

# Indicazioni per il lavoro estivo

Questi sono i compiti che dovrete fare e che verranno comunicati al docente che mi succederà. Fateli. La Fisica è come un videogioco e il prossimo punto di salvataggio è a settembre: se smettete di giocare ora, perderete tutti i vostri progressi.

Vi ricordo che potete scrivermi anche in estate per correzioni, dubbi, esercizi mirati e consigli.

Approfittatene.

## Lecture

- **Consigliato**, per divertirsi: “*Cosa accadrebbe se? Risposte scientifiche a domande ipotetiche assurde*” di Randall Munroe, un libro che dà risposte serissime (usando, indovinate un po’, la Fisica) a domande stupidissime come “che succederebbe se la luna fosse fatta solo di elettroni?”. Lui è fisico che ha lavorato alla NASA prima di darsi a tempo pieno al più famoso fumetto nerd di sempre, XKCD, quindi vi potete immaginare che genere di libro è.
- **Consigliato**, se vi intriga la Termodinamica: “*Le regole del gioco. Come la termodinamica fa funzionare l’universo*” di Peter Atkins, (sono solo un centinaio di pagine)
- **OBBLIGATORIO**: Quello che abbiamo fatto quest’anno e che avete capito di meno! Quindi andate a riguardarvi quegli argomenti su appunti e libro.

## Esercizi

Fate gli esercizi dalle scansioni allegate, omettendo, nella parte della Termodinamica gli es. 4, 14, 15b-c, 17, 20.

Poi fate il seguente problema, in cui dovrete riflettere e usare un po’ l’immaginazione. Su internet questo fenomeno è spiegato, quindi potete fare una ricerca per aiutarvi. Comunque in ogni punto c’è un riferimento alla teoria da usare (e che dovrete sapere e perciò ripassare se non ve la ricordate).

**Problema** - *Sarà meglio colonizzarla, prima che si allontani troppo!*

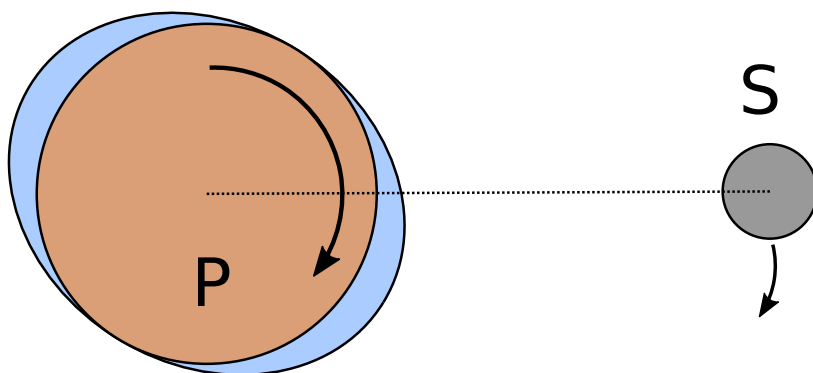
La Luna si allontana costantemente e molto lentamente dalla Terra. In questo problema cercheremo di capire perchè e modelleremo questo fenomeno nei dettagli, prendendo un pianeta interamente ricoperto di oceani con un satellite roccioso di massa abbastanza comparabile.

Sia dunque  $P$  un pianeta con un satellite  $S^1$  che orbita attorno a  $P$  con un’orbita circolare. La massa di  $P$  è  $M = 6.1 \cdot 10^{24}$  kg, quella di  $S$  è  $m = 5.0 \cdot 10^{22}$  kg. Un giorno su  $P$  dura  $T_D = 20$  ore, mentre  $S$  gira attorno a  $P$  con un periodo di  $T_S = 20$  giorni.

1. Quanto vale la distanza  $d_1$  di  $S$  da  $P$ ? [ $3.1 \cdot 10^8$  m] [Se non ti riesce, vai a pag. 229 del libro]
2. La figura sottostante rappresenta la profondità delle acque su  $P$ , visto con l’asse di rotazione perpendicolare al foglio. La linea tratteggiata è la congiungente dei centri. Ti torna quello che vedi? Prova a rifare il disegno e tracciare (in modo qualitativo) il vettore campo gravitazionale complessivo dovuto a  $P$  e  $S$  sulla superficie di  $P$  (solo la metà destra). Com’è fatto  $\vec{g}_{tot}$  in posizioni speculari rispetto alla linea tratteggiata? Che forma dovrebbe avere dunque la superficie delle acque? [Se non ti riesce, vai al paragrafo 4.2.3.2 degli appunti]

---

<sup>1</sup>Scoperti da un astronomo con poca fantasia e una passione per le lettere dell’alfabeto.

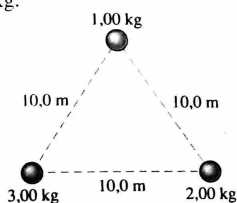


3. E invece non ce l'ha! La colpa è della rotazione di  $P$ : intuisci perchè? Ricorda che  $P$  ruota su sé stesso, mentre  $S$  sta quasi fermo (ruota 24 volte più lentamente attorno a  $P$ ): che deve fare l'acqua per deformarsi?
4. Dato che questa è la forma degli oceani su  $P$ , sai dare un argomento convincente per dimostrare che la forza di gravità esercitata dalle sole acque di  $P$  su  $S$  non è lungo la congiungente  $\overline{PS}$  ma ha una componente perpendicolare (e dunque tangenziale alla velocità di  $S$ )?
5. In generale che dipendenza ha la velocità tangenziale di  $S$  dalla sua distanza  $d$ ? Trovala usando le leggi del moto circolare e la legge di gravitazione universale. [se non ti riesce, vai a pag. 229 e 96 del libro]
6. Questa forza naturalmente "tira"  $S$ . La sua velocità supera quindi quella che dovrebbe avere in un'orbita di raggio  $d_1$ . Usando l'energia e il fatto che la velocità per rimanere in un'orbita stabile decresce con la distanza, sai dare un argomento qualitativo convincente per cui  $S$  viene così spinto verso l'esterno? [Se non ti riesce, vai a pag. 237 del libro]
7. In questo meccanismo si conserva la quantità di moto di  $S$ ? E quella di  $P$ ? [se non ti riesce vai a pag. 176 del libro]
8. Com'è fatto il vettore momento angolare di  $S$ ? Si conserva? E quello di  $P$ ? E quello del sistema  $S + P$ ? Perché? [se non ti riesce vai a pag. 190 del libro o ai teoremi 3.5 e 3.6 degli appunti]
9. Sapendo che il raggio di  $P$  è  $R_P = 6100$  km e assumendolo di densità uniforme, determina il suo momento d'inerzia rispetto al suo asse di rotazione. [ $9.1 \cdot 10^{37} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ][se non ti riesce vai a pag. 195 del libro]
10. Approssimandolo per semplicità a un punto, determina il momento di inerzia iniziale di  $S$  rispetto a  $P$ , quando la loro distanza è  $d_1$ . Quanto vale invece quando  $S$  raggiunge una distanza  $d_2 = 4.1 \cdot 10^8$ ? [ $4.8 \cdot 10^{39} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ,  $8.4 \cdot 10^{39} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ ] [se non ti riesce vai a pag. 194 del libro]
11. Calcola la velocità angolare  $\omega_{S1}$  di  $S$  quando si trova a distanza  $d_1$ . Quanto vale la velocità angolare di rotazione di  $P$ ,  $\omega_{P1}$ ? [ $3.6 \cdot 10^{-6} \text{ rad/s}$ ,  $8.7 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$ ] [se non ti riesce, vai a pag. 96 del libro]
12. Calcola la velocità angolare  $\omega_{S2}$  di  $S$  quando si trova distanza  $d_2$ . [ $2.4 \cdot 10^{-6} \text{ rad/s}$ ][se non ti riesce vai a pag. 229 del libro]

13. Ora, usando la tua risposta al punto (7) sulla conservazione del momento angolare di  $S + P$ , determina la velocità angolare  $\omega_{P2}$  di  $P$  quando  $S$  è a distanza  $d_2$ . Spiega dunque come mai, allontanandosi,  $S$  ha fatto allungare la durata del giorno su  $P$ . [ $5.5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ , un giorno dura 32 ore] [se non ti riesce, guardati l'esempio 3.18 degli appunti per un po' di ispirazione]
14. Senza fare conti, sai dire se si è conservata l'energia meccanica di  $P$ ? E di  $S + P$ ? Perché? [se non ti riesce, pensa a chi tiene l'acqua "spostata" e vai a pag. 143]
15. Conferma le tue supposizioni calcolando l'energia meccanica di  $P + S$  (ricordati che l'energia potenziale va messa solo una volta, come se ce l'avesse solo  $S$ ). [ $E_{M1} = 3.1 \cdot 10^{29} \text{ J}$ ,  $E_{M2} = 1.1 \cdot 10^{29} \text{ J}$ ] [se non ti riesce vai a pag. 196 del libro]
16. Usando il primo principio della Termodinamica sai calcolare quanto calore è stato fornito dall'attrito dell'acqua agli oceani di  $P$  in questo processo? (immagina che  $P + S$  e i gli oceani siano due sistemi separati e considera l'energia di  $P + S$ ) [ $Q = 2.0 \cdot 10^{29} \text{ J}$ ]
17. Secondo te, questo processo di allontanamento, oltre a durare miliardi di anni, accelera o rallenta col tempo?
18. Un momento, ma non abbiamo spiegato la metà sinistra del disegno! Trova la distanza del baricentro del sistema  $P + S$  dal centro di  $P$ , quando la distanza di  $S$  è  $d_1$ . [ $2.5 \cdot 10^3 \text{ km}$ ] [se non ti riesce, vai negli appunti al paragrafo 3.1.1]
19. La forma delle acque di  $P$  è quindi dovuta alla combinazione della normale rotazione di  $P$  rispetto al proprio centro con la rotazione del centro di  $P$  rispetto al baricentro del sistema  $P + S$ . Sai dare ora una spiegazione qualitativa della loro forma nell'emisfero opposto a  $S$ ? Sai calcolare la loro l'accelerazione centrifuga nel punto di  $P$  opposto a  $S$ ? [ $1.1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ] [Se non ti riesce, vai a pag.97 del libro]

8. **Supponi che venga scoperto un pianeta che ha la medesima densità della Terra, ma raggio pari alla metà del raggio terrestre.**
- L'accelerazione di gravità su questo pianeta è maggiore, minore o uguale all'accelerazione di gravità sulla Terra? Giustifica la risposta.
  - Determina l'accelerazione di gravità su questo pianeta.

9. **Forza risultante tra masse puntiformi**
- Ai vertici di un triangolo equilatero di lato 10,0 m sono poste tre masse, rispettivamente di 1,00 kg, 2,00 kg e 3,00 kg, come mostrato in figura. Determina il modulo, la direzione e il verso della forza risultante agente sulla massa di 1,00 kg.



[ $2,90 \cdot 10^{-12}$  N;  $83,4^\circ$  sotto l'orizzontale, verso sinistra]

10. **Forza tra palline**

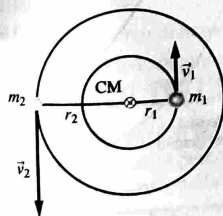
●●● Supponi che ciascuna delle tre masse del problema precedente venga sostituita da palline di massa 5,95 kg e raggio 0,0714 m. Se le palline vengono lasciate libere da ferme, quale velocità avranno nel momento dell'urto al centro del triangolo? Ignora gli effetti gravitazionali dovuti ad altri corpi.

[ $7,39 \cdot 10^{-5}$  m/s]

11. **Stelle binarie**

●●● In un sistema di stelle binarie, due stelle orbitano intorno al loro comune centro di massa (CM), come mostrato nella figura. Se  $r_2 = 2r_1$ , qual è il rapporto  $m_2/m_1$  fra le masse delle due stelle?

[1/2]



12. **Periodo delle stelle binarie**

●●● Determina il periodo orbitale del sistema di stelle binarie descritto nel problema precedente.

$$[T = \sqrt{\frac{72\pi^2 r_1^3}{Gm_1}}]$$

13. **Il momento della cometa**

●● Usando i risultati del problema svolto 48 e tenendo presente che la cometa di Halley ha massa  $9,8 \cdot 10^{14}$  kg, calcola il momento angolare della cometa:

- al perielio;
- all'afelio.
- Che cosa puoi osservare?

[a)  $4,7 \cdot 10^{30}$  kg m<sup>2</sup>/s; b)  $4,7 \cdot 10^{30}$  kg m<sup>2</sup>/s]

14. **Saluti da Marte**

●● In un futuro non troppo lontano gli astronauti forse raggiungeranno Marte per effettuare osservazioni scientifiche. Nel corso della missione è probabile che, per facilitare le comunicazioni, dovranno posizionare un satellite stazionario sopra un determinato punto dell'equatore di Marte. A quale altitudine rispetto alla superficie di Marte dovrebbe orbitare tale satellite?  
(Il giorno "marziano" è di 24,6229 ore; ricerca altri eventuali dati che ti servono).

[1,71 · 10<sup>6</sup> m]



15. **La forza sia con te!**

●●● Considera il *Problem solving* 1 della teoria, nel quale il Millennium Falcon, l'astronave di *Guerre stellari*, passa in mezzo a una coppia di asteroidi, come mostrato nella figura di pag. 263. Calcola il modulo della velocità del Millennium Falcon nel punto A, sapendo che la sua velocità nel punto B ha modulo 0,905 m/s.

[0,866 m/s]

16. **Più lungo di un giorno?**

●●● Un satellite è posto nell'orbita terrestre, 1000 km più in alto dell'altitudine di un satellite geostazionario (che, come abbiamo visto, è circa 36000 km).

- Il periodo di questo satellite è maggiore o minore di 24 ore?
- Visto dalla superficie terrestre, il satellite si muove verso est o verso ovest? Giustifica la risposta.
- Determina il periodo del satellite.

[c) 26 ore]

17. **L'energia del satellite**

●●● a) Calcola l'energia cinetica di un satellite di 1720 kg in orbita circolare intorno alla Terra, sapendo che il raggio dell'orbita è 20273 km.

b) Quanta energia è necessaria per spostare questo satellite in un'orbita circolare di raggio 40225 km?

[a)  $1,69 \cdot 10^{10}$  J; b)  $8,38 \cdot 10^{11}$  J]

18. **L'orbita della navicella**

●●● Una navicella di massa  $m = 2,00 \cdot 10^6$  kg orbita a un'altitudine di 250 km dalla superficie terrestre.

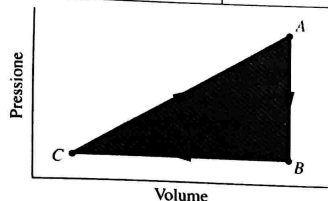
- La velocità della navicella dipende dalla massa? Giustifica la risposta.
- Calcola la velocità della navicella nella sua orbita.
- Quanto tempo impiega la navicella per completare un'orbita intorno alla Terra?

[b) 7,76 km/s; c) 5360 s = 1,49 h]

**3. Calcola le grandezze incognite**

Un gas ideale è sottoposto alle tre trasformazioni mostrate nella figura. Completa la tabella calcolando le grandezze incognite di ogni trasformazione.

| Trasformazione | Q      | L      | $\Delta E_{int}$ |
|----------------|--------|--------|------------------|
| A → B          | -53 J  | .....  | .....            |
| B → C          | -280 J | -130 J | .....            |
| C → A          | .....  | 150 J  | .....            |



**4. Quanto ghiaccio fonde?**

A un blocco di ghiaccio di 0,14 kg a 0 °C è fornito del calore, aumentando la sua entropia di 87 J/K. Quanto ghiaccio fonde? [0,071 kg]

**5. Il numero di molecole nella camera d'aria**

La camera d'aria di una gomma per bicicletta, di raggio 0,66 m, ha una pressione relativa di 427,18 kPa. Considerando la camera d'aria un cilindro cavo con sezione trasversale di 0,0028 m<sup>2</sup>, calcola il numero di molecole di aria contenute quando essa ha una temperatura di 34 °C. [1,2 · 10<sup>24</sup> molecole]

**Produzione di acqua**

In un contenitore ci sono 8,06 g di H<sub>2</sub> e 64,0 g di O<sub>2</sub> alla temperatura di 125 °C e alla pressione di 101 kPa.

- Qual è il volume del contenitore?
- Nella miscela idrogeno-ossigeno si provoca una scintilla, in modo da avviare la reazione  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ . La reazione consuma tutto l'idrogeno e l'ossigeno presenti nel contenitore e produce vapore acqueo. Qual è la pressione del vapore acqueo risultante quando esso torna alla sua temperatura iniziale di 125 °C? [a) 0,196 m<sup>3</sup>; b) 67,5 kPa]

**7. Pallone con azoto**

Un pallone contiene 3,7 litri di azoto gassoso a una temperatura di 87 K e alla pressione di 101 kPa. Se si aumenta la temperatura fino a 24 °C e si mantiene la pressione costante, quale volume occuperà il gas? [13 litri]

**3. Molecole di azoto e di idrogeno**

A quale temperatura la velocità quadratica media delle molecole di azoto uguaglia quella delle molecole di idrogeno a una temperatura di 20,0 °C? [410,2 K]

**3. Pressione ed energia di una molecola di O<sub>2</sub>**

Tre moli di ossigeno gassoso sono contenute in un recipiente avente un volume di 0,0035 m<sup>3</sup>. Se la temperatura del gas è 295 °C:

- calcola la pressione del gas;
- calcola l'energia cinetica media di una molecola di ossigeno.

- Supponi che il volume del gas venga raddoppiato, mantenendo costanti la temperatura e il numero di moli. Per quale fattore verranno moltiplicate le risposte alle domande a) e b)? Fornisci un'esauriente spiegazione. [a)  $4,0 \cdot 10^6$  Pa; b)  $1,2 \cdot 10^{-20}$  J]

**10. Velocità medie**

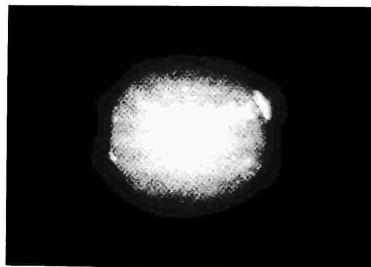
Cinque molecole hanno rispettivamente le seguenti velocità: 221 m/s, 301 m/s, 412 m/s, 44,0 m/s e 182 m/s.

- Determina la velocità media  $\bar{v}$  di queste molecole.
- Ti aspetti che  $\bar{v}^2$  sia maggiore, minore, oppure uguale a  $(\bar{v})^2$ ? Giustifica la tua risposta.
- Calcola la velocità quadratica media e confrontala con la velocità media. [a) 232 m/s; b) maggiore; c)  $v_{qm} = 262$  m/s;  $v_{qm} > \bar{v}$ ]

**11. La superficie del Sole**

La superficie del Sole ha una temperatura di circa 5800 K ed è composta in gran parte da atomi di idrogeno.

- Calcola la velocità quadratica media di un atomo di idrogeno a questa temperatura.
- Quale sarebbe la massa di un atomo la cui velocità quadratica media fosse pari alla metà della velocità quadratica media dell'idrogeno? [a)  $1,19 \cdot 10^{-4}$  m/s; b)  $6,68 \cdot 10^{-27}$  kg]



**12. La temperatura dell'aria nella mongolfiera**

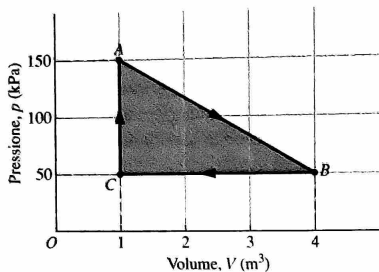
Una mongolfiera ad aria calda può sollevarsi da terra perché, a pressione atmosferica, l'aria calda è meno densa dell'aria fredda. Se il volume della mongolfiera è 500 m<sup>3</sup> e l'aria che circonda la mongolfiera è a una temperatura di 15 °C, quale deve essere la temperatura dell'aria nella mongolfiera per poter sollevare un pallone di massa 290 kg (in aggiunta alla massa dell'aria calda)? La densità dell'aria a 15 °C e a pressione atmosferica è 1,23 kg/m<sup>3</sup>. [27,2 °C]



### 13. Trasformazioni in tre fasi

●● Un gas ideale è sottoposto alla trasformazione in tre fasi mostrata nella figura. Dopo il completamento di un ciclo intero, determina:

- il lavoro totale compiuto dal sistema;
- la variazione totale dell'energia interna del sistema;
- la quantità di calore totale assorbita dal sistema.



[a) 150 kJ; b) 0; c) 150 kJ]

### 14. Quale macchina è più efficiente?

●● La macchina A ha un rendimento pari a 0,66. La macchina B assorbe la stessa quantità di calore dalla sorgente calda e ne trasferisce il doppio a quella fredda.

- Quale dei due motori ha il rendimento maggiore? Giustifica la risposta.
- Qual è il rendimento della macchina B?

[a) la macchina A; b) 0,32]

### 15. Trasformare acqua in ghiaccio

●● Per trasformare 1,75 kg di acqua in ghiaccio in un'ora si utilizza un congelatore con un coefficiente di prestazione di 3,88. La temperatura di partenza dell'acqua è di 20,0 °C e il ghiaccio prodotto è raffreddato a -5,00 °C.

Calcola:

- la quantità di calore che occorre sottrarre all'acqua affinché questo processo si svolga;
- l'energia elettrica che consuma il congelatore durante questa operazione, che ha la durata di un'ora;
- la quantità di calore ceduta all'ambiente esterno.

[a) 751 kJ; b) 194 kJ; c) 945 kJ]

### 16. Il gas argon

●● Supponi che 1800 J di calore siano somministrati a 3,6 moli di gas argon alla pressione costante di 120 kPa.

Calcola:

- la variazione dell'energia interna del gas;
- la variazione della sua temperatura;
- la variazione del suo volume.

Tratta l'argon come un gas ideale monoatomico.

[a) 0,11 kJ; b) 24 K; c)  $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ]

### 17. L'entropia e il Sole

●● La temperatura della superficie del Sole è di 5500 °C e quella dello spazio interstellare è di 3,0 K.

- Calcola l'aumento di entropia provocato dal Sole in un giorno, sapendo che esso irradia calore con una potenza di  $3,80 \cdot 10^{26} \text{ W}$ .
- Quanto lavoro si potrebbe compiere se questo calore fosse utilizzato da una macchina termica ideale?

[a)  $1,1 \cdot 10^{31} \text{ J/K}$  in un giorno; b)  $3,3 \cdot 10^{31} \text{ J}$ ]

### 18. Trasformazioni isobara e isocora

●● Un sistema formato da 1,5 moli del gas monoatomico neon, che può essere trattato come un gas ideale, si trova inizialmente alla temperatura di 320 K e ha un volume di 1,8 m<sup>3</sup>. Al sistema è fornita, a pressione costante, una quantità di calore tale da triplicarne il volume e, successivamente, a volume costante, una quantità di calore tale da duplicarne la pressione. Calcola la quantità totale di calore fornita. [38 kJ]

### 19. Compressione isoterma

●● Un cilindro dotato di un pistone mobile contiene 2,75 moli di argon a una temperatura costante di 295 K. Quando il gas è compresso isotericamente, la sua pressione aumenta da 101 kPa fino a 121 kPa.

Calcola:

- il volume finale del gas;
- il lavoro compiuto dal gas;
- il calore fornito al gas.

[a) 0,0557 m<sup>3</sup>; b) -1,22 kJ; c) -1,22 kJ]

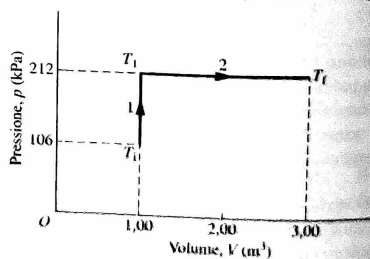
### 20. Di quanto deve variare la temperatura?

●● Una bombola di gas contiene 1,0 kg di elio a 20 °C e a 80 atm. Di quanto varia l'entropia del gas se lo si fa fuoriuscire lentamente dalla bombola? Considera l'elio come un gas perfetto e ipotizza che la trasformazione sia isoterma. [9,1 · 10<sup>3</sup> J/K]

### 21. Trasformazioni 1 e 2

●● Considera l'espansione di 60,0 moli di un gas ideale monoatomico secondo le trasformazioni 1 e 2 mostrate nella figura. Nella trasformazione 1 il gas è riscaldato a volume costante da una pressione iniziale di 106 kPa a una pressione finale di 212 kPa. Nella trasformazione 2 il gas si espande a pressione costante da un volume iniziale di 1,00 m<sup>3</sup> a un volume finale di 3,00 m<sup>3</sup>.

- Calcola la quantità di calore fornita al gas durante queste due trasformazioni.
- Qual è il lavoro effettuato dal gas durante questa espansione?
- Calcola la variazione dell'energia interna del gas.



[a) 159 kJ; 1060 kJ; b) 424 kJ; c) 795 kJ]

### 22. Espansione 3 e 4

●● Riferendoti al problema precedente, supponi che il gas si espanda lungo i processi 3 e 4 riportati in figura. Nella trasformazione 3 il gas si espande a pressione costante da un volume iniziale di 1,00 m<sup>3</sup> a un volume finale di 3,00 m<sup>3</sup>. Nella trasformazione 4 il gas è riscaldato a volume costante da una pressione iniziale di 106 kPa a una pressione finale di 212 kPa.