ICNA - SESSION 2001
ÉPREUVE COMMUNE DE PHYSIQUE
ÉNONCÉ

Questions faisant partie d'un même exercice.

[1,2,3,4,5,6] [7,8,9,10,11,12,13] [14,15,16,17,18,19,20,21] [22,23,24,25,26,27,28,29] [30,31,32,33,34,35,36] [37,38,39,40]

1. Un disque plan, de centre O, de rayon b et d'épaisseur négligeable devant b, seul dans le vide, porte des charges électrostatiques positives réparties uniformément avec la densité σ.
Calculer le potentiel V(P) créé par la distribution au point P de l'axe Oz du disque, de vecteur unitaire $\mathbf{e}_z$, tel que $\overline{OP} = z$ (*figure 1*).
M désigne le point courant du disque situé à la distance ρ du centre O.

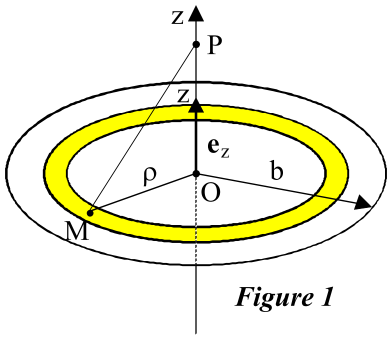


Figure 1

a) $V(P) = \pm \dfrac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\left(b - |z|\right)$

b) $V(P) = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(\sqrt{b^2+z^2} - |z|\right)$

c) $V(P) = \pm \dfrac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{z^2}{\sqrt{b^2+z^2}}$

d) $V(P) = \dfrac{\sigma}{4\varepsilon_0}\left(b \pm \sqrt{b^2+z^2}\right)$

avec + si $z > 0$ et – si $z < 0$.

2. Établir la relation entre les vecteurs champs électrostatiques $\mathbf{E}(0^+)$ et $\mathbf{E}(0^-)$ créés par le disque de part et d'autre et à proximité immédiate du point O sur l'axe z'z.
Lorsque b >> z, indiquer la nature du champ électrostatique créé par le disque.

a) $\mathbf{E}(0^+) - \mathbf{E}(0^-) = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}\mathbf{e}_z$

b) $\mathbf{E}(0^+) - \mathbf{E}(0^-) = -\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}\mathbf{e}_z$

c) Lorsque b >> z, le champ est uniforme sur tout l'espace des z.

d) Lorsque b >> z, le champ est uniforme par morceaux.

3. Soit une couronne circulaire de centre O, de rayons extrêmes b et $b_0 < b$, chargée uniformément avec la densité $\sigma > 0$.
Calculer le potentiel $V_1(P)$ créé par la couronne au point P de son axe tel que $\overline{OP} = z$ (*figure 2*).

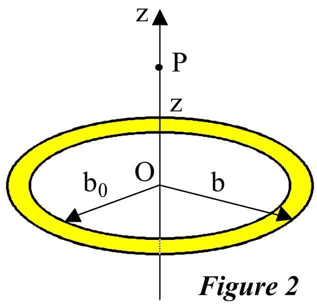


Figure 2

a) $V_1(P) = \pm \dfrac{\sigma}{4\pi\varepsilon_0}\left(b + b_0 - |z|\right)$

b) $V_1(P) = \pm \dfrac{\sigma z^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{1}{\sqrt{b^2+z^2}} - \dfrac{1}{\sqrt{b_0^2+z^2}}\right)$

c) $V_1(P) = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}\left(\sqrt{b^2+z^2} - \sqrt{b_0^2+z^2}\right)$

d) $V_1(P) = \dfrac{\sigma}{4\varepsilon_0}\left(-b_0 + \sqrt{b_0^2+z^2} + b - \sqrt{b^2+z^2}\right)$

avec + si $z > 0$ et – si $z < 0$.

4. Montrer que lorsque la largeur $b - b_0$ de la couronne circulaire est faible devant le rayon b, la distribution de charge est équivalente à une distribution linéique dont on déterminera la densité λ.

a) $\lambda = \sigma(b - b_0)$ b) $\lambda = \sigma \frac{bb_0}{b - b_0}$ c) $\lambda = \frac{\sigma}{2b_0}(b - b_0)^2$ d) $\lambda = \sigma \frac{bb_0^2}{(b - b_0)^2}$

5. Soit Q la charge totale de la distribution linéique. Établir en fonction de z et des paramètres Q et b l'expression du vecteur champ électrostatique $\mathbf{E}_1(P)$ créé par cette distribution au point P sur l'axe z'z. Déterminer les valeurs de z pour lesquelles le champ $\mathbf{E}_1(P)$ présente un extremum.

a) $\mathbf{E}_1(P) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{b^2 z}{(b^2 + z^2)^{5/2}} \mathbf{e}_z$ b) $\mathbf{E}_1(P) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{z}{(b^2 + z^2)^{3/2}} \mathbf{e}_z$

c) Extrema de $E_1(P)$ lorsque $z = \pm \frac{b}{2}$ d) Extrema de $E_1(P)$ lorsque $z = \pm \frac{b}{\sqrt{2}}$

6. On dispose sur l'axe Oz de la distribution linéique circulaire des charges électriques positives réparties uniformément sur le segment OA de longueur b, de telle sorte que la charge totale soit Q (*figure 3*).
Déterminer l'expression de la résultante des forces **F** qu'exerce la distribution linéique circulaire sur les charges du segment OA.

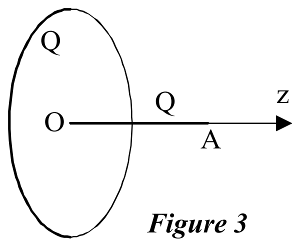
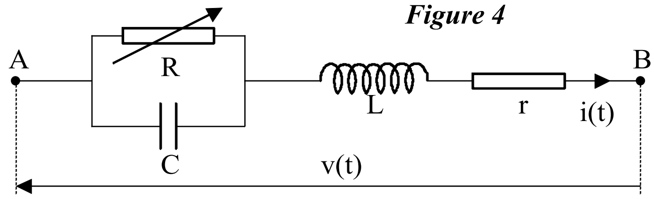


Figure 3

a) $\mathbf{F} = \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{b^2} \frac{\sqrt{2} - 1}{\sqrt{2}} \mathbf{e}_z$ b) $\mathbf{F} = \frac{Q^2}{2\pi\varepsilon_0} \frac{1}{b^2} \mathbf{e}_z$

c) $\mathbf{F} = -\frac{Q^2}{2\pi\varepsilon_0} \frac{1}{\sqrt{2} b^2} \mathbf{e}_z$ d) $\mathbf{F} = \frac{Q^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{b^2} (\sqrt{2} + 1) \mathbf{e}_z$

7. Le dipôle de bornes A et B, représenté sur la figure 4, comporte les deux éléments suivants placés en série :
♦ une bobine réelle (L,r) ;
♦ un rhéostat, de résistance variable R, en parallèle sur un condensateur de capacité C.
Il est alimenté par une tension sinusoïdale v(t) d'amplitude V_0 et de pulsation réglable ω.

Figure 4


On a : L = 10 mH , C = 10^{-2} µF , r = 293 Ω et V_0 = 20 V.
Calculer l'impédance complexe $\underline{Z}$ du dipôle.

a) $\underline{Z} = R + \frac{r}{1 + R^2C^2\omega^2} + j\omega\left(L - \frac{r^2C}{1 + R^2C^2\omega^2}\right)$ b) $\underline{Z} = r + \frac{R}{1 + R^2C^2\omega^2} + j\omega\left(L - \frac{R^2C}{1 + R^2C^2\omega^2}\right)$

c) $\underline{Z} = \frac{rR^2}{R^2 + L^2\omega^2} + j\omega\left(\frac{1}{C\omega^2} + \frac{r^2R}{R^2 + L^2\omega^2}\right)$ d) $\underline{Z} = R + \frac{r^3}{r^2 + L^2\omega^2} + j\omega\left(-\frac{1}{C\omega^2} + \frac{R^2L}{r^2 + L^2\omega^2}\right)$

8. Déterminer la résistance R du rhéostat pour que i(t) et v(t) soient en phase, condition remplie dans toute la suite de l'exercice.

a) $R = \frac{r^2}{C\omega(r^2 + L^2\omega^2)}$ b) $R = \frac{L\omega}{1 + r^2C^2\omega^2}$

c) $R = \sqrt{\frac{L}{C(1 - LC\omega^2)}}$ d) $R = L\omega\sqrt{1 - \frac{1}{2}LC\omega^2}$

9. Donner une expression de $\underline{Z}$ indépendante de ω.

a) $\underline{Z} = R + \frac{L}{rC}$ b) $\underline{Z} = \frac{rL}{R^2C}$ c) $\underline{Z} = r + \frac{L}{RC}$ d) $\underline{Z} = R + \frac{C}{L}r^3$

10. Calculer la valeur maximale ω_{max} de la pulsation ω et la valeur minimale R_{min} de R qui permettent d'assurer le fonctionnement du dispositif.

a) $\omega_{max} = 10^5\,\text{rad.s}^{-1}$ b) $\omega_{max} = 7.10^4\,\text{rad.s}^{-1}$

c) $R_{min} = 5.10^2\,\Omega$ d) $R_{min} = 10^3\,\Omega$

11. Lorsque $\omega = \omega_{max}$, donner l'expression de $\underline{Z}$ et indiquer la constitution du dipôle.

a) $\underline{Z}$ infinie b) $\underline{Z} = r$

c) Le dipôle est un circuit ouvert. d) Le dipôle est un circuit (r,L,C) série.

12. Lorsque $\omega = \dfrac{\omega_{max}}{\sqrt{2}}$, calculer la puissance moyenne $\mathcal{P}_r$ consommée dans la résistance r, exprimée en milliwatt.

a) $\mathcal{P}_r = 58{,}6$ mW b) $\mathcal{P}_r = 1{,}25$ mW c) $\mathcal{P}_r = 0{,}12$ mW d) $\mathcal{P}_r = 11{,}72$ mW

13. En déduire la puissance moyenne $\mathcal{P}_R$ consommée alors dans la résistance R, exprimée en milliwatt.

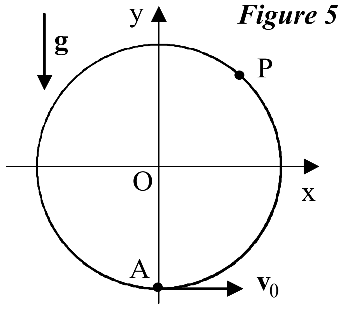
a) $\mathcal{P}_R = 8{,}28$ mW b) $\mathcal{P}_R = 2{,}88$ mW c) $\mathcal{P}_R = 0{,}75$ mW d) $\mathcal{P}_R = 141{,}4$ mW

14. Un mobile modélisé par un point matériel P, de masse m, se déplace sans frottement à l'intérieur d'un guide circulaire de centre O et de rayon b = 15 cm (*figure 5*).

Le guide est dans le plan vertical xOy d'un référentiel galiléen $\mathcal{R}$ dont l'axe Oy est la verticale ascendante. Le champ de pesanteur est supposé uniforme et d'intensité g = 9,81 m.s^{-2}.

P est lancé du point A le plus bas du guide avec la vitesse $\mathbf{v}_0 = v_0\mathbf{e}_x$ ($v_0 > 0$).

Déterminer l'expression du carré de la vitesse v de P en fonction de la coordonnée y de P.



a) $v^2 = v_0^2 + 2g(y-b)$ b) $v^2 = v_0^2 - 2g(y+b)$

c) $v^2 = v_0^2 + g(y+b)$ d) $v^2 = v_0^2 - g(y+b)$

15. Soit $\mathbf{N} = N\mathbf{e}_N$ la réaction qu'exerce le guide sur P, $\mathbf{e}_N$ étant le vecteur unitaire de $\mathbf{PO}$. Déterminer l'expression de N en fonction de y.

a) $N = \dfrac{m}{b}\left(v_0^2 + gy - 2gb\right)$ b) $N = \dfrac{m}{b}\left(v_0^2 - gy + 2gb\right)$

c) $N = \dfrac{m}{b}\left(v_0^2 + 2gy - 3gb\right)$ d) $N = \dfrac{m}{b}\left(v_0^2 - 3gy - 2gb\right)$

16. En déduire la valeur y_1 de y pour laquelle le mobile quitte le guide.

a) $y_1 = \dfrac{3gb - v_0^2}{2g}$ b) $y_1 = \dfrac{v_0^2 + 2gb}{g}$ c) $y_1 = \dfrac{v_0^2 - 2gb}{3g}$ d) $y_1 = \dfrac{v_0^2 - 2gb}{g}$

17. Définir, en fonction des coordonnées x_1 et y_1 du point P_1 de séparation, le vecteur vitesse $\mathbf{v}_1$ du mobile en P_1 par sa norme v_1 et sa pente $\tan\alpha_1$.

a) $v_1 = \sqrt{gy_1}$ b) $v_1 = \sqrt{2gy_1}$ c) $\tan\alpha_1 = -\dfrac{x_1}{y_1}$ d) $\tan\alpha_1 = \dfrac{x_1}{y_1}$

18. Indiquer la condition à laquelle doit satisfaire la vitesse initiale v_0 pour que la séparation ait effectivement lieu.

a) $v_0 \le 2{,}71\,\text{m.s}^{-1}$ b) $v_0 \le 1{,}21\,\text{m.s}^{-1}$ c) $v_0 \ge 1{,}71\,\text{m.s}^{-1}$ d) $v_0 \ge 1{,}21\,\text{m.s}^{-1}$

19. On suppose que le mobile P quitte le guide lorsque $y_1 = \dfrac{b}{\sqrt{3}}$. Indiquer la valeur que doit avoir v_0 pour qu'il en soit ainsi.

a) $v_0 = 2{,}34$ m.s^{-1} b) $v_0 = 0{,}47$ m.s^{-1} c) $v_0 = 0{,}05$ m.s^{-1} d) $v_0 = 0{,}02$ m.s^{-1}

20. Dans ces conditions, calculer la vitesse v' que possède P lorsqu'il se retrouve sur l'axe des x. La résistance de l'air est supposée négligeable.
a) $v' = 5{,}93\ m.s^{-1}$ b) $v' = 4{,}60\ m.s^{-1}$ c) $v' = 3{,}93\ m.s^{-1}$ d) $v' = 1{,}60\ m.s^{-1}$

21. Déterminer l'abscisse X du (des) point(s) de l'axe Ox appartenant à la trajectoire de P.
a) $X = -8{,}6$ cm b) $X = 0$ c) $X = 0$ et $X = 24{,}5$ cm d) $X = -5$ cm et $X = 10$ cm

22. Une onde plane monochromatique, de fréquence $N = 2{,}7.10^8$ Hz, se propage dans le vide selon l'axe Δ passant par l'origine O du repère (Oxyz). Les composantes du vecteur unitaire de Δ sont : $\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$.
On rappelle que :
♦ $c = 3.10^5\ km.s^{-1}$ vitesse de la lumière dans le vide
♦ $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ SI perméabilité magnétique du vide
♦ ε_0 tel que $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9$ SI permittivité diélectrique du vide
Au point P (x,y,z) et à la date t, la phase est $\Phi(x, y, z, t) = \varphi(x, y, z) - \omega t$. Elle est nulle en O à l'instant t = 0.
Calculer les composantes du vecteur d'onde **k**.
a) $\mathbf{k}\,(0{,}4{,}4)$ b) $\mathbf{k}\,(0, 0{,}314, 0{,}314)$ c) $\mathbf{k}\,(0, 2.10^{-2}, 2.10^{-2})$ d) $\mathbf{k}\,(0, \sqrt{2}.10^{-4}, \sqrt{2}.10^{-4})$

23. Montrer que les plans d'onde sont parallèles à la direction d'un axe fixe.
a) axe Oy b) axe Oz c) axe Ox d) axe Δ

24. A l'instant t = 0, le plan d'onde contient l'origine O du repère. Calculer, en microseconde l'instant t_M où l'onde atteindra le point M de coordonnées (100m, 248,4m, 600m).
a) $t_M = 10\ \mu s$ b) $t_M = 14{,}14\ \mu s$ c) $t_M = 0{,}14\ \mu s$ d) $t_M = 2\ \mu s$

25. Le vecteur champ électrique **E**(P,t) = **E** a des composantes de la forme :
$$E_x = E_{0x} \cos\Phi(x, y, z, t),\ E_y = E_{0y} \cos\Phi(x, y, z, t),\ E_z = -E_{0z} \cos\Phi(x, y, z, t)$$
où E_{0x}, E_{0y} et E_{0z} sont des constantes positives ou nulles.
Déterminer $\Phi(x,y,z,t) = \Phi$.
a) $\Phi = 2.10^{-2}(y + z) - 1{,}7.10^8\, t$ b) $\Phi = 4(y + z) - 17.10^8\, t$
c) $\Phi = y + z - 10^8\, t$ d) $\Phi = x + y + z - 10^9\, t$

26. La puissance moyenne $\langle \mathcal{P} \rangle$ rayonnée à travers une surface unité perpendiculaire à la direction de propagation (encore appelée intensité de l'onde) est de 24 mW.
Calculer l'amplitude E_0 du vecteur champ électrique.
a) $E_0 = 2{,}13.10^{-2}\ V.m^{-1}$ b) $E_0 = 1{,}07.10^{-1}\ V.m^{-1}$
c) $E_0 = 3{,}12.10^{-1}\ V.m^{-1}$ d) $E_0 = 4{,}25\ V.m^{-1}$

27. Sachant que le vecteur champ électrique reste toujours parallèle au plan yOz, déterminer complètement ses composantes.
a) $\mathbf{E}\,(0, 3.10^{-2}\cos\Phi, 3.10^{-2}\cos\Phi)$
b) $\mathbf{E}\,(1{,}5.10^{-1}\cos\Phi, 10^{-1}\cos\Phi, -10^{-1}\cos\Phi)$
c) $\mathbf{E}\,(0, 3\cos\Phi, 3\cos\Phi)$
d) $\mathbf{E}\,(3{,}12.10^{-2}\cos\Phi, 3{,}12.10^{-2}\cos\Phi, -2{,}2.10^{-2}\cos\Phi)$

28. La polarisation de l'onde est-elle :
a) rectiligne ? b) circulaire droite ? c) circulaire gauche ? d) elliptique ?

29. Déterminer les composantes du vecteur champ magnétique **B**(P,t) = **B** de l'onde.
a) $\mathbf{B}\,(0, 1{,}4.10^{-8}\cos\Phi, 0)$ b) $\mathbf{B}\,(-1{,}4.10^{-8}\cos\Phi, 0, 0)$
c) $\mathbf{B}\,(3.10^{-10}\cos\Phi, 0, -3.10^{-10}\cos\Phi)$ d) $\mathbf{B}\,(4.10^{-10}\cos\Phi, -4.10^{-10}\cos\Phi, 0)$

30. Sur deux rails conducteurs rectilignes parallèles à la distance b l'un de l'autre et placés dans un plan horizontal, se déplace sans frottement et perpendiculairement aux rails, une barre rigide MN (*figure 6*).
Les deux rails sont reliés à leurs extrémités M_0 et N_0 par une résistance R. La résistance de la barre MN est des rails est négligeable devant R. De même, l'inductance propre du circuit ainsi réalisé peut être négligée.
Le dispositif est dans une région de l'espace où règne un champ magnétique statique et uniforme **B** vertical et ascendant.
On éloigne la barre MN de la partie fixe du circuit M_0N_0 à la vitesse constante $\mathbf{v} = v\mathbf{e}_x$ ($v > 0$). On choisit comme sens positif de parcours sur le circuit le sens de M vers N. Indiquer le sens de circulation du courant induit dans la barre.

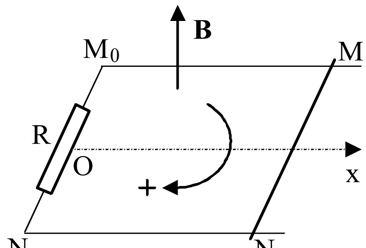


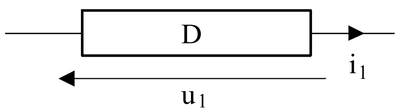
Figure 6

a) Le courant circule de M vers N. b) Le courant circule de N vers M.
c) Le courant est alternatif. d) Le courant ne circule pas.

31. Calculer la force électromotrice induite e sachant que B = 0,8 T, b = 10 cm et v = 15 m.s^{-1}.
a) e = –0,5 V b) e = 1,2 V c) e = 0,2 V d) e = –2,4 V

32. On rappelle que la puissance électrique est, dans le cas d'un dipôle D, $\mathcal{P}_1 = u_1 i_1$ (*figure 7*), où u_1 est la tension aux bornes et i_1 l'intensité du courant qui traverse D.
Calculer l'intensité i du courant induit et la puissance électrique induite $\mathcal{P}$ dans la barre que l'on exprimera respectivement en milliampère et en milliwatt. On donne R = 20 Ω.

Figure 7



a) i = 600 mA b) i = –50 mA
c) $\mathcal{P}$ = –720 mW d) $\mathcal{P}$ = 25 mW

33. Indiquer le sens en l'intensité F de la force nécessaire pour assurer le déplacement de la barre.
a) Sens des x < 0 b) Sens des x > 0
c) F = 4,8.10^{-2} N d) F = 10^{-4} N

34. On insère dans la branche M_0N_0 du circuit un générateur de tension continue de force électromotrice E = 1,4 V dont la borne positive est reliée à M_0 (*figure 8*) et dont la résistance interne est r = 0,5 Ω.
On *rapproche* la barre MN de la partie fixe du circuit M_0N_0 toujours à la vitesse constante v.
Déterminer la valeur v_1 non nulle de la vitesse v pour laquelle s'annule la puissance électrique induite $\mathcal{P}'$ dans la barre.

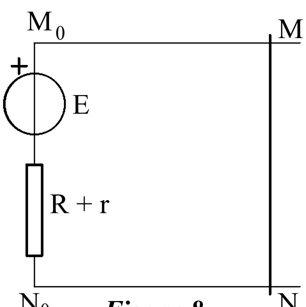


Figure 8

a) v_1 = 6,25 m.s^{-1}
b) v_1 = –17,5 m.s^{-1}
c) v_1 = 0,87 m.s^{-1}
d) v_1 = –3,63 m.s^{-1}

35. Lorsqu'on fait varier la vitesse v dans l'intervalle $[v_1, 0]$, la puissance $\mathcal{P}'$ présente un extremum. Calculer la valeur correspondante $\mathcal{P}'_m$ de $\mathcal{P}'$.
a) $\mathcal{P}'_m$ = 196 mW b) $\mathcal{P}'_m$ = –150 mW c) $\mathcal{P}'_m$ = –50 mW d) $\mathcal{P}'_m$ = 86 mW

36. Lorsque $v < v_1$, indiquer le signe de $\mathcal{P}'$.
De façon générale, le dipôle que constitue la barre MN est actif ou passif (*le dispositif se comporte alors comme un générateur type dynamo ou comme récepteur type moteur*). Préciser ici la nature du fonctionnement de ce dipôle.
a) $\mathcal{P}' > 0$ b) $\mathcal{P}' < 0$
c) fonctionnement générateur d) fonctionnement moteur

37. Deux réservoirs A et B, aux parois indéformables contiennent de l'azote, dont on suppose qu'il se comporte comme un gaz parfait. Les mesures de la pression, de la température et du volume de l'azote dans chaque réservoir donnent les résultats suivants :

	Réservoir A	Réservoir B
Pression (Pa)	10^4	3.10^4
Température (°C)	27	47
Volume (m3)	17,8	9,5

On rappelle que :

♦ une mole d'azote a une masse de 28 g ;

♦ la constante des gaz parfaits est R = 8,31 $J.K^{-1}.mol^{-1}$;

♦ $\gamma = \dfrac{c_p}{c_V} = 1{,}4$, c_p et c_V désignent respectivement les capacités thermiques massiques de l'azote à pression et volume constants.

Calculer les masses m_A et m_B d'azote contenu dans les réservoirs A et B.

a) $m_A = 1{,}2$ kg b) $m_A = 2$ kg c) $m_B = 4{,}1$ kg d) $m_B = 3$ kg

38. Après mise en communication des deux réservoirs, un équilibre s'instaure pour une pression $p_e = 1{,}66.10^4$ Pa. Calculer la température θ_e à l'équilibre en °C.

a) $\theta_e = 45$°C b) $\theta_e = 32{,}5$°C c) $\theta_e = 24$°C d) $\theta_e = 19{,}5$°C

39. La mise en communication des deux réservoirs se fait sans mise en jeu de travail. Calculer le transfert thermique Q reçu par le gaz au cours de cette opération.

a) Q = 12 kJ b) Q = 18 kJ c) Q = –24,5 kJ d) Q = –35 kJ

40. On renouvelle l'expérience dans des conditions différentes : on fait en sorte que l'ensemble des deux réservoirs soit parfaitement calorifugé ; le gaz constitue alors un système thermodynamique isolé. Déterminer, en °C, la température θ'_e pour laquelle s'établit l'équilibre, après mise en communication des deux réservoirs.

a) $\theta'_e = 26$°C b) $\theta'_e = 30$°C c) $\theta'_e = 33$°C d) $\theta'_e = 39$°C