

ÉCOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE

**SESSION 2023**

# **CONCOURS DE RECRUTEMENT D'ÉLÈVES PILOTE DE LIGNE**

---

## **ÉPREUVE DE PHYSIQUE**

---

**Durée : 2 Heures  
Coefficient : 1**

Cette épreuve comporte :

- 1 page de garde (recto),
- 2 pages de consignes (recto-verso),
- 1 page d'avertissement (recto),
- 8 pages de texte (recto-verso).

Numérotée de 1 à 12

**TOUT DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE EST INTERDIT  
(EN PARTICULIER L'USAGE DE LA CALCULATRICE)**

## ÉPREUVE DE PHYSIQUE

## A LIRE TRÈS ATTENTIVEMENT

L'épreuve de physique de ce concours est un questionnaire à choix multiple qui sera corrigé informatiquement.

- 1) Pour remplir ce QCM, vous devez utiliser un stylo à bille ou feutre, à encre foncée : bleue ou noire. Vous devez **cocher** lisiblement la case en vue de la lecture informatisée de votre QCM.
- 2) Votre QCM ne doit pas être souillé, froissé, plié, écorné ou porter des inscriptions superflues, sous peine d'être rejeté informatiquement et de ne pas être corrigé.
- 3) Si vous voulez **modifier** votre réponse, **n'utilisez pas de correcteur** mais indiquez la nouvelle réponse sur la 2<sup>ème</sup> ligne.
- 4) Si vous voulez **annuler** votre réponse, vous devez cocher la case « Ann ». Dans ce cas-là, aucune réponse ne sera prise en compte.
- 5) Cette épreuve comporte 36 questions, certaines, de numéros consécutifs, sont liées. La liste des questions est donnée au début du texte du sujet.  
**Chaque candidat devra choisir au plus 24 questions parmi les 36 proposées.**

Il est inutile de répondre à plus de 24 questions : le logiciel de correction lira les réponses en séquence en partant de la ligne 1, et s'arrêtera de lire lorsqu'il aura détecté des réponses à 24 questions, quelle que soit la valeur de ces réponses.

**Chaque question comporte au plus deux réponses exactes.**

- 6) A chaque question numérotée entre 1 et 36, correspond sur la feuille-réponses une ligne de cases qui porte le même numéro (les lignes de 37 à 80 sont neutralisées).  
Chaque ligne comporte 5 cases A, B, C, D, E.  
Pour chaque ligne numérotée de 1 à 36, vous vous trouvez en face de 4 possibilités :
  - ▶ soit vous décidez de ne pas traiter cette question,  
*la ligne correspondante doit rester vierge.*
  - ▶ soit vous jugez que la question comporte une seule bonne réponse,  
*vous devez cocher l'une des cases A, B, C, D.*  
Ex : si vous pensez que la bonne réponse est B vous cochez la case B.
  - ▶ soit vous jugez que la question comporte deux réponses exactes,  
*vous devez cocher deux des cases A, B, C, D et deux seulement.*  
Ex : si vous pensez que la bonne réponse est A et C vous cochez les cases A et C
  - ▶ soit vous jugez qu'aucune des réponses proposées A, B, C, D n'est bonne,  
*vous devez alors cocher la case E.*

**En cas de réponse fautive, aucune pénalité ne sera appliquée.**

7) EXEMPLES DE RÉPONSES

Exemple I : Question 1 :

Pour une mole de gaz réel :

- A)  $\lim_{P \rightarrow 0} (PV) = RT$ , quelle que soit la nature du gaz.
- B)  $PV = RT$  quelles que soient les conditions de pression et température.
- C) Le rapport des chaleurs massiques dépend de l'atomicité.
- D) L'énergie interne ne dépend que de la température.

Exemple II : Question 2 :

Pour un conducteur ohmique de conductivité électrique  $\sigma$ , la forme locale de la loi d'OHM est :

- A)  $\mathbf{j = E/\sigma}$
- B)  $\mathbf{j = \sigma E}$
- C)  $\mathbf{E = \sigma^2 j}$
- D)  $\mathbf{j = \sigma^2 E}$

Exemple III : Question 3 :

- A) Le travail lors d'un cycle monotherme peut être négatif.
- B) Une pompe à chaleur prélève de la chaleur à une source chaude et en restitue à la source froide.
- C) Le rendement du cycle de CARNOT est  $1 + \frac{T_2}{T_1}$ .
- D) Le phénomène de diffusion moléculaire est un phénomène réversible.

**Vous marquerez sur la feuille réponse :**

1 -

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2 -

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3 -

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<input type="checkbox"/>				

## AVERTISSEMENTS

Dans certaines questions, les candidats doivent choisir entre plusieurs valeurs numériques. Nous attirons leur attention sur les points suivants :

1 - Les résultats sont arrondis en respectant les règles habituelles ; il est prudent d'éviter des arrondis trop imprécis sur les résultats intermédiaires.

2 - Les valeurs fausses proposées diffèrent suffisamment de la valeur exacte pour que d'éventuels écarts d'arrondi n'entraînent aucune ambiguïté sur la réponse.

---

*Les notations utilisées sont celles en vigueur au niveau international. Ainsi, conformément à ces recommandations internationales, les vecteurs sont représentés en caractères gras et le produit vectoriel est symbolisé par  $\times$ . Les unités utilisées sont, sauf mention contraire explicite, celles du Système International (SI).*

---

## QUESTIONS LIÉES

Cinématique de la valve d'une roue de vélo : [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Réglage d'un appareil photographique : [7, 8, 9, 10, 11, 12]

Décharge d'un condensateur dans un autre condensateur : [13, 14, 15, 16, 17, 18]

Transformations thermodynamiques du diazote : [19, 20, 21, 22, 23, 24]

Glissade d'un corpuscule sur un hémisphère : [25, 26, 27, 28, 29, 30]

Électron accéléré et champ magnétostatique : [31, 32, 33, 34, 35, 36]

## 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  $\{\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y\}$ ,  $\mathbf{e}_x$  et  $\mathbf{e}_y$  étant des vecteurs unitaires;  $x$  et  $y$  désignent les coordonnées cartésiennes de  $M$ .

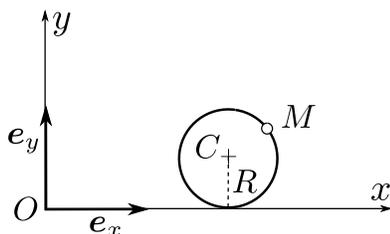


FIG. 1 – Roue de vélo

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

1. Quelle est l'expression du vecteur vitesse  $\mathbf{v}$  de  $M$  dans  $\mathcal{R}$  ?

- |   |  |
|---|--|
| A) $\mathbf{v} = R\omega [1 - \cos(\omega t)] \mathbf{e}_x + R\omega \sin(\omega t) \mathbf{e}_y$ | C) $\mathbf{v} = R\omega [1 + \cos(\omega t)] \mathbf{e}_x - R\omega \sin(\omega t) \mathbf{e}_y$        |
| B) $\mathbf{v} = R[1 - \cos(\omega t)] \mathbf{e}_x + R \sin(\omega t) \mathbf{e}_y$              | D) $\mathbf{v} = R\omega \cos(\omega t) \mathbf{e}_x + R\omega [\omega t - \sin(\omega t)] \mathbf{e}_y$ |

2. Dédurre la norme  $v = \|\mathbf{v}\|$  du vecteur vitesse.

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

3. Quelle est l'expression du vecteur accélération  $\mathbf{a}$  de  $M$  dans  $\mathcal{R}$  ?

- |   |   |
|---|---|
| A) $\mathbf{a} = R\omega^2 \cos(\omega t) \mathbf{e}_x + R\omega^2 \sin(\omega t) \mathbf{e}_y$ | C) $\mathbf{a} = R\omega \sin(\omega t) \mathbf{e}_x + R\omega \cos(\omega t) \mathbf{e}_y$     |
| B) $\mathbf{a} = R\omega \cos(\omega t) \mathbf{e}_x + R\omega \sin(\omega t) \mathbf{e}_y$     | D) $\mathbf{a} = R\omega^2 \sin(\omega t) \mathbf{e}_x + R\omega^2 \cos(\omega t) \mathbf{e}_y$ |

4. 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  $t = n2\pi/\omega$ , où  $n$  est un entier naturel.

5. Quelle est la distance parcourue par le centre  $C$  de la roue lorsque  $t = 2\pi/\omega$  ?

- |            |             |         |        |
|------------|-------------|---------|--------|
| A) $\pi R$ | B) $2\pi R$ | C) $2R$ | D) $R$ |
|------------|-------------|---------|--------|



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.

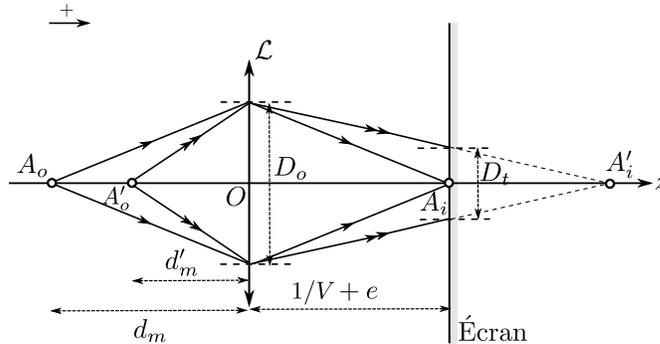


FIG. 2 – Modélisation d'un appareil photographique.

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

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 autre 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.

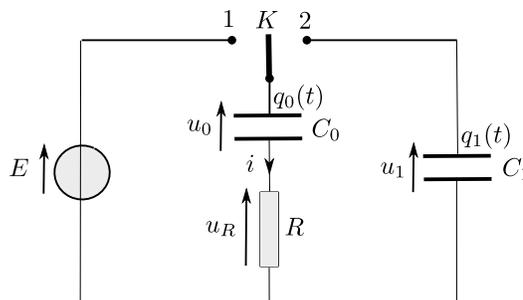


FIG. 3 – Montage à deux condensateurs

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

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

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

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  $\tau = R \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1}$

C)  $\frac{dq_0}{dt} + \frac{q_0}{\tau} = 0$  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  $\tau = RC_1$

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  $r_{\mathcal{E}} = \mathcal{E}_1/\mathcal{E}_0$  entre l'énergie emmagasinée,  $\mathcal{E}_1$ , par le condensateur  $C_1$  et l'énergie  $\mathcal{E}_0$  qu'avait emmagasiné le condensateur  $C_0$  juste avant le basculement de  $K$  en position 2.

A)  $r_{\mathcal{E}} = \frac{C_0 C_1}{2(C_0 + C_1)^2}$

B)  $r_{\mathcal{E}} = \frac{C_0 C_1}{(C_0 + C_1)^2}$

C)  $r_{\mathcal{E}} = \frac{2C_0 C_1}{(C_0 + C_1)^2}$

D)  $r_{\mathcal{E}} = \frac{C_0}{C_0 + C_1}$

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)  $r_{\mathcal{E}} = \frac{n}{2(1+n)^2}$

B)  $r_{\mathcal{E}} = \frac{n}{(1+n)^2}$

C)  $r_{\mathcal{E}} = 1$

D)  $r_{\mathcal{E}} = 0$

#### 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 ;
- $\gamma$  le rapport  $C_p/C_v$  des capacités thermiques du gaz à pression constante ( $C_p$ ) et volume constant ( $C_v$ ) ;
- $R \approx 8 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  la constante des gaz parfaits.

19. Quelles sont, en fonction de  $V_i$ ,  $\varepsilon$  et  $\gamma$ , les expressions de  $V'$  et de  $V_f$  ?

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

20. Donner l'expression de  $T'$  en fonction de  $T_i$ ,  $\varepsilon$  et  $\gamma$ .

A)  $T' = T_i(1 + \varepsilon)^{-1/\gamma}$     B)  $T' = T_i(1 + \varepsilon)^{1-1/\gamma}$     C)  $T' = T_i(1 + \varepsilon)^{1/\gamma-1}$     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)  $W_{E_i E'} = \frac{p_i V_i}{1 - \gamma} \left[ (1 + \varepsilon)^{1-1/\gamma} - 1 \right]$     C)  $W_{E_i E'} = \frac{p_i V_i}{\gamma - 1} \left[ (1 + \varepsilon)^{1-1/\gamma} - 1 \right]$   
 B)  $W_{E_i E'} = \frac{p_i V_i}{\gamma - 1} \left[ (1 + \varepsilon)^{1/\gamma-1} - 1 \right]$     D)  $W_{E_i E'} = p_i V_i \frac{(1 + \varepsilon)^{1-1/\gamma}}{\gamma - 1}$

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

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

23. Après avoir donné l'expression du bilan d'énergie interne  $\Delta U$  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)  $Q = -p_i V_i \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[ (1 + \varepsilon)^{1-1/\gamma} - 1 \right]$   
 B)  $\Delta U = p_i V_i \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[ (1 + \varepsilon)^{1-1/\gamma} - 1 \right]$     D)  $Q = p_i V_i \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[ (1 + \varepsilon)^{1/\gamma-1} - 1 \right]$

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  $\mathcal{B} = \{\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y\}$ ,  $\mathbf{e}_x$  et  $\mathbf{e}_y$  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  $\{\mathbf{e}_\rho, \mathbf{e}_\varphi\}$  est représentée sur le schéma.

À l'instant initial,  $A$  est situé au sommet  $S$  de l'hémisphère et possède un vecteur vitesse  $\mathbf{v}_0$  tangent à l'hémisphère.

Dans tout l'exercice, on note  $\mathbf{g}$  le champ de pesanteur;  $g \approx 10 \text{ m s}^{-2}$  est sa norme.

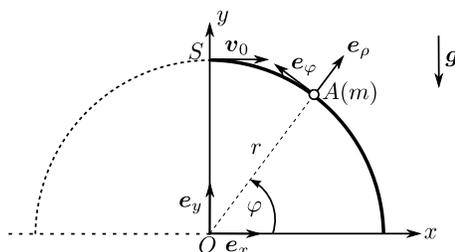


FIG. 4 – Glissade d'un objet assimilé à un corpuscule matériel  $A$

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,  $\mathcal{E}_k$ , et l'énergie potentielle,  $\mathcal{E}_p$ , de  $A$ ? Pour le calcul de cette dernière, la référence est prise à 0 en  $y = 0$ .

A)  $\mathcal{E}_k = mr\dot{\varphi}^2/2$

B)  $\mathcal{E}_k = m(r\dot{\varphi})^2/2$

C)  $\mathcal{E}_p = mgr \sin \varphi$

D)  $\mathcal{E}_p = mgr(1 - \cos \varphi)$

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 ( $v_0 = \|\mathbf{v}_0\|$ ).

A)  $v = [2gr(1 + \sin \varphi) + v_0^2]^{1/2}$

C)  $v = [2gr(1 - \sin \varphi)]^{1/2}$

B)  $v = [2gr(1 - \sin \varphi) + v_0^2]^{1/2}$

D)  $v = [2gr(1 - \sin \varphi) - v_0^2]^{1/2}$

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  $\varphi$  pour lequel  $A$  quitte la piste hémisphérique si  $v_0 = 0$ . Dans la suite de l'exercice, on prendra  $v_0 = 0$ .
- A)  $\sin \varphi = 1/2$       B)  $\sin \varphi = 1/3$       C)  $\sin \varphi = 2/3$       D)  $\sin \varphi = 1/\sqrt{2}$
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  $V_a = 100\text{ V}$  (Fig. 5). Les plaques  $\mathcal{P}_1$  et  $\mathcal{P}_2$  sont habituellement appelées cathode et anode, respectivement.

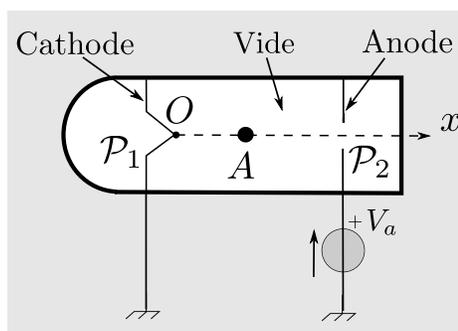


FIG. 5 – Canon d'un microscope électronique

31. Quelle est la vitesse  $v$  de  $A$  lorsqu'il atteint l'anode?
- A)  $v = \left( \frac{eV_a}{m_e} \right)^{1/2}$       B)  $v = \left( \frac{2eV_a}{m_e} \right)^{1/2}$       C)  $v = \left( \frac{2m_e V_a}{e} \right)^{1/2}$       D)  $v = \frac{2eV_a}{m_e}$
32. Calculer  $v$ . On indique les valeurs approximatives des constantes fondamentales suivantes :  $m_e \approx 9 \times 10^{-31}\text{ kg}$  et  $e \approx 1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$  (charge élémentaire).
- A)  $v \approx 6 \times 10^2\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$       B)  $v \approx 6 \times 10^4\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$       C)  $v \approx 6 \times 10^6\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$       D)  $v \approx 6 \times 10^8\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

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

A)  $\lambda_{DB} = \frac{h}{(2em_e V_a)^{1/2}}$     B)  $\lambda_{DB} = \frac{h}{(2eV_a)^{1/2}}$     C)  $\lambda_{DB} \approx 100 \text{ pm}$     D)  $\lambda_{DB} \approx 100 \text{ nm}$

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  $\mathbf{B}$ , 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  $V_a^{1/2}/B$ .

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

- A) Le vecteur  $\mathbf{v}_s$  possède une norme égale à  $6 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- B) Le vecteur  $\mathbf{v}_s$  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  $\theta_m$ , dit de déflexion magnétique, que forme la direction de  $\mathbf{v}_s$  avec l'axe  $Ox$  lorsque  $A$  sort de la région du champ magnétique. Cet angle est :

$$\theta_m = \left( \frac{e}{2m_e V_a} \right)^{1/2} BL^\alpha$$

où  $\alpha$  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 dimensionnelle, déterminer  $\alpha$ .

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