relativa alla particolare molla adoperata. Si potrebbe rifare l'esperimento 3.7 usando un'altra molla, di versa dalla precedente . Si troverebbe anche un differente valore di c . Quindi c è proprio una costante legata alla particolare molla adoperata . Ma la molla usata nell'esperimento 3.7 è senz'altro nota a noi tutti . Di essa abbiamo trovato la costan te: K di elasticità (esperimento 2.3) . Che legame ci sarà tra le costanti c e K ? È chiaro che, per poterle confrontare, bi sogna accertarsi prima di tutto che siano due grandezze omoge nee , cioè che siano esprimibili nella stessa unità di misura . Da come è stata introdotta, c si esprime in: $\frac{J}{m^2}$, cioè in: $\frac{N}{m}$ (vd paragrafo 3.4) . Per K invece avevamo usato l'unità man / cm ; tuttavia è sempre possibile esprimere K in $\frac{N}{m}$ (vd paragrafo 2.13) . Dunque c e K sono omogenee. Sono anche uguali (ovviamente per la stessa molla) ? Se c è diverso da K , pensate che ci sia un semplice legame tra c e K ?
Ritorniamo all'equazione (2) scritta sopra . Gli altri due adden

di a secondo membro rappresentano rispettivamente:

$\gamma m h$: la quantità di calore che si svilupperebbe se la massa m scendesse da P a B (fig. 3.7) con velocità molto piccola, senza la presenza della molla;

Q_x : la quantità di calore sviluppata per attrito durante la discesa da A a P della massa m, in presenza della molla.

La (2) quindi ci dice che rimane costante (vale Q_0) la somma del calore sviluppato durante la discesa della massa in presenza della molla con il calore che si svilupperebbe nel restante tratto senza la molla e con la grandezza relativa al tipo di molla ed al suo allungamento ($c x^2$). Ovviamente tale risultato vale se la discesa avviene ancora una volta con velocità molto piccola.

3.9. Esperimento: "Masse in caduta con velocità non trascurabili".

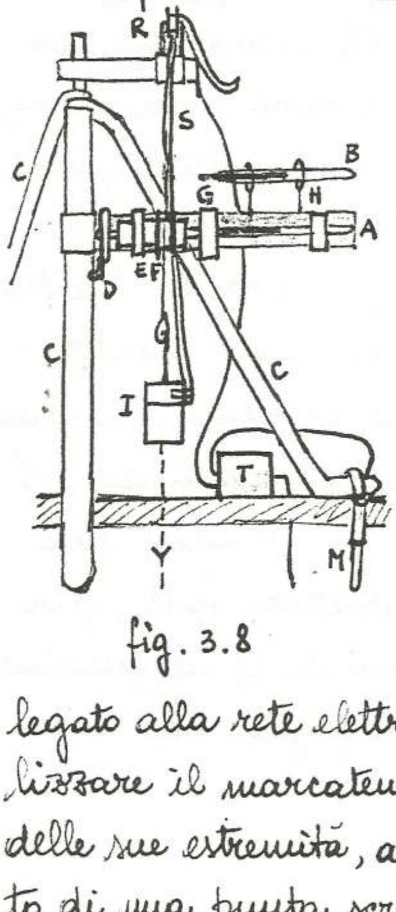


fig. 3.8

Negli esperimenti finora effettuati abbiamo sempre lavorato con masse in discesa con velocità così piccole da poter essere trascurate. Vogliamo invece studiare ora che cosa accade quando tali velocità risultano apprezzabili.

Allo scopo riprendiamo il DDV nell'assetto dell'esperimento 3.3 con una variante: in cima al sostegno centrale C è stato inserito il marcatempo R munito di nastro scorrevole S; dal trasformatore T, collegato alla rete elettrica, partono due fili che rendono possibile utilizzare il marcatempo (vd fig. 3.8). Il nastro S è fissato, con una delle sue estremità, all'oggetto I in caduta. Il marcatempo è dotato di una punta scrivente che produce una piccola macchia di inchiostro ogni centesimo di secondo sul nastro S. La massa I, cadendo, trascina il nastro S sul quale si imprimono via via i puntini

prodotti dalla punta del marcatempo; la distanza tra un puntino ed il successivo fornisce lo spostamento percorso dalla massa in caduta nel tempo trascorso tra le incisioni dei due puntini. Proprio il rapporto tra tale spostamento ed il tempo impiegato per compierlo ci dà la velocità (media) dell'oggetto in moto. Dunque, detta v la velocità (media), s lo spostamento e τ il tempo, sarà: $v = \frac{s}{\tau}$. Misureremo v in m/s (metri al secondo). Noi misureremo in particolare la velocità finale dell'oggetto I, prendendo in esame solo gli ultimi due puntini del nastro, cioè l'intervallo di tempo che precede immediatamente l'impatto di I col recipiente L (vd fig. 3.1).
Ripetiamo diverse volte l'esperienza registrando al solito: altezza h; massa m in caduta; temperatura iniziale e finale; temperatura-ambiente. E, in più, la velocità finale dell'oggetto I.
È chiaro che la velocità finale non è prevedibile e dipende da come avremo allentato il freno durante la discesa. Già da poche esperienze risulterà che tanto maggiore è la velocità finale, tanto minore è il calore sviluppato per attrito.
Facciamo altre prove variando la massa m e, se si vuole, l'altezza h; per ogni coppia di valori di m e h eseguiamo quattro-cinque esperienze. Per ogni esperienza fatta calcoliamo il calore sviluppato: $Q = C_T \cdot \Delta t$ ed il quadrato della velocità finale: v_f^2.
Riuscite a vedere un legame tra Q e v_f^2? Per rendere più accessibile la possibilità di una risposta affermativa fate, per ogni coppia di valori di m e h, un grafico di Q in funzione di v_f^2. Riportate tutti i grafici sullo stesso foglio. Che cosa potete concludere?

3.10. Analisi dei risultati dell'esperimento precedente.

Non è indubbiamente facile trarre delle conclusioni quantitative dall'esperimento precedente. Il legame tra Q e v_f^2 non è

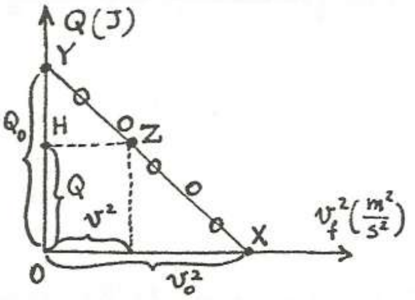


fig. 3.9

una proporzionalità diretta, né una inversa. Avrete però tratto dall'esp. 3.8 alcune conclusioni qualitative, cioè:

- nel caso di attrito nullo ($Q = 0$) masse diverse che scendono dalla stessa altezza raggiungono il suolo con la stessa velocità finale;
- grafici relativi a masse uguali hanno la stessa pendenza.

Passiamo ora ad una analisi di tipo quantitativo. In fig. 3.9 è rappresentato un grafico per una certa coppia di valori di m e h. I cerchietti rappresentano possibili punti sperimentali. Il grafico incontra gli assi cartesiani nei punti X e Y. Sia Z un punto qualunque del grafico (interpolazione) ed H la sua proiezione ortogonale sull'asse Q. I triangoli XOY e ZHY sono simili e pertanto hanno le lunghezze dei lati corrispondenti in proporzione. Cioè: $\overline{HY} : \overline{OY} = \overline{HZ} : \overline{OX}$. Esprimiamo le misure precedenti in termini fisici di calore e velocità al quadrato (vd sempre fig. 3.9), avremo che:

$(Q_0 - Q) : Q_0 = v^2 : v_0^2$; cioè (proprietà delle proporzioni):

$Q_0 v_0^2 - Q v_0^2 = Q_0 v^2$, e quindi:

$Q = -\frac{Q_0}{v_0^2} v^2 + Q_0$. **Dal momento che**: $Q_0 = \gamma m h_0$, possiamo esprimere diversamente l'opposto del coefficiente di v^2 nella precedente equazione. Cioè:

$\frac{Q_0}{v_0^2} = \frac{\gamma m h_0}{v_0^2} = \frac{\gamma h_0}{v_0^2} \cdot m$. Ora si trova che: $\frac{\gamma h_0}{v_0^2} = 0{,}50 \frac{J}{kg \cdot \frac{m^2}{s^2}}$, utilizzando i dati sperimentali trovati. Nello studio della Meccanica troverete poi che: $\frac{J}{kg \cdot \frac{m^2}{s^2}}$ non è un'unità di misura. Ciò vuol dire che $\frac{\gamma h_0}{v_0^2}$ non è una grandezza fisica, ma un numero puro; quindi risulta proprio: $\frac{\gamma h_0}{v_0^2} = \frac{1}{2}$. Ne segue che la precedente equazione diviene:

$Q = -\frac{1}{2} m v^2 + Q_0$; ovvia:

$Q_0 = Q + \frac{1}{2} m v^2$ (3) .

Quindi si può concludere che risulta costante la somma della quantità di calore Q sviluppata per attrito con la grandezza $\frac{1}{2} m v^2$ che dipende, ovviamente, dalla massa in caduta e dalla sua velocità finale.

Si può giungere all'equazione (3) anche in un altro modo, meno matematico e più fisico. Dalla tabella relativa all'esperimento 3.8 calcolate direttamente le differenze: $Q_0 - Q = \gamma m h_0 - C_T \cdot \Delta t$ (allora l'altezza era stata indicata con h, ora con h_0). Indi rapportate tali differenze sul prodotto: $m v^2$. Cioè andate a valutare i rapporti: $\frac{Q_0 - Q}{m v^2}$, per ognuna delle esperienze eseguite. Troverete che tali rapporti sono, entro i limiti d'errore, pressoché costanti e anzi risulta: $\frac{Q_0 - Q}{m v^2} = 0{,}50 \frac{J}{kg \frac{m^2}{s^2}}$. Anche qui ammettiamo che il 2° membro sia un numero puro; così risulta:

$\frac{Q_0 - Q}{m v^2} = \frac{1}{2}$, cioè : $Q_0 - Q = \frac{1}{2} m v^2$, che equivale alla (3).

3.11 - L'energia. Energia potenziale gravitazionale ed energia cinetica.

Consideriamo ancora la situazione descritta in fig. 3.5 e nel paragrafo 3.9. Supporremo ancora la massa m inizialmente nel punto A distante h_0 dal piano di riferimento orizzontale, con $\overline{AB} = h_0$. Considerando un qualunque punto intermedio P distante h dal suolo (piano di riferimento), si avrà che la massa, scendendo da A a P con $\overline{AP} = h_0 - h$, raggiungerà in P la sua velocità finale v e darà luogo allo sviluppo di calore $Q = C_T \cdot \Delta t$. Quindi la (3) diviene ora:

$\gamma m (h_0 - h) = Q + \frac{1}{2} m v^2$, cioè:

$\gamma m h_0 - \gamma m h = Q + \frac{1}{2} m v^2$; da cui, essendo: $Q_0 = \gamma m h_0$, :

$$Q_0 = \gamma m h + \frac{1}{2} m v^2 + Q \qquad (4) \; .$$

La (4) vale per un qualunque punto P compreso tra A e B. Appaiono evidenti le analogie tra la (4), la (1) e la (2). In (4) figura l'addendo: $\frac{1}{2} m v^2$ legato alla velocità, non più trascurabile, con cui la massa m raggiunge il punto finale del suo tratto di caduta, ossia il punto P. Dalla (4) si può dire che resta costante, in qualunque punto P, la somma tra il calore Q sviluppato per attrito durante la discesa lungo [AP], tra la grandezza $\frac{1}{2} m v^2$ dipendente dalla massa e dalla sua velocità finale e tra il calore $\gamma m h$ ancora da sviluppar si lungo [PB]. Tutti i termini: Q_0, $\gamma m h$, $\frac{1}{2} m v^2$, Q che figurano nella (4), così come quelli che figurano in (1) e in (2), devono rappresentare altrettanti aspetti di una stessa grandezza fisica. Infatti noi sommiamo o sottraiamo tali termini che, quindi, devono rappresentare grandezze fisiche omogenee tra loro, espresse tutte nella stessa unità, il joule (simbolo: J). Conveniamo di chiamare col nome di <u>energia</u> la grandezza fisica di cui i termini sopra citati sono aspetti particolari. In particolare chiameremo:

- energia potenziale gravitazionale la grandezza espressa da: $\gamma m h$ ossia da $g m h$;
- energia cinetica la grandezza data da $\frac{1}{2} m v^2$;
- energia termica (o calore) la grandezza Q;
- energia totale la grandezza Q_0.

3.12. <u>Energia potenziale elastica</u>.

Osserviamo di nuovo l'equazione (2). In essa figura il termine: $C x^2$. Esso rappresenterà pure un tipo di energia, che chiameremo col nome di energia potenziale elastica. Essa è la energia che una molla, compressa o dilatata, è in grado di immagazzinare. E' evidente che tale energia dipenderà non solo dall'allungamento della molla, ma anche dalla sua costante di elasticità: a parità di allungamento, molle più "tenere" immagazzinano meno energia di quelle più "dure".

3.13 - Conservazione dell'energia.

Vogliamo generalizzare ulteriormente la situazione presentata nel paragrafo 3.10, includendo anche l'energia potenziale elastica. Ci riferiamo alla disposizione sperimentale di fig. 3.7, considerando non trascurabile la velocità di caduta della massa m. Sia ora S un punto qualunque, compreso tra il punto di partenza A

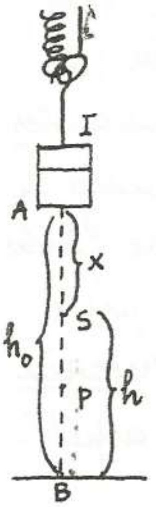


fig. 3.10

ed il punto P in cui la massa si ferma a causa della tensione della molla (vd ora fig. 3.10). Indichiamo: $\overline{AS} = x$, $\overline{SB} = h$, $\overline{AB} = h_0$. Supponiamo di poter conoscere il valore della velocità v nel punto S della massa in caduta, oltre al calore $Q_x = C_T \cdot \Delta t$ sviluppato per attrito durante il tratto [AS]. Analogamente a quanto osservato nel paragrafo 3.8, ma tenendo conto anche dell'energia cinetica, possiamo affermare che: $Q - Q_x = cx^2 + \frac{1}{2} m v^2$, ove $Q = \gamma m x$.

Da ciò segue che: $\gamma m x - Q_x = cx^2 + \frac{1}{2} m v^2$, da cui:

$\gamma m (h_0 - h) - Q_x = cx^2 + \frac{1}{2} m v^2$, cioè:

$$Q_0 = \gamma m h + Q_x + c x^2 + \frac{1}{2} m v^2 \qquad (5)$$

La (5) esprime la situazione più generale tra quelle incontrate e ci dice che in un qualunque punto lungo il tratto di caduta della massa m resta costante la somma tra: l'energia potenziale gravitazionale in quel punto (che equivale al calore che de ve ancora essere sviluppato); il calore sviluppato per attrito lungo il tratto di discesa già percorso; l'energia potenziale elastica dovuta all'allungamento della molla pari al tratto percorso; l'energia cinetica acquisita nel punto terminale del tratto percorso dalla massa in caduta. La costante Q_0 della equazione (5) non varia al variare del punto S. E' quello che si dice un invariante della trasformazione avvenuta (la caduta) e prende ancora il nome di energia totale. Dunque si può concludere che l'energia totale del sistema considerato si conserva. Durante la trasformazione ci sono variazioni dei singoli tipi di energia: discendendo la massa, diminuirà l'energia potenziale gravitazionale $\gamma m h$ (diminuisce h), aumenterà l'energia potenziale elastica $c x^2$ (aumenta x), aumenterà l'energia termica Q_x^i, forse anche potrà variare l'energia cinetica $\frac{1}{2} m v^2$, a seconda che v vari o no. Tutto ciò è vero. Tuttavia l'energia totale del sistema resta inalterata. L'energia totale può ripartirsi diversamente in una forma o nell'altra, ma resta costante il suo valore. Quindi l'energia è qualcosa che può trasformarsi da una forma ad un'altra, ma non può nè crearsi dal nulla, nè distruggersi. In ciò consiste il principio di conservazione dell'energia.

L'anno scorso avete conosciuto un altro principio di conservazione: quello della massa. Pare che la Natura prediliga i principi di conservazione. Sarà vero?

Esercizi e problemi (relativi al Cap. 3)

1 - Uno studente, lavorando con un DDV come nell'esperimento 3.3, ha ottenuto i seguenti risultati: sbalzo termico $\Delta t = 1{,}90\ °C$; altezza di caduta dell'oggetto $h = 1{,}59\ m$ - Sapendo che la capacità termica dell'elemento sensibile era $19{,}2\ \frac{J}{°C}$, quale pensi fosse la massa dell'oggetto in caduta? Entro quali ipotesi è valido il risultato da te trovato?

2 - Due alunni impiegano il DDV $\left(C_T = 19{,}2\ \frac{J}{°C}\right)$, ottenendo i seguenti risultati per lo sbalzo termico Δt e per l'altezza h di caduta di una stessa massa di 3,823 kg (vd esp. 3.3):

Δt (°C)	3,15	2,80	2,40	1,90	1,45
h (m)	1,59	1,41	1,20	0,90	0,75

Fai un grafico di Δt in funzione di h - Che cosa potresti dire? Potresti ricavare una costante dell'esperimento? Quali sono le ipotesi alla base dei risultati precedenti? Quali sbalzi termici prevederesti se l'oggetto fosse sceso da: 3,00 m ; 1,00 m ; 0,50 m ?

3 - Spiega che cosa sarebbe cambiato nelle situazioni dei due precedenti problemi se l'oggetto fosse sceso lungo un piano inclinato di 30° rispetto al piano orizzontale.

4 - Come nell'esperimento 3.7, una massa $m = 3{,}823\ kg$, scendendo, allunga una molla (costante di elasticità: $K = 26{,}8\ \frac{N}{m}$) di 85,5 cm, determinando contemporaneamente uno sviluppo di calore di 22,1 J nell'elemento sensibile del DDV. Pensi che questi risultati siano coerenti tra di loro? Perché? Con questi risultati potresti risalire alla capacità termica del sistema e alla iniziale distanza della massa da terra, prima della discesa? Perché?

5 - La stessa massa dell'esercizio precedente scende, vincolata ad una molla, fino ad arrestarsi, dopo aver allungato la molla di 40,0 cm e aver sviluppato la stessa quantità di calore (22,1

J) - Pensi che ciò sia possibile? Perchè? Sappi che il DDV è sempre lo stesso dell'esercizio 4.

6 - Trasforma:

50 km/h = ...m/s ; 50 m/s = ... km/h.

7 - Un'auto viaggia su una strada rettilinea alla velocità di 60 km/h per 3 min e poi alla velocità di 100 km/h per altri 6 min. Quanta strada ha percorso in totale? Quale velocità, costante per tutti i 9 min, avrebbe dovuto tenere per percorrere la stessa distanza nello stesso tempo?

8 - Un ragazzo, partendo da fermo, percorre i 100 m piani in 12 s. Supponendo che la sua velocità sia andata crescendo proporzionalmente al tempo, con quale velocità taglierà il traguardo?

9 - In un esperimento con il DDV una massa $m = 2{,}341$ kg scende da un'altezza di 1,52 m, determinando un aumento di 1,25 °C di temperatura nell'elemento sensibile dello stesso DDV ($C_T = 19{,}2$ J/°C). Pensi sia trascurabile la velocità acquistata dall'oggetto in caduta? Perchè? Nel caso la velocità non sia trascurabile, calcolane il valore finale.

10 - Con la stessa massa e la stessa altezza dell'esercizio precedente, qual è la massima velocità finale raggiungibile? In quali condizioni fisiche del sistema si può avere tale valore?

11 - In un esperimento sulla caduta degli oggetti si è usata una massa pari a 2,300 kg, partita da un'altezza di 1,50 m. La velocità finale, misurata con il marcatempo, è risultata di 5,42 m/s. Quale sarà il calore sviluppato nell'elemento sensibile del DDV? Come potete spiegare il risultato trovato?

12 - Come deve avvenire la discesa dell'oggetto affinchè non si sviluppi alcun calore per attrito nell'elemento sensibile del DDV? Pensi che in tale situazione non ci sia alcuno sviluppo di calore?

Perché? Riscrivi l'equazione (3) del testo nel caso che sia nullo lo sviluppo di calore. Che legame c'è tra l'altezza di caduta h_0 e la velocità finale v?

13 - Un oggetto cade liberamente, senza produrre alcun attrito con alcun altro oggetto, da un'altezza di 2,00 m. Pensi che si possa trovare la sua velocità finale oppure ritieni si debba conoscere anche la massa dell'oggetto per poter rispondere? Nel caso sia vera la prima eventualità, calcola la velocità finale dell'oggetto e la sua velocità a 1,00 m dalla partenza.

14 - Un oggetto ($m = 2,500$ kg) cade liberamente da 10,00 m di altezza, raggiungendo una velocità finale di 13,00 m/s. Studia se, durante la caduta, c'è stato sviluppo di calore. Qui è necessario conoscere la massa dell'oggetto?

15 - Due oggetti di masse m_1 e m_2 ($m_1 = 2m_2$) cadono liberamente dalla stessa altezza h_0, partendo simultaneamente. Confronta le loro rispettive velocità finali v_1 e v_2, esaminando le varie possibilità fisiche realizzabili (gli oggetti hanno entrambi forma sferica).

che cosa si intende?

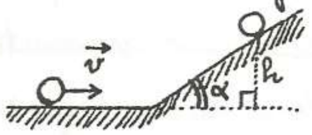
16 - Stesso problema del precedente esercizio, supponendo ora che i due oggetti cadano vincolati in un DDV.

17 - Ritieni che nei due precedenti problemi sia necessaria la simultaneità nella partenza dei due oggetti? Perché?

18 - Un oggetto ($m = 1,200$ kg) cade liberamente da un'altezza di 1,500 m, con attrito trascurabile nei confronti dell'aria. Alla fine della caduta l'oggetto si immerge in una vaschetta contenente 10,00 l d'acqua alla temperatura iniziale di 22,00 °C. Supponendo che tutta l'energia cinetica dell'oggetto si trasformi in calore sviluppato per attrito coll'acqua, quale sarà la temperatura finale dell'acqua? Pensate che tale aumento di temperatura sia apprezzabile dal termometro?

19 - Con i dati del problema 18, calcola la velocità dell'oggetto un atti-

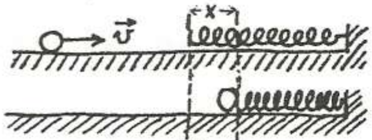
mo prima di entrare nell'acqua. Illustra poi tutte le trasformazioni energetiche avvenute. Calcola infine l'energia totale.

20 - 

Una palla si muove con velocità avente modulo $|\vec{v}| = v = 10{,}0$ cm/s (la velocità, come vedrai, è una grandezza vettoriale). Essa incontra un piano inclinato di un'ampiezza $\alpha = 30°$ rispetto all'orizzontale, come in figura. Calcola a quale altezza massima h giungerà la palla (in tal punto essa sarà ferma). Elenca le trasformazioni energetiche avvenute, considerando nullo ogni tipo di attrito e che: $1 N = 1 kg \cdot 1 \, m/s^2$.

21. Descrivi il seguito del moto della palla, dopo aver raggiunto l'altezza massima (vd problema 20), elencando anche le nuove trasformazioni energetiche avvenute.

22. Studia se cambierebbe il valore di h nel problema 20, cambiando l'inclinazione α del piano o cambiando la massa della palla.

23. 

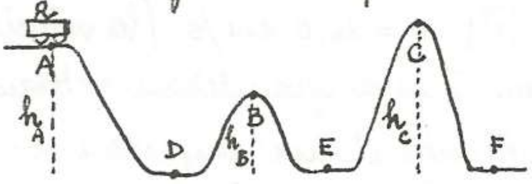
Una palla si muove su un piano orizzontale, con velocità $v = 12{,}0$ cm/s, verso una molla orizzontale di costante elastica $K = 15{,}0$ N/m. Di quale tratto x risulterà compressa la molla dalla palla quando diviene $v=0$? La massa della palla vale 6,00 kg e poi: $1 N = 1 kg \cdot 1 \, m/s^2$. Elenca le trasformazioni energetiche avvenute, considerando nullo ogni tipo di attrito.

24 - Descrivi il seguito del moto della palla del problema 23, elencando anche le ulteriori trasformazioni energetiche avvenute.

25 - Supponiamo che in una cascata alta 50 m l'acqua caduta spenda tutta la sua energia cinetica per trasformarla in energia termica, successivamente dissipata nell'ambiente esterno. Calcola l'aumento di temperatura dell'acqua. Pensi che per rispondere occorra conoscere qualche altro dato?

26 - Due palline di ugual massa, l'una di gomma e l'altra di plastilina vengono lasciate cadere liberamente dalla stessa

altezza verso un pavimento di marmo. Descrivi ciò che accade a ciascuna pallina dopo che è stata lasciata partire, dicendo quali trasformazioni energetiche sono avvenute.

27 - 

Un carrello delle montagne russe si trova in equilibrio instabile nel punto A in figura, ad altezza h_A da terra; i punti B e C si trovano invece ad altezze h_B e h_C, con: $h_B < h_A < h_C$. Ad un certo momento il carrello si muove, senza spinte di alcun tipo, dal punto A, scendendo verso D. Supponendo trascurabili gli attriti e considerando gli scambi energetici:

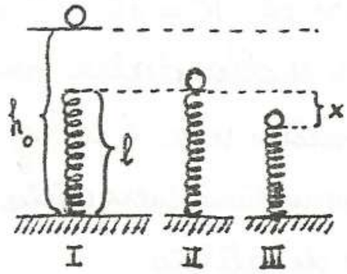
la richiesta forse è corretta, ma dovrebbe verificare che l'alunno ha compreso fino a dove arriva il carrello

a) determina fin dove il carrello giungerà nel suo moto verso destra in figura; studia anche la situazione di moto dopo tale punto (estremo verso destra);

b) determina l'espressione della velocità del carrello quando è in D, E e F.

non compreso

28 - Che cosa sapresti dire del moto (carrello del problema 27) nel caso non fossero più trascurabili gli attriti.

29 - 

Una palla di massa m cade liberamente da un'altezza h_0, fino a raggiungere l'estremo libero di una molla di costante K, lunga l, disposta verticalmente e attaccata al suolo per l'altro estremo. La palla determina la compressione massima x della molla (vd figure). Trascurando gli attriti, scrivi le equazioni relative al principio di conservazione dell'energia nei casi delle figg. II e III.

30 - Una goccia d'acqua, in assenza di vento, scende verticalmente con velocità che va via via aumentando fino a raggiungere un valore ben preciso (velocità limite); poi la goccia prosegue il suo moto con velocità costantemente uguale alla velocità limite, finché non tocca il suolo. Cerca di spiegare come sarà il bilancio energetico prima e dopo il raggiungimento della velocità limite.

INDICE