

## Esercizi lezioni dalla 22 alla 25

1. Una molecola di biossido di carbonio urta frontalmente, alla velocità di 300 m/s, contro una parete del recipiente. Qual è la sua quantità di moto iniziale? E quella finale? Che variazione di quantità di moto subisce la molecola durante l'urto? Che variazione di quantità di moto subisce invece la parete? Che direzione hanno le due variazioni di quantità di moto?
2. Stesse domande del problema precedente, questa volta si tratta di una molecola di vapore d'acqua, che urta frontalmente la parete alla velocità di 800 m/s.
3. Stesso problema, ma la molecola d'acqua colpisce la parete in direzione  $51^\circ$  rispetto alla normale. Attenzione: in quest'urto cambia la componente del vettore velocità perpendicolare alla superficie, mentre quella parallela si conserva inalterata. Di quanto cambiano le quantità di moto di molecola e parete?
4. Un flusso costante di molecole di monossido di carbonio, che si muovono tutte alla velocità di 500 m/s, colpisce frontalmente un bersaglio. Ogni secondo il bersaglio viene colpito da un milione di miliardi di molecole. Qual è la forza che il bersaglio subisce? A quale pressione è sottoposto, se la sua area è di  $20 \text{ cm}^2$ ?
5. Un recipiente di volume 1 L contiene 0.050 moli di azoto. La loro energia cinetica media è di  $8.7 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ . Calcola la pressione che l'azoto esercita sulle pareti del recipiente.
6. Consideriamo 10 molecole di azoto (la molecola è biatomica:  $\text{N}_2$ ). Le loro velocità, espresse in metri al secondo, sono le seguenti: 438, 570, 613, 307, 715, 591, 379, 537, 603, 485. Qual è la loro energia cinetica media di traslazione?
7. Converti da gradi centigradi a kelvin:  $100^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$ ,  $-230^\circ\text{C}$ ,  $1750^\circ\text{C}$ ,  $-270^\circ\text{C}$ .
8. Converti da kelvin a gradi centigradi: 22 K, 1370 K, 300 K, 2 K.
9. Converti da gradi centigradi a gradi fahrenheit:  $-73^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$ ,  $38^\circ\text{C}$ .
10. Converti da gradi fahrenheit a gradi centigradi:  $-4^\circ\text{F}$ ,  $46^\circ\text{F}$ ,  $28^\circ\text{F}$ ,  $104^\circ\text{F}$ .
11. Un campione di metallo passa dalla temperatura di  $73^\circ\text{C}$  a quella di 315 K. Si è scaldato o raffreddato? Di quanto?
12. Per cuocere la pasta mettiamo in pentola 5 L d'acqua alla temperatura iniziale di  $17^\circ\text{C}$ . Quanta energia occorre per portare l'acqua alla temperatura di ebollizione?
13. Per preparare la frittura mettiamo in padella 0.8 L di olio d'oliva alla temperatura di  $19^\circ\text{C}$ . L'olio d'oliva ha un calore specifico di circa  $2.0 \text{ kJ/kg/K}$  e una densità di circa  $920 \text{ kg/m}^3$ . La temperatura ideale per friggere è di circa  $190^\circ\text{C}$ : quanta energia occorre per portare l'olio a quella temperatura?
14. La kilocaloria è un'antica unità di misura che si usava per misurare gli scambi

termici. Corrisponde all'energia necessaria per riscaldare di un grado la temperatura di un kg d'acqua. Qual è la quantità di calore, in joule e in kilocalorie, necessaria per aumentare la temperatura di 650 g di acqua da 22 a 85 °C ?

15. In un articolo pubblicato nel 1845, Joule osservò che la temperatura dell'acqua sul fondo delle cascate del Niagara era più alta della temperatura in cima alle cascate in quanto vi era trasformazione di energia meccanica in calore. Assumendo un'altezza di 50 m, di quanto aumenta la temperatura?

Nelle prossime domande ci occupiamo di misurare l'equivalente in acqua di un calorimetro.

Dentro al calorimetro abbiamo versato 70 mL di acqua. Altri 70 mL li abbiamo messi in un beker posto poi a riscaldare sul fornello elettrico. Abbiamo inserito la sonda di temperatura nel calorimetro, poi l'abbiamo estratta per misurare la temperatura dell'acqua nel beker. Quando l'acqua ci è sembrata abbastanza calda l'abbiamo tolta dal fornello, e abbiamo aspettato un po' perché la temperatura si stabilizzasse. Poi abbiamo versato rapidamente l'acqua calda nel calorimetro, e vi abbiamo nuovamente inserito la sonda di temperatura per osservare il raggiungimento dell'equilibrio termico. Ecco il tracciato rilevato nel corso dell'esperimento:



16. Qual era la temperatura dell'acqua dentro al calorimetro? Qual era la sua capacità termica?

17. Quali erano temperatura e capacità termica dell'acqua nel beker, subito prima di

versarla nel calorimetro?

18. Qual è stata la temperatura di equilibrio raggiunta in questo esperimento? Che temperatura di equilibrio ci saremmo aspettati in questo caso? Perché?

19. La temperatura di equilibrio è risultata più bassa di quello che ci aspettavamo: quali possono essere le ragioni di questo fatto?

E' facile convincersi che, introducendo acqua più calda, non è solo l'acqua contenuta nel calorimetro a scaldarsi un po'. Ad esempio si scalda l'involucro interno del calorimetro, che è fatto di un sottile strato metallico intorno al quale è disposto uno strato più spesso di polistirolo. Possiamo modellizzare questo comportamento introducendo una grandezza che chiamiamo "equivalente in acqua del calorimetro". Non sappiamo quante e quali parti del calorimetro si scaldano effettivamente nel corso di questa misura, ma possiamo dire che il calorimetro si comporta "come se" al suo interno ci fosse una massa d'acqua fredda un po' più grande: quella che abbiamo inserito noi, più l'equivalente in acqua del calorimetro. Per l'acqua calda abbiamo quindi una massa  $m_1 = 70 \text{ g}$ , per quella fredda abbiamo una massa incognita  $x$ .

20. Scrivi la solita equazione di bilancio  $\Delta E_1 + \Delta E_2 = 0$  in modo che contenga la massa incognita.

21. Spiega con parole tue il significato dell'equazione di bilancio.

22. Risolvi l'equazione rispetto a  $x$ : qual è l'equivalente in acqua del calorimetro usato?

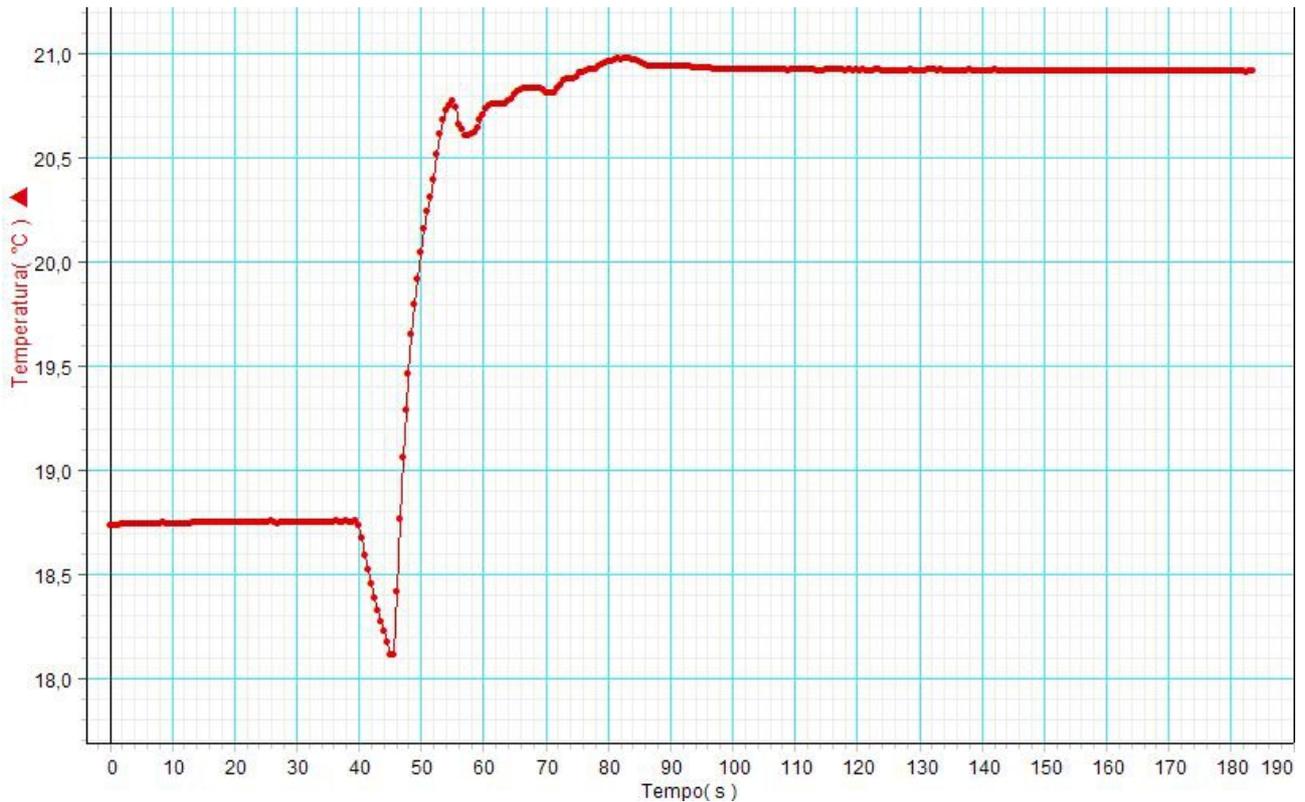
23. In un recipiente che consente di annullare le dispersioni di calore verso l'esterno vengono mescolati 100 g di acqua a 30 °C con 200 g di acqua a 100 °C. Determina la temperatura finale della miscelazione.

Nelle domande che seguono discutiamo di una misura di calore specifico.

Abbiamo usato un campione di metallo (probabilmente piombo) di massa  $m_p = 89.5 \text{ g}$ , portato alla temperatura iniziale  $T_p = 100 \text{ °C}$ . La temperatura iniziale è stata raggiunta tenendo il campione in acqua bollente per un periodo di parecchi minuti: possiamo quindi essere certi che la sua temperatura fosse quella di ebollizione dell'acqua. Nel frattempo abbiamo messo nel calorimetro una massa d'acqua  $m_A = 0.11 \text{ kg}$ . In realtà abbiamo inserito nel calorimetro un volume d'acqua di 100 mL, ma sappiamo che il calorimetro usato ha un equivalente in acqua di circa 10 g.

La sonda di temperatura ha misurato per un po' la temperatura dell'acqua dentro al calorimetro. Poi abbiamo agganciato il campione metallico, abbiamo aperto il calorimetro, e con la massima rapidità possibile abbiamo messo il campione nel calorimetro, del quale abbiamo subito richiuso il coperchio. Dopo qualche tempo si è raggiunta la temperatura di equilibrio tra l'acqua e il campione metallico. La figura che

segue mostra come è cambiata la temperatura registrata dalla sonda durante l'esperimento:



24. Qual è la temperatura  $T_A$  dell'acqua subito prima dell'apertura del calorimetro?

25. Che cosa succede appena tolto il coperchio del calorimetro? Perché?

26. Qual è la temperatura di equilibrio  $T_e$ ?

27. Quali sono le variazioni di temperatura  $\Delta T_A$  e  $\Delta T_P$  subite da acqua e piombo rispettivamente? (Attenti ai segni!)

28. Qual è la quantità di calore  $Q_A$  scambiata dall'acqua? (Attenti al segno!)

29. Qual è la quantità di calore  $Q_P$  scambiata dal piombo? Per rispondere ci manca un dato: il calore specifico del metallo di cui il campione è fatto. Indicate con  $x$  questa quantità indeterminata, e scrivete un'equazione che permetta di calcolare  $Q_P$  in funzione di  $x$ .

Le pareti del calorimetro sono adiabatiche: ciò significa che il processo di scambio termico tra acqua e piombo è un processo a somma zero:  $Q_A + Q_P = 0$ , nel senso che non c'è scambio di calore tra l'interno del calorimetro e l'ambiente esterno. Scrivete l'equazione precedente in modo che contenga l'indeterminata  $x$ , poi risolvete l'equazione rispetto a  $x$ .

30. Qual è il calore specifico del metallo usato nell'esperimento? Confrontate con i valori che trovate in letteratura (per esempio potete guardare sul vostro libro di testo e su wikipedia): è plausibile che si tratti davvero di piombo?

31. Nel vaso interno di un calorimetro sono posti 100 g di triclorometano (cloroformio) a 35 °C. il recipiente è circondato da 1.75 kg di acqua a 18 °C. Dopo un certo tempo il triclorometano e l'acqua raggiungono la comune temperatura finale di 18.22 °C. Determinare il calore specifico del triclorometano.

32. Un fornello elettrico è in grado di fornire una potenza di 500 W. Su di esso viene posto un recipiente metallico contenente 2 kg di acqua a 20 °C. Calcola dopo quanto tempo l'acqua si è portata alla temperatura di 50 °C sapendo che il 40% del calore erogato dal fornello viene assorbito dall'ambiente che circonda l'acqua.

33. In un calorimetro si mescolano 200 g di acqua a 50 °C con 400 g di acqua a 90 °C. Si determini la temperatura finale dell'acqua supponendo che non vi siano perdite di calore verso l'esterno.

34. Un corpo di massa 250 g e calore specifico 230 J/(kg °C) viene immerso in 150 g di acqua che si trovano alla temperatura di 20 °C. La temperatura iniziale del corpo è di 150 °C. Determina la temperatura di equilibrio del sistema.

35. Calcola il calore specifico di una sostanza solida sapendo che 250 g di questa, immersi in 500 g di acqua contenuta in un calorimetro, ne innalzano la temperatura da 20 °C a 25 °C. La temperatura del corpo, al momento dell'immersione, era di 100 °C. Trascura tutte le eventuali dissipazioni di calore.

36. Una massa di acqua di 900 g si trova a 80 °C. In essa viene introdotto un blocchetto di alluminio alla temperatura di -20 °C. In assenza di perdite di calore verso l'esterno, il sistema raggiunge la temperatura di equilibrio di 65 °C. Sapendo che il calore specifico dell'alluminio vale 880 J/(kg °C), si determini la massa del cubetto di alluminio.

37. Un corpo di massa 100 g e temperatura 100 °C viene immerso in 150 g di acqua che si trovano a 20 °C. Il corpo scambia calore con l'acqua e alla fine la temperatura del sistema è 25 °C. Si determini il calore specifico del corpo.

38. Un gas rarefatto si espande a temperatura costante, passando dal volume di 2 L al volume di 5 L. Di quante volte diminuisce la sua pressione?

39. Un gas rarefatto si riscalda a pressione costante, passando da 20 °C a 100 °C. Di quante volte aumenta il suo volume?

40. Un gas rarefatto si riscalda a volume costante, passando da -20 °C a 100 °C. Di quante volte aumenta la sua pressione?

41. Prendiamo una siringa di volume 5 cm<sup>3</sup>, che contiene aria alla pressione atmosferica. Chiudiamo con un dito l'estremità aperta della siringa, poi spingiamo sul pistone, che ha un'area di 0.9 cm<sup>2</sup>, fino a ridurre il volume dell'aria a 2 cm<sup>3</sup>. Qual è la forza che agisce sul pistone?

Consideriamo un gas monoatomico, per esempio l'elio: il suo numero atomico è 2, il

numero di massa è 4. Ciò significa che un nucleo di elio è fatto da 2 protoni e 2 neutroni. Un qualunque campione di questo gas è fatto da un numero incredibilmente grande di molecole, ma noi prendiamo in considerazione un campione piccolissimo, fatto da 25 molecole soltanto. La statistica fatta su 25 molecole non ha naturalmente alcun senso, ma ci serve per dare un significato tangibile alle idee che stiamo affrontando.

Definiamo l'unità di massa atomica, espressa in kg, e la massa dell'atomo di elio:

$$u \leftarrow 1/6e26 ; m \leftarrow u * 4$$

supponiamo che le 25 molecole (fatte di un solo atomo!) abbiano velocità il cui ordine di grandezza è di  $10^3$  m/s, così distribuite:

$$v \leftarrow c(1.1, 0.5, 2.0, 1.2, 1.9, 0.4, 1.2, 0.6, 1.4, 0.9, 1.1, 1.8, 1.1, 0.8, 2.3, 1.3, 0.7, 1.0, 1.8, 1.1, 0.4, 1.3, 0.5, 1.2, 1.7) * 1e3$$

Vediamo l'istogramma di distribuzione delle velocità:

$$\text{hist}(v, n=5) ; \text{windows}() ; \text{hist}(v, n=5, \text{probability}=\text{TRUE})$$

42. Spiega con parole tue il significato dei 2 istogrammi

43. Quali sono la moda e la media di questa distribuzione?

Ora calcoliamo l'energia cinetica media di traslazione delle 25 molecole, espressa in joule:

$$EC\_trasl \leftarrow 0.5 * m * v^2 ; \text{mean}(EC\_trasl)$$

44. Come sono definite la media di  $v^2$  e il quadrato della velocità media? I due termini hanno lo stesso valore? Se la risposta è no, qual è più grande?

Nella lezione 22 abbiamo studiato il modello microscopico di gas ideale, e siamo giunti alla conclusione che  $P * V = 2/3 * N * \langle EC\_trasl \rangle$ . Nella lezione 25 ricordiamo l'espressione macroscopica dell'equazione dei gas:  $P * V = n * R * T$ , oppure  $P * V = N * k * T$ . Confrontando le due equazioni ricaviamo che  $\langle EC\_trasl \rangle = 3/2 * k * T$ . Ricordiamo il legame tra costante dei gas, costante di Avogadro, e costante di Boltzmann:

$$R \leftarrow 8.31 ; N\_A \leftarrow 6.02e23 ; k \leftarrow R / N\_A$$

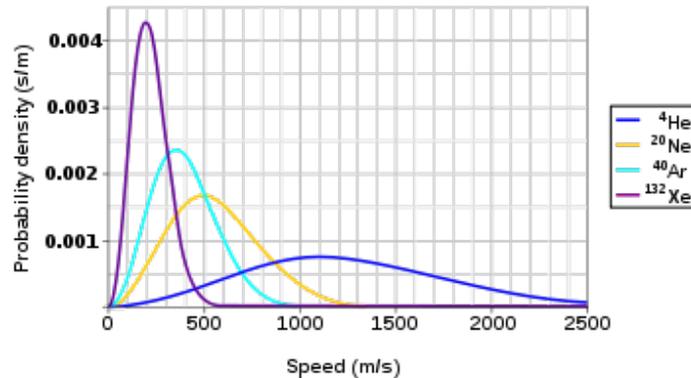
45. Calcola "a mano" il valore della costante di Boltzmann

46. Dal confronto delle due equazioni ricava la temperatura del gas.

Dovreste avere ottenuto una temperatura non molto diversa dalla temperatura ambiente. Non è un caso: le velocità sono state scelte in modo da arrivare più o meno a questo risultato.

La distribuzione delle velocità delle molecole di elio a temperatura ambiente è fatta così:

Maxwell-Boltzmann Molecular Speed Distribution for Noble Gases



47. Le funzioni rappresentate sono densità di probabilità: come sono definite?
48. Qual è l'area sotto ciascuno dei 4 grafici?
49. Stima, usando il grafico, la probabilità che una molecola di elio abbia velocità compresa tra 1500 e 2000 m/s.
50. Spiega perché le molecole di elio sono molto più veloci, alla stessa temperatura, rispetto a quelle di xeno.
51. Prova a costruire un campione di 25 molecole di neon con velocità distribuite secondo la giusta densità di probabilità.
52. Determinare la massa di ossigeno contenuta in un grande contenitore di lati  $5\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$  alla temperatura di  $20^\circ\text{C}$  e alla pressione di  $0.9 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Assumere come massa molecolare dell'ossigeno il valore di  $32 \text{ g/mol}$ .
53. Perché ogni pentola a pressione deve recare una valvola di sicurezza?
54. Perché in una pentola a pressione i cibi cuociono più rapidamente?
55. Vero o falso? Se 20 grammi di un gas ideale A si trovano alla stessa temperatura di 20 grammi di un gas ideale B, allora il corrispondente prodotto PV avrà lo stesso valore.
56. In un gas, pressione e temperatura assoluta si dimezzano; come varia il volume?
57. In un contenitore sono mescolate, alla medesima temperatura, molecole di elio e molecole di argon. Hanno la stessa energia cinetica? Hanno la stessa velocità?
58. È dato un certo volume di gas ideale. Se si raddoppia la pressione tenendo costante il volume, come variano la temperatura e la velocità delle molecole del gas?
59. È dato un volume V di un gas ideale. Se si dimezza la temperatura, mantenendo costante la pressione, come variano il volume del gas e la velocità delle molecole che costituiscono il gas?
60. 56 g di azoto sono contenuti in un recipiente di volume  $10 \text{ dm}^3$  alla temperatura di  $27^\circ\text{C}$ . Determina la pressione esercitata dal gas. Si tenga presente che la massa

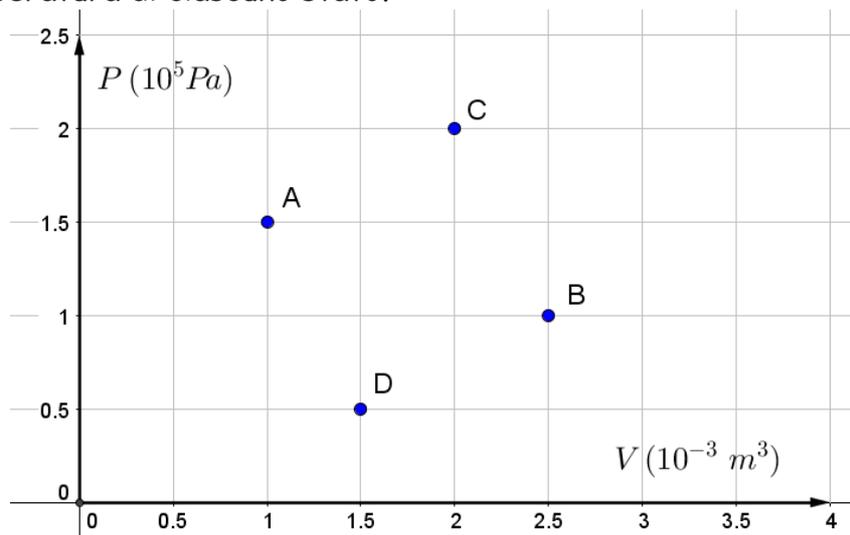
molare dell'azoto è 28 g/mol.

61. Due recipienti di ugual volume contengono due gas diversi alla temperatura identica di 300 K. Nel primo recipiente si rileva una pressione tripla di quella dell'altro. Determinare il rapporto tra il numero di moli del gas contenute nel primo recipiente e il numero di moli del gas contenute nel secondo recipiente.

62. Un aeriforme alla temperatura di 500 K occupa il volume di  $2 \text{ m}^3$ . Quale volume occuperà alla temperatura di 300 K nell'ipotesi che la variazione termica sia avvenuta a pressione costante?

63. Un gas ha un volume di  $0.8 \text{ dm}^3$  e una pressione di  $3.5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  alla temperatura di  $-100^\circ\text{C}$ . Quale temperatura assume il gas se la pressione scende a  $2.8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  e il volume aumenta a  $1.2 \text{ dm}^3$ ? Di quante moli è composto il gas?

64. Gli stati di un gas ideale si possono rappresentare nel piano P - V, cioè il piano in cui l'asse orizzontale rappresenta il volume, quello verticale la pressione. La prossima figura mostra quattro stati di un gas ideale la cui quantità di sostanza è pari a 0.1 mol. Qual è la temperatura di ciascuno stato?



65. Alla figura precedente aggiungi i punti relativi agli stati E e F della stessa quantità di gas ideale ( $n = 0.1 \text{ mol}$ ). Gli stati sono definiti così:  $V_E = 2 \text{ L}$ ,  $T_E = 300 \text{ K}$ ,  $P_F = 1.5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $T_F = 490 \text{ K}$ .

66. Un gas ha un volume iniziale  $V = 40 \text{ L}$ , una pressione  $P = 3 \text{ atm}$  e una temperatura  $t = 400^\circ\text{C}$ . A temperatura costante, il volume è ridotto a 30 L. Successivamente, tenendo costante il nuovo volume, la temperatura viene fatta scendere a  $200^\circ\text{C}$ . Calcolare la pressione finale, il numero di moli del gas e fare un grafico delle due trasformazioni subite.