

ENAC – EPL (pilote) 2023 : Physique

Fichier docx réservé aux adhérents de l'UPS et leurs étudiants.

Remarques, erreurs, etc. : matthieu.queval@outlook.com

Partie 1 : Cinématique de la valve d'une roue de vélo

On s'intéresse à la trajectoire et aux grandeurs cinématiques (vitesse, accélération) de la valve d'une roue (centre C , rayon R) de vélo dans le référentiel du laboratoire \mathcal{R} . Cette valve est assimilée à un point M (Fig. 1). Le mouvement de M est analysé dans \mathcal{R} ; on suppose qu'il s'effectue dans le plan Oxy , où O est l'origine du repère cartésien dont la base est $\{\vec{e}_x, \vec{e}_y\}$, \vec{e}_x et \vec{e}_y étant des vecteurs unitaires ; x et y désignent respectivement les coordonnées cartésiennes de M .

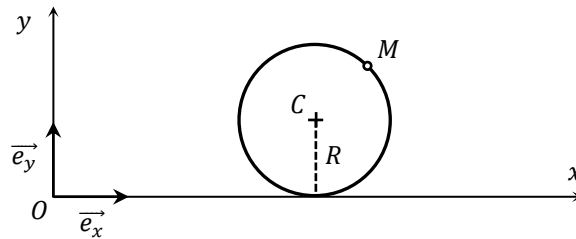


Fig. 1 – Roue de vélo

Le vecteur position de M est donné par $\vec{OM} = R[\omega t - \sin(\omega t)]\vec{e}_x + R[1 - \cos(\omega t)]\vec{e}_y$, où ω est une grandeur constante, t désignant le temps.

- Quelle est l'expression du vecteur vitesse \vec{v} de M dans \mathcal{R} ?

A) $\vec{v} = R\omega[1 - \cos(\omega t)]\vec{e}_x + R\omega \sin(\omega t)\vec{e}_y$	C) $\vec{v} = R\omega[1 + \cos(\omega t)]\vec{e}_x - R\omega \sin(\omega t)\vec{e}_y$
B) $\vec{v} = R[1 - \cos(\omega t)]\vec{e}_x + R \sin(\omega t)\vec{e}_y$	D) $\vec{v} = R\omega \cos(\omega t)\vec{e}_x + R\omega[\omega t - \sin(\omega t)]\vec{e}_y$
- Déduire la norme $v = \|\vec{v}\|$ du vecteur vitesse.

A) $v = \sqrt{2}R\omega \cos(\omega t)$	C) $v = 2R\omega \cos(\omega t)$
B) $v = \sqrt{2}R\omega[1 - \cos(\omega t)]^{\frac{1}{2}}$	D) $v = R\omega[1 - \cos(\omega t)]^{\frac{1}{2}}$
- Quelle est l'expression du vecteur accélération \vec{a} de M dans \mathcal{R} ?

A) $\vec{a} = R\omega^2 \cos(\omega t)\vec{e}_x + R\omega^2 \sin(\omega t)\vec{e}_y$	C) $\vec{a} = R\omega \sin(\omega t)\vec{e}_x + R\omega \cos(\omega t)\vec{e}_y$
B) $\vec{a} = R\omega \cos(\omega t)\vec{e}_x + R\omega \sin(\omega t)\vec{e}_y$	D) $\vec{a} = R\omega^2 \sin(\omega t)\vec{e}_x + R\omega^2 \cos(\omega t)\vec{e}_y$
- Parmi les propositions suivantes, lesquelles sont exactes ?

A) La vitesse de M ne s'annule jamais.	B) L'accélération de M ne s'annule jamais.
C) Les composantes a_y et v_x s'annulent aux mêmes instants.	D) La vitesse de M s'annule aux instants $t = n \frac{2\pi}{\omega}$ où n est un entier naturel.
- Quelle est la distance parcourue par le centre C de la roue lorsque $t = \frac{2\pi}{\omega}$?

A) πR	B) $2\pi R$	C) $2R$	D) R
------------	-------------	---------	--------
- On appelle rayon de courbure, $\rho(t)$, à la trajectoire en un point M à l'instant t , le rayon d'un cercle tangent particulier appelé cercle osculateur. Ce cercle unique « épouse au mieux la courbe en M » (aucune connaissance sur cette notion n'est nécessaire pour répondre à la question). On admet que l'expression du rayon de courbure est, ici :

$$\rho(t) = \left| \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{\frac{3}{2}}}{\dot{x}\dot{y} - \dot{y}\dot{x}} \right|$$

Donner l'expression de $\rho(t)$ pour le mouvement de M .

- | | |
|------------------|---|
| A) $\rho(t) = 0$ | C) $\rho(t) = 2R \cos(\omega t)$ |
| B) $\rho(t) = R$ | D) $\rho(t) = 2\sqrt{2}R[1 - \cos(\omega t)]^{\frac{1}{2}}$ |

Partie 2 : Réglage d'un appareil photographique

Dans une version simplifiée, un appareil photographique est modélisé par une lentille (l'objectif) mince convergente \mathcal{L} , de vergence $V = 10 \delta$, à la distance de laquelle se trouve un écran (l'élément photosensible).

Les distances sont algébriques, le sens positif étant celui de la lumière incidente. Dans tout l'exercice, on admet que les conditions de Gauss sont satisfaites.

7. À quelle distance de la lentille doit se trouver l'écran si on veut photographier des objets très éloignés ?
 A) 10 cm B) 1 cm C) 1 mm D) On ne peut rien dire *a priori*
8. Après avoir effectué la mise au point à l'infini, on souhaite photographier un objet A_o , supposé ponctuel, situé sur l'axe optique à 4,10 m de la lentille. Dans quel sens, et de quelle distance, faut-il déplacer l'écran afin de réaliser la mise au point ?
 A) Il faut déplacer l'écran de 2,5 mm en le rapprochant de l'objectif.
 B) Il faut déplacer l'écran de 2,5 mm en l'éloignant de l'objectif.
 C) Il ne faut pas déplacer l'écran.
 D) Il faut déplacer l'écran de 4 mm en l'éloignant de l'objectif.
9. La construction de l'appareil impose une distance maximale entre la lentille et l'écran de 10,5 cm. À quelle distance minimale d_m de la lentille doit se trouver A_o pour que celle-ci en donne une image nette A_i sur l'écran ?
 A) $d_m = 1$ m B) $d_m = 10$ cm C) $d_m = 2,1$ m D) $d_m = 21$ cm
10. Pour caractériser la profondeur de champ de cet appareil, on tolère que l'image sur l'écran ne soit pas ponctuelle, mais forme une tache de diamètre D_t (Fig. 2). La tolérance recherchée ici s'obtient en considérant les objets A_o et A'_o , situés sur l'axe optique, dont les images conjuguées, respectivement A_i et A'_i , fixent la valeur de D_t (Fig. 2). Sur cette figure, et parmi les propositions ci-dessous, D_o désigne le diamètre de la lentille et e la distance maximale à laquelle on peut éloigner l'écran au-delà du foyer image de la lentille.

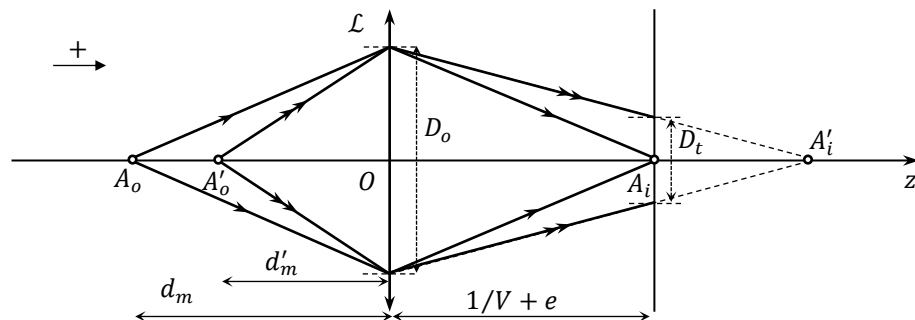


Fig. 2 - Modélisation d'un appareil photographique

Quelle est, en fonction de D_o , D_t , V et e l'expression de la distance $\overline{A_i A'_i}$?

- A) $\overline{A_i A'_i} = D_t \frac{1/V+e}{D_o-D_t}$ B) $\overline{A_i A'_i} = D_t \frac{1/V-e}{D_o-D_t}$ C) $\overline{A_i A'_i} = -D_t \frac{1/V+e}{D_o-D_t}$ D) $\overline{A_i A'_i} = D_t \frac{1/V-e}{D_o+D_t}$

11. En déduire l'expression de d'_m .

- A) $d'_m = \frac{D_o(e+1/V)}{D_t+D_oVe}$ B) $d'_m = \frac{D_o(e+1/V)}{D_t-D_oVe}$ C) $d'_m = \frac{D_t(e+1/V)}{D_t+D_oVe}$ D) $d'_m = \frac{D_t(e+1/V)}{D_o+D_tVe}$

12. Comment varie d'_m si on modifie D_o ?

- A) d'_m diminue si D_o diminue. C) d'_m augmente si D_o diminue.
 B) d'_m diminue si D_o augmente. D) On ne peut rien dire *a priori*.

Partie 3 : Décharge d'un condensateur dans un autres condensateur

On considère le montage de la figure 3 dans lequel un générateur est une source idéale de tension E constante, avec $R = 1 \text{ k}\Omega$ et $C_0 = 10 \text{ nF}$. Initialement les circuits sont ouverts (interrupteur K en position milieu) et les condensateurs sont déchargés. À l'instant initial, on ferme K en position 1. Dans tout l'exercice t désigne le temps.

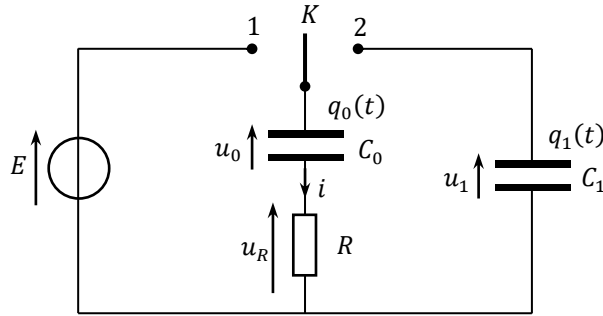


Fig. 3 - Montage à deux condensateurs

13. Quelle est l'équation différentielle décrivant l'évolution de la charge $q_0(t)$ portée par l'armature de C_0 en contact avec K (cf. figure 3) ? Donner la solution de cette équation.

A) $\frac{dq_0}{dt} - \frac{q_0}{RC_0} = -\frac{E}{R}$
 B) $\frac{dq_0}{dt} + \frac{q_0}{RC_0} = \frac{E}{R}$

C) $q_0(t) = C_0 E \left[\exp\left(-\frac{t}{RC_0}\right) - 1 \right]$
 D) $q_0(t) = C_0 E \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{RC_0}\right) \right]$

14. Le régime établi (dit aussi permanent) étant atteint, on bascule K en position 2 à un nouvel instant pris comme nouvelle origine temporelle. Quelle est l'équation différentielle vérifiée par q_0 ?

A) $\frac{dq_0}{dt} - \frac{q_0}{\tau} = \frac{C_0 E}{C_1 R}$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$
 B) $\frac{dq_0}{dt} + \frac{q_0}{\tau} = \frac{C_0 E}{C_1 R}$ avec $\tau = RC_1$

C) $\frac{dq_0}{dt} + \frac{q_0}{\tau} = 0$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$
 D) $\frac{dq_0}{dt} + \frac{q_0}{\tau} = \frac{C_0 E}{C_1 R}$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$

15. Quelle est alors, pour $t > 0$, l'expression de $q_0(t)$?

A) $q_0(t) = E \frac{C_0}{C_0 + C_1} \left[\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - 1 \right]$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$
 B) $q_0(t) = E \frac{C_0}{C_0 + C_1} \left[C_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + C_0 \right]$ avec $\tau = RC_0$
 C) $q_0(t) = E \frac{C_0}{C_0 + C_1} \left[C_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + C_0 \right]$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$
 D) $q_0(t) = C_0 E \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$

16. Exprimer la charge $q_1(t)$ portée par l'armature de C_1 en contact avec K (cf. figure 3).

A) $q_1(t) = E \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$
 B) $q_1(t) = E \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$ avec $\tau = RC_1$
 C) $q_1(t) = E \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1} \left[1 + \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$
 D) $q_1(t) = C_1 E \left[\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) - 1 \right]$ avec $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$

17. Déterminer, au bout d'une durée suffisamment longue ($t \gg t_b$) le rapport $r_\epsilon = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_0}$ entre l'énergie emmagasinée, ϵ_1 , par le condensateur C_1 et l'énergie ϵ_0 qu'avait emmagasiné le condensateur C_0 juste avant le basculement de K en position 2.

A) $r_\epsilon = \frac{C_0 C_1}{2(C_0 + C_1)^2}$ B) $r_\epsilon = \frac{C_0 C_1}{(C_0 + C_1)^2}$ C) $r_\epsilon = \frac{2C_0 C_1}{(C_0 + C_1)^2}$ D) $r_\epsilon = \frac{C_0}{C_0 + C_1}$

18. Le condensateur C_1 est en fait le condensateur équivalent à n condensateurs de même capacité C_0 placés en parallèle. Que devient alors le rapport précédent ?

A) $r_\epsilon = \frac{n}{2(1+n)^2}$ B) $r_\epsilon = \frac{n}{(1+n)^2}$ C) $r_\epsilon = 1$ D) $r_\epsilon = 0$

Partie 4 : Transformations thermodynamiques du diazote

Une quantité de n moles de diazote, gaz supposé parfait, subit, successivement, les transformations thermodynamiques suivantes :

- T1 : une transformation adiabatique réversible de l'état initial E_i (température T_i , pression p_i) à l'état E' (température T' , pression $p_i(1 + \varepsilon)$) ;
- T2 : une transformation isobare de l'état E' à l'état final E_f (température $T_f = T_i$, pression p_f).

On note :

- V_i, V' et V_f les volumes occupés par le gaz dans les états E_i, E' et E_f respectivement ;
- γ le rapport $\frac{C_p}{C_v}$ des capacités thermiques du gaz à pression constante (C_p) et volume constant (C_v) ;
- $R \approx 8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits.

19. Quelles sont, en fonction de V_i, ε et γ , les expressions de V' et de V_f ?

A) $V' = V_i(1 + \varepsilon)^{-\frac{1}{\gamma}}$ B) $V' = V_i(1 + \varepsilon)^{\frac{1}{\gamma}}$ C) $V_f = V_i(1 + \varepsilon)$ D) $V_f = \frac{V_i}{1 + \varepsilon}$

20. Donner l'expression de T' en fonction de T_i, ε et γ .

A) $T' = T_i(1 + \varepsilon)^{-\frac{1}{\gamma}}$ B) $T' = T_i(1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}}$ C) $T' = T_i(1 + \varepsilon)^{\frac{1}{\gamma} - 1}$ D) $T' = T_i(1 + \varepsilon)^{\gamma - 1}$

21. Déterminer le travail (algébrique) $W_{E_i E'}$ reçu par le gaz au cours de la transformation T1.

A) $W_{E_i E'} = \frac{p_i V_i}{1 - \gamma} \left[(1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$ C) $W_{E_i E'} = \frac{p_i V_i}{\gamma - 1} \left[(1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$
 B) $W_{E_i E'} = \frac{p_i V_i}{\gamma - 1} \left[(1 + \varepsilon)^{\frac{1}{\gamma} - 1} - 1 \right]$ D) $W_{E_i E'} = p_i V_i \frac{(1 + \varepsilon)^{\frac{1}{\gamma} - 1}}{\gamma - 1}$

22. Déterminer le travail (algébrique) $W_{E' E_f}$ reçu par le gaz au cours de la transformation T2.

A) $W_{E' E_f} = -p_i V_i \left[1 + (1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}} \right]$ C) $W_{E' E_f} = -p_i V_i \left[1 - (1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}} \right]$
 B) $W_{E' E_f} = p_i V_i \left[1 - (1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}} \right]$ D) $W_{E' E_f} = p_f V_f (1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}}$

23. Après avoir donné l'expression du bilan d'énergie interne ΔU entre les états E_i et E_f , déterminer la chaleur, ou transfert thermique (algébrique), Q , reçue par le gaz au cours de la série de transformations qui l'amène de E_i à E_f .

A) $\Delta U = 0$ C) $Q = -p_i V_i \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[(1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$
 B) $\Delta U = p_i V_i \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[(1 + \varepsilon)^{1 - \frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$ D) $Q = p_i V_i \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[(1 + \varepsilon)^{\frac{1}{\gamma} - 1} - 1 \right]$

24. Que deviennent les expressions du travail total $W = W_{E_i E'} + W_{E' E_f}$ et de Q si $\varepsilon \ll 1$?

A) $W = 0$ B) $W \approx p_i V_i \varepsilon$ C) $Q = 0$ D) $Q \approx -p_i V_i \varepsilon$

Partie 5 : Glissade d'un corpuscule sur un hémisphère

Un corpuscule matériel A (masse m) glisse, sans frottement, sous l'action de son poids sur la surface d'un hémisphère de rayon r . On suppose que le mouvement de A s'effectue dans un plan vertical (Fig. 4). Le référentiel terrestre, lié à l'hémisphère dans lequel on étudie le mouvement de A est supposé galiléen. Ce dernier est doté d'un repère cartésien d'origine O et de base $\mathcal{B} = \{\vec{e}_x, \vec{e}_y\}$, \vec{e}_x et \vec{e}_y étant deux vecteurs unitaires portés par les axes Ox et Oy , x et y désignant les coordonnées cartésiennes de A . La position de A est définie par l'angle polaire $\varphi(t)$; la base polaire $\{\vec{e}_\rho, \vec{e}_\varphi\}$ est représentée sur le schéma. À l'instant initial, A est situé au sommet S de l'hémisphère et possède un vecteur vitesse \vec{v}_0 tangent à l'hémisphère. Dans tout l'exercice, on note \vec{g} le champ de pesanteur ; $g \approx 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ est sa norme.

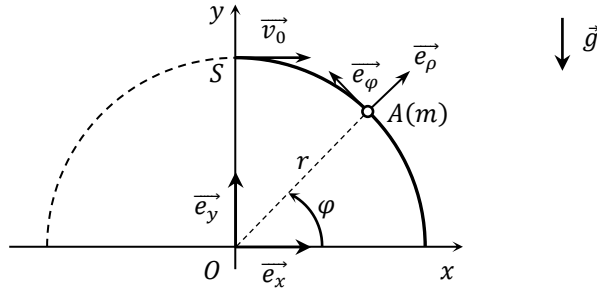


Fig. 4 – Glissade d'un objet assimilé à un corpuscule matériel A

25. Quelles sont les équations du mouvement de A ? Dans les expressions ci-dessous, R_n désigne la composante normale de la force de réaction du support hémisphérique.
- A) $\begin{cases} -mr\dot{\varphi}^2 = -mg \sin \varphi + R_n \\ r\ddot{\varphi} = -g \cos \varphi \end{cases}$ C) $\begin{cases} r\dot{\varphi}^2 = g \sin \varphi \\ r\ddot{\varphi} = g \cos \varphi \end{cases}$
- B) $\begin{cases} -mr\dot{\varphi}^2 = -mg \cos \varphi + R_n \\ r\ddot{\varphi} = -g \sin \varphi \end{cases}$ D) $\begin{cases} mr\dot{\varphi}^2 = -mg \cos \varphi + R_n \\ r\ddot{\varphi} = g \sin \varphi \end{cases}$
26. Quelles sont l'énergie cinétique, ε_k , et l'énergie potentielle, ε_p , de A ? Pour le calcul de cette dernière, la référence est prise à 0 en $y = 0$.
- A) $\varepsilon_k = \frac{mr\dot{\varphi}^2}{2}$ B) $\varepsilon_k = \frac{m(r\dot{\varphi})^2}{2}$ C) $\varepsilon_p = mgr \sin \varphi$ D) $\varepsilon_p = mgr(1 - \cos \varphi)$
27. Donner l'expression de la vitesse v de A en fonction de sa position. Dans les propositions ci-dessous, v_0 est la norme du vecteur vitesse initial ($v_0 = \|\vec{v}_0\|$).
- A) $v = \sqrt{2gr(1 + \sin \varphi) + v_0^2}$ C) $v = \sqrt{2gr(1 - \sin \varphi)}$
- B) $v = \sqrt{2gr(1 - \sin \varphi) + v_0^2}$ D) $v = \sqrt{2gr(1 - \sin \varphi) - v_0^2}$
28. Dédurre de ce qui précède l'expression de la composante normale R_n de la force de réaction.
- A) $R_n = m \left[g(3 \sin \varphi - 2) - \frac{v_0^2}{r} \right]$ C) $R_n = m \left[g(\sin \varphi - 1) - \frac{v_0^2}{r} \right]$
- B) $R_n = m \left[g(3 \sin \varphi - 2) + \frac{v_0^2}{r} \right]$ D) $R_n = 0$
29. Quel est le sinus de l'angle φ pour lequel A quitte la piste hémisphérique si $v_0 = 0$. Dans la suite de l'exercice, on prendra $v_0 = 0$.
- A) $\sin \varphi = \frac{1}{2}$ B) $\sin \varphi = \frac{1}{3}$ C) $\sin \varphi = \frac{2}{3}$ D) $\sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}$
30. Une fois le contact rompu, A évolue alors sans frottement dans le champ de pesanteur uniforme. Parmi les affirmations ci-dessous, identifier celles qui sont exactes.
- A) La trajectoire de A est rectiligne.
- B) La vitesse de A selon l'axe Ox est nulle.
- C) L'accélération de A possède deux composantes cartésiennes non nulles.
- D) La vitesse de A lorsqu'il touche le sol est $\sqrt{2gr}$.

Partie 6 : Électron accéléré et champ magnétostatique

Dans un canon de microscope électronique, un électron A (masse m_e , charge électrique $-e$) est émis, avec une vitesse initiale négligeable, le long d'un axe Ox , par une plaque métallique \mathcal{P}_1 portée à un potentiel nul. Cet électron est accéléré, dans le vide, grâce à une grille métallique \mathcal{P}_2 portée à un potentiel constant $V_a = 100$ V (Fig. 5). Les plaques \mathcal{P}_1 et \mathcal{P}_2 sont habituellement appelées cathode et anode, respectivement.

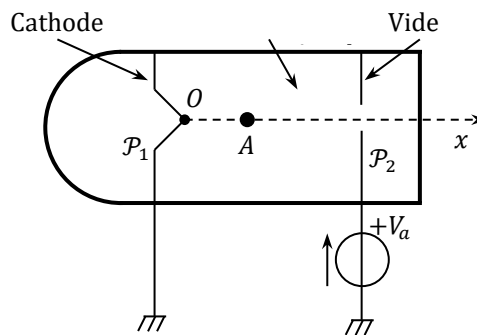


Fig. 5 – Canon d'un microscope électronique

31. Quelle est la vitesse v de A lorsqu'il atteint l'anode ?

- A) $v = \sqrt{\frac{eV_a}{m_e}}$ B) $v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m_e}}$ C) $v = \sqrt{\frac{2m_eV_a}{e}}$ D) $v = \frac{2eV_a}{m_e}$

32. Calculer v . On indique les valeurs approximatives des constantes fondamentales suivantes : $m_e \approx 9 \times 10^{-31}$ kg et la charge élémentaire $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

- A) $v \approx 6 \times 10^2$ m.s⁻¹ B) $v \approx 6 \times 10^4$ m.s⁻¹ C) $v \approx 6 \times 10^6$ m.s⁻¹ D) $v \approx 6 \times 10^8$ m.s⁻¹

33. Quelle est la longueur d'onde de De Broglie, λ_{DB} , d'un électron de vitesse v ? $h \approx 6,63 \times 10^{-34}$ J.s désigne la constante de Planck, parmi les expressions ci-dessous.

- A) $\lambda_{DB} = \frac{h}{\sqrt{2em_eV_a}}$ B) $\lambda_{DB} = \frac{h}{\sqrt{2eV_a}}$ C) $\lambda_{DB} \approx 100$ pm D) $\lambda_{DB} = 100$ nm

34. Une fois la vitesse v acquise, on s'arrange à la sortie (non représentée sur la figure) du canon pour que l'électron pénètre dans une région où règne seulement un champ magnétique \vec{B} , stationnaire et uniforme, dont la direction est perpendiculaire à la direction de la vitesse incidente de l'électron. Que dire quant à la trajectoire de l'électron dans cette région ?

- A) L'électron n'est pas dévié et suit donc une trajectoire rectiligne.
 B) La trajectoire de l'électron est une parabole.
 C) La trajectoire de l'électron est circulaire de rayon proportionnel à B .
 D) La trajectoire de l'électron est circulaire de rayon proportionnel à $\frac{\sqrt{V_a}}{B}$.

35. Lorsque l'électron quitte la région où règne le champ magnétique, que peut-on dire de son vecteur vitesse \vec{v}_s et de sa trajectoire (on négligera l'influence du poids) ?

- A) Le vecteur \vec{v}_s possède une norme égale à 6×10^6 m.s⁻¹.
 B) Le vecteur \vec{v}_s a la même direction que lorsque l'électron est rentré dans la région du champ magnétique.
 C) La trajectoire de l'électron est toujours circulaire.
 D) La trajectoire de l'électron est rectiligne.

36. On s'intéresse à l'angle θ_m , dit de déflexion magnétique, que forme la direction de \vec{v}_s avec l'axe Ox lorsque A sort de la région du champ magnétique. Cet angle est

$$\theta_m = \sqrt{\frac{e}{2m_eV_a}} BL^\alpha$$

où α est un nombre réel et L une longueur ; précisément, L est la longueur de la trajectoire de l'électron dans la région du champ magnétique. À l'aide d'une analyse dimensionnel, déterminer α .

- A) $\alpha = -1$ B) $\alpha = 0$ C) $\alpha = 1$ D) $\alpha = 2$