



ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES



www.ept.sn

Téléphone : 789540334

BUREAU DES ÉLÈVES / COMMISSION PÉDAGOGIQUE / CONCOURS JUNIOR POLYTECH



Epreuve de Sciences Physiques

Terminales — Session 2024 — Durée : 04 heures

NB : La clarté et la précision de la rédaction seront prises en compte dans l'appréciation de la copie.

Les candidats sont invités à encadrer dans la mesure du possible les résultats de leurs calculs.

L'épreuve est notée sur 40 points

Thème: Ces 4 forces qui régissent notre Univers !

TEXTE

Dans la conception contemporaine, il faut entendre par force non seulement ce qui pousse, qui tire ou modifie le mouvement, mais aussi tout ce qui incite au changement, à la métamorphose. La force, ou mieux l'interaction, dans l'acception physicienne, se définit donc comme l'agent unique de la transformation. Les forces, en apparence, sont au nombre de quatre : forte, faible, électromagnétique et gravitationnelle. Les quatre influences physiques s'entrecroisent en nous et en toutes choses. Aux nœuds des relations sont les particules. [...] L'intensité d'une interaction donnée peut être caractérisée par un nombre, une constante universelle qui mesure le taux auquel procèdent les transformations induites par ladite interaction. Les quatre forces sont spécifiques, hiérarchisées en portée et en intensité, mais non exclusives. L'interaction forte domine en intensité toutes les autres, dont l'interaction électromagnétique (d'où son nom), laquelle surpasse l'interaction faible, qui elle-même laisse très loin derrière la minuscule force de gravitation. Pourtant, il ne faut pas s'y méprendre, cette hiérarchie microscopique ne reflète en rien l'influence des forces à grande échelle. La gravitation est sans conteste la force dominante à l'échelle cosmique, parce qu'elle n'est contrebalancée par aucune antigravitation, et que son intensité, bien que déclinante, s'exerce sans limite de distance. Les interactions forte et faible, par leur portée minuscule, se sont fait un royaume du noyau de l'atome. Quant à l'interaction électromagnétique, bien que de portée illimitée, elle ne saurait gouverner le vaste Cosmos car les grandes structures sont inactives du point de vue de l'électricité. En effet, les charges électriques plus et moins, en nombre égal, partout se neutralisent. Ce n'est pas pour autant une entité négligeable : la force électromagnétique a pris possession du

vaste domaine laissé vacant entre l'atome et l'étoile, qui inclut le minéral, l'animal, le végétal et l'homme. Ainsi chacune des quatre forces assume son identité et sa fonction précise. [...] Parmi les quatre forces en lesquelles les physiciens reconnaissent les moteurs universels, la vie terrestre, la vie pensée à deux mètres de haut, enfin presque, a rendu familières les deux forces à longue portée, à savoir l'interaction électromagnétique et la gravitation. La première maintient la cohésion des œuvres architecturales du monde supranucléaire (atomes, molécules, corps liquides et solides). La seconde contrôle le mouvement de la Terre autour du Soleil et tient, entre autres choses, la Terre sous nos pieds. Les interactions forte et faible régissent le microcosme et sont dans les conditions ambiantes de notre existence totalement insoupçonnables.

Michel Cassé, Nostalgie de la lumière, 1987.

Questions(5 points)

1. Selon vous,en physique, qu'entend t-on par le terme interaction ?
2. Extraire du texte le nombre d'interactions fondamentales, leur nom et chacune sa portée(ce qu'elle étudie).
3. Deux seulement de ces interactions fondamentales interviennent à notre échelle
— Lesquelles et pourquoi ?
— Laquelle de ces forces nous est familière et pourquoi ? (Citez le texte)
4. Nous connaissons bien d'autres forces, qui , à première vue ,n'ont rien à voir avec les quatres forces fondamentales.Parmi elles on peut citer la poussée d'Archimède,la tension d'un fil ou d'un ressort,la résistance d'un objet à la rupture,la réaction du sol sous nos pieds qui nous empêche de nous enfoncer etc.

Pour chacune de ces forces essayer de démasquer l'interaction fondamentale qui se cache derrière elle.

L'atome est le constituant de base de la matière.Dans le noyau de l'atome,on trouve des protons(chargés positivement)et les neutrons(chargés négativement). La loi des charges électriques d'écrit le comportement des charges lorsqu'elles sont placées à proximité les unes des autres.Les charges de même signe subissent une répulsion tandis que les charges de signe contraire subissent une attraction.

Comment expliquer vous le fait que le noyau de l'atome "n'explose pas" vu que les protons qui s'y trouvent se repoussent mutuellement ?

5. Enoncer la loi de Coulomb et la loi universelle de la gravitation et faites une comparaison qualitative de la force électrostatique et de la force de gravitation.

PROBLEME 1: Freinage d'un satellite ENONCE (11 points)

Un satellite terrestre artificiel (S) de vitesse V (dans le référentiel géocentrique galiléen) sur une orbite basse (c'est-à-dire dont l'altitude z est très inférieure au rayon terrestre R_T) subit des frottements dus à l'atmosphère. Les molécules de l'atmosphère n'étant soumises qu'à l'agitation thermique, on pourra négliger leur vitesse thermique $V_{th} \approx 500$ m/s devant V . On note R_T et M_T le rayon et la masse de la Terre, assimilée à une sphère massique homogène.

QUESTIONS

1. On suppose que, après une collision entre le satellite de masse M et une molécule de masse m , la vitesse relative des deux objets est nulle (choc mou). Montrer alors que la variation de la quantité de mouvement de S est $\Delta P \approx -mV$.
2. Montrer que l'effet des collisions équivaut à une force F s'exerçant sur le satellite. Ce dernier est sphérique, de rayon a . Déterminer F en fonction de a , V et la masse volumique $\mu(z)$ de l'atmosphère (en considérant le nombre de chocs se produisant à l'intérieur d'un cylindre élémentaire, on trouve une expression du type $F = k(z)V^2$). Est-il indispensable que le satellite soit sphérique ?
3. On suppose qu'à l'altitude $z \ll R_T$, $\mu(z) = \frac{\mu(0)}{\exp(-z/H)}$, où $\mu(0)$ et H sont des constantes. On considère alors que, du fait de la force F , S décrit une orbite circulaire autour de la Terre dont le rayon varie lentement avec le temps.

a)

Donner, sous ces hypothèses, une loi approchée de variation de $z(t)$. Il sera avantageux d'introduire la quantité $\tau = \frac{MH}{2\pi a^2 \mu(0) R_T \sqrt{g_0 R_T}}$, où g_0 désigne le champ de pesanteur terrestre au niveau du sol. On note z_i l'altitude de départ.

b)

Applications Numériques : calculer la durée de chute t_{ch} du satellite depuis l'altitude $z_i = 180$ km jusqu'à $z_f = 0$; on donne : $\mu(0) = 1.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $H = 8,500$ m, $a = 2$ m, $g_0 = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $R_T = 6,370$ km et $M = 10^3$ kg. Vérifier enfin que la vitesse du satellite est effectivement grande devant la vitesse d'agitation thermique V_{th} des molécules de l'atmosphère.

PROBLEME 2 : Parlons du Génie Aéronautique !(11points)

Parmi les formations de l'Ecole Polytechnique de Thiès, nous avons le Génie Aéronautique. Le génie de l'aéronautique est un créateur, ingénieur et inventeur d'engins aériens. Sa fonction peut englober la conception, la réalisation et la fabrication d'un engin aérien (Avion, hélicoptère, navette spatiale...), sans oublier qu'il peut également prendre en charge le volet de l'entretien technique et de la commercialisation.

Le génie de l'aéronautique est, comme son nom l'indique, un génie de l'univers aérien. C'est un constructeur aéronautique de plusieurs dispositifs et d'engins destinés à voler dans les airs. En tant qu'ingénieur, ses missions peuvent aller jusqu'à assurer des fonctions électroniques, mécaniques ou encore en optique. L'une des spécialités d'un génie de l'aéronautique est celle de l'informatique où il sera amené à assurer la création de logiciels de contrôle d'engins aériens à distance parmi lesquels les drones.

Ces logiciels sont soit des calculateurs soit des commandes téléguidées pour contrôler la trajectoire d'engins aériens. Son savoir-faire peut aussi concerner la technologique spatiale, comme le fait de fabriquer et de mettre en place des satellites ou des logiciels de contrôle de manœuvres satellitaires.

ENONCE

Les drones de loisirs à quatre hélices sont des véhicules aériens de faible dimension. Ils sont vendus au grand public comme un jeu pour l'intérieur ou l'extérieur.

1 Étude dynamique du vol d'un drone

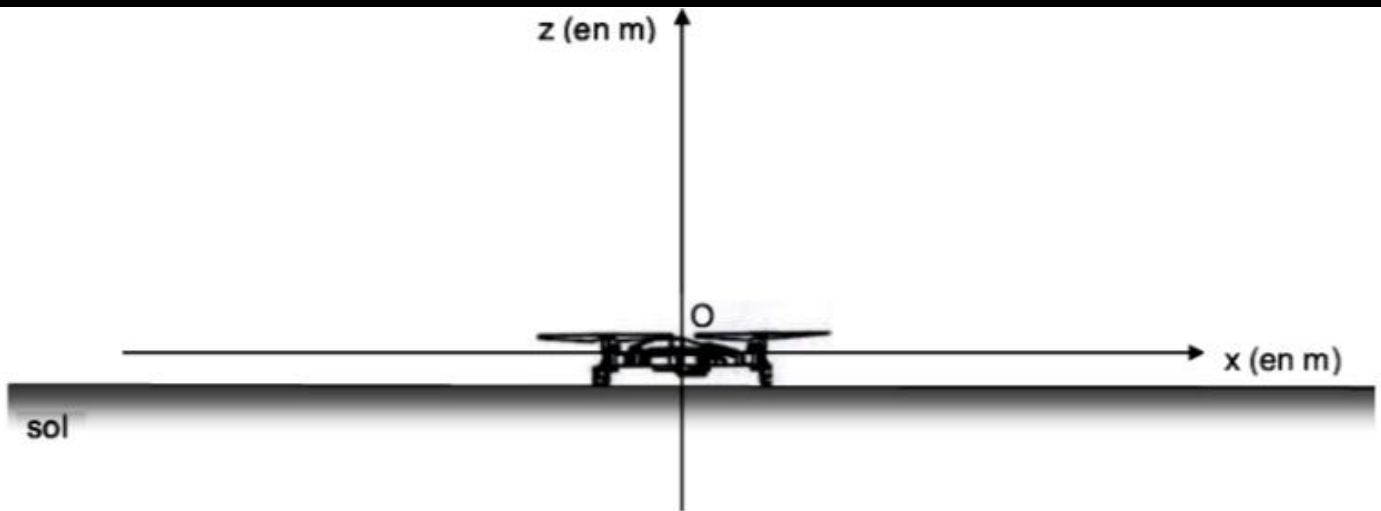
Dans cette partie, on étudie le mouvement du drone dépourvu de webcam dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Le drone étudié, de masse 110 g, est assimilé à un point matériel noté G.

Donnée : Le champ de pesanteur terrestre est considéré uniforme ; la valeur de son intensité g vaut $9,8 \text{ N.kg}^{-1}$

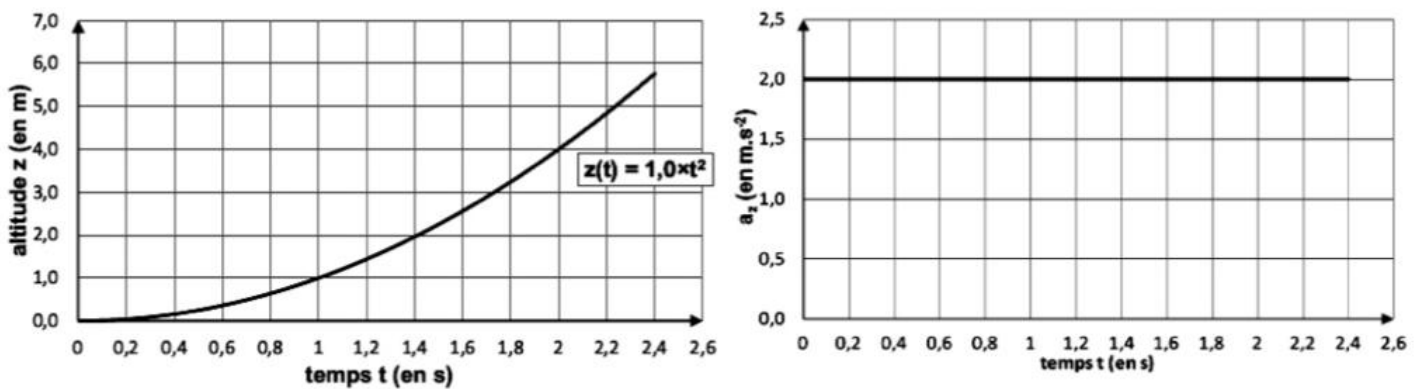
1.1 Estimation de la valeur de la force de poussée

Un film du décollage vertical a été réalisé afin de déterminer la force de poussée exercée sur le drone.

Le schéma ci-dessous représente la position du drone à l'instant initial.



NB : Le point O est l'origine du repère. Ce schéma est tracé sans souci d'échelle. L'exploitation du film a permis d'obtenir l'évolution dans le temps des grandeurs $z(t)$ et $a_z(t)$, respectivement coordonnées suivant l'axe vertical du vecteur position et du vecteur accélération du drone, et les 2 courbes ci-dessous modélisant l'évolution de ces grandeurs.



Courbe 1 : Évolution temporelle de l'altitude du drone par rapport au sol

Courbe 2 : Évolution temporelle de l'accélération verticale du drone lors du décollage.

2.1.1 À partir de ces courbes, établir l'expression $v_z(t)$ de la coordonnée suivant l'axe vertical (Oz) du vecteur vitesse du drone. On suppose que seuls le poids \vec{P} et la force de poussée \vec{F} agissent sur le drone lors de la phase de décollage vertical.

2.1.2 Comparer qualitativement les valeurs des forces et lors du décollage. Justifier votre réponse.

2.1.3 Calculer la valeur de la force de poussée lors du décollage.

2.1.4 On souhaite fixer une webcam de masse m_w , sur ce drone. Quelle serait, en théorie, la masse maximale de cette webcam au-delà de laquelle le décollage ne serait plus possible ?

1.2 Conséquence d'une perte de communication sur le vol du drone

Le drone, dépourvu de webcam, est à présent animé d'un mouvement rectiligne uniforme à l'altitude constante $h = 7,0 \text{ m}$ et à la vitesse $v_0 = 4,0 \text{ m.s}^{-1}$. On choisit dans cette partie une nouvelle origine des temps.

À l'instant $t = 0 \text{ s}$, la communication entre le drone et le téléphone portable est rompue, alors que le drone vole en direction d'une piscine. Les moteurs s'arrêtent. La valeur de la force de poussée devient nulle. On considère que le drone est en chute libre alors qu'il est à la verticale d'un point situé à une distance $d = 20 \text{ m}$ de la piscine de largeur $L = 5 \text{ m}$.

1.2.1 Proposer une schématisation légendée de la situation.

1.2.2 En détaillant la démarche, établir les équations horaires du mouvement du drone suivantes : $x(t) = v_0 \cdot t$ et $z(t) = -(1/2)g \cdot t^2 + h$

1.2.3 Déterminer le temps dont dispose l'opérateur pour rétablir la communication avant que le drone ne touche le sol.

1.2.4 Le drone tombe-t-il dans la piscine si la communication n'est pas rétablie ?

PROBLEME 3: Du Chlore dans les eaux souterraines (5 points)

Il existe deux principaux isotopes stables du chlore (dont les nombres de masse sont 35 et 37) trouvés dans les proportions respectives de 3 pour 1 et qui donnent aux atomes en vrac une masse molaire atomique apparente de $35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Le chlore a 9 isotopes avec des nombres de masse s'étendant de 32 à 40. Seulement trois de ces isotopes existent à l'état naturel : le Cl-35 stable (75,77 %), le Cl-37 stable (24,23%) et le Cl-36 radioactif. Le rapport du nombre de noyaux de Cl-36 au nombre total de noyaux de Cl présents dans l'environnement est de $7,0 \times 10^{-13}$ actuellement.

Le «chlore 36» (Cl-36) se désintègre essentiellement en «argon 36» (Ar-36). La demi-vie du Cl-36 est de 301.10^3 ans. Cette valeur le rend approprié pour dater géologiquement les eaux souterraines sur une durée de soixante mille à un million d'années.

D'après un article d'encyclopédie

Données :

- Relation entre le temps de demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ : $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$
- Relation entre l'activité A d'un échantillon et le nombre moyen de noyaux N présent dans cet échantillon, à une date t donnée : $A(t) = \lambda \cdot N(t)$
- $1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Masse molaire atomique du chlore : $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Masse et numéro atomique (ou nombre de charge) de quelques particules et noyaux :

Particule ou noyau	proton	neutron	chlore 36	argon 36
Masse (10^{-27} kg)	1,67262	1,67492	59,71128	
Z	1	0	17	18

1.1. Dans l'article, l'auteur indique des valeurs 35 et 37 pour les isotopes stables du chlore. Que désignent plus précisément ces valeurs pour un noyau de chlore ?

1.2. Définir le terme «isotope».

1.3. Donner le symbole complet du noyau de «chlore 36 » et sa composition.

1.4. Calculer, en MeV, l'énergie de liaison E_{L1} d'un noyau de «chlore 36». Exprimer le résultat final avec quatre chiffres significatifs. On rappelle que $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

1.5. Le texte évoque la réaction de désintégration d'un noyau de «chlore 36 ».

Écrire l'équation de cette réaction, en indiquant :

- les lois utilisées ;
- le type de radioactivité mise en jeu.

1.6. Donner la définition du temps de «demi-vie» $t_{1/2}$ du «chlore 36».

1.7. Constante radioactive

1.7.1. Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité de la constante radioactive λ dans le système international.

1.7.2. Calculer la constante radioactive de l'isotope de «chlore 36 » en respectant l'unité de base du système international.

1.8. Etude de composition

Une bouteille contient un volume $V = 1,5\text{L}$ d'eau minérale. Sa teneur en ions chlorure est indiquée sur l'étiquette et vaut $C_m = 13,5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

1.8.1. Calculer la quantité d'ions chlorure, en mol, dans l'eau de cette bouteille.

1.8.2. On suppose que le rapport du nombre de noyaux de «chlore 36 » au nombre total de noyaux de chlore présents dans cette eau minérale est celui donné dans le texte.

Montrer que le nombre N de noyaux de «chlore 36 » présents dans cette bouteille est $N = 2,4 \times 10^8$.

1.8.3. En déduire la valeur de l'activité du «chlore 36» de l'eau que contient cette bouteille.

1.8.4. En déduire la valeur du nombre de désintégrations de noyaux de «chlore 36 » par jour.

1.9. Datation d'une eau souterraine

L'étude des isotopes radioactifs apporte des informations concernant la durée du transit souterrain d'une eau c'est-à-dire l'âge de la nappe phréatique. Les ions chlorure $\text{Cl}^-(\text{aq})$ sont presque toujours présents dans les eaux minérales naturelles et ne sont que rarement impliqués dans les interactions eaux - rochers.

Dans les eaux de surface, le «chlore 36» est renouvelé et la teneur en ions chlorure peut être supposée constante, ce qui n'est pas le cas dans les eaux souterraines des nappes phréatiques. Le «chlore 36 », de demi vie $3,01 \cdot 10^5$ ans, est donc un traceur particulièrement adapté à l'étude des eaux souterraines anciennes.

Pour dater des eaux plus récentes, on peut utiliser le «carbone 14 », de demi-vie $5,73 \cdot 10^3$ ans, présent dans les ions carbonate $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ dissous par exemple.

1.9.1. On considère un échantillon, de volume V donné, d'eau issue d'une nappe phréatique.

On note :

- N_0 le nombre moyen de noyaux de «chlore 36» présents dans cet échantillon à l'instant de date $t_0 = 0$ s de la constitution de la nappe.
- $N(t)$ le nombre moyen de noyaux de «chlore 36 » dans l'eau extraite aujourd'hui de cette nappe et donc non renouvelée en «chlore 36».

Écrire la loi de décroissance radioactive liant $N(t)$, N_0 et $t_{1/2}$.

1.9.2. On admet que N_0 est égal au nombre moyen de noyaux de «chlore 36» présents dans un échantillon de même volume V d'eau de surface.

Déduire de la loi de décroissance écrite précédemment l'âge d'une nappe phréatique dont l'eau non renouvelée ne contient plus que 38% du nombre de noyaux de «chlore 36 » trouvée dans les eaux de surface.

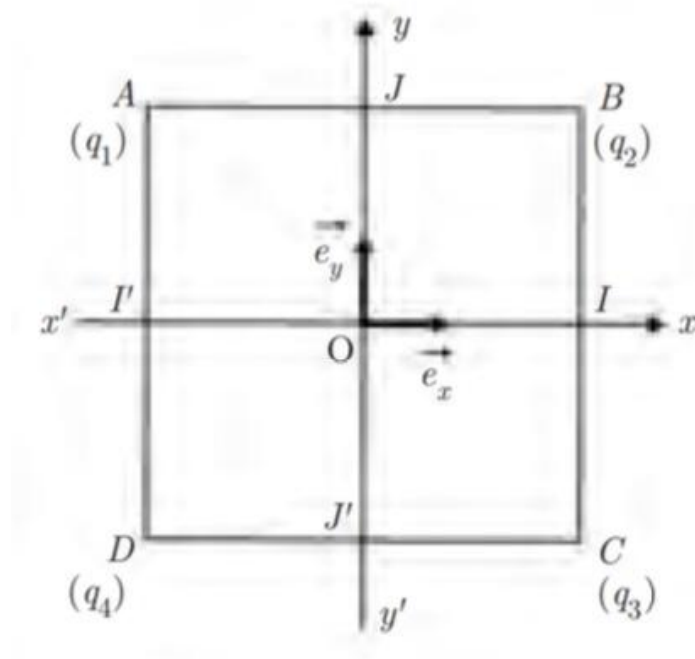
Pourquoi ne pas avoir utilisé le «carbone 14 » pour dater cette nappe phréatique ?

PROBLEME 4: De l'électrostatisme !! (7 points)

On place quatre charges ponctuelles aux sommets ABCD d'un carré de côté $a = 1\text{m}$, et de centre O, origine d'un repère orthonormé Oxy de vecteurs unitaires \vec{e}_x et \vec{e}_y . On donne :

$$q_1 = q = 3 \times 10^{-8}\text{C}; q_2 = -2q; q_3 = 2q; q_4 = -q; K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.10^9 \text{S.I.}$$

1. Déterminer le champ électrique \vec{E} au centre O du carré. Préciser la direction, le sens et la norme de \vec{E} .
2. Exprimer le potentiel V créé en O par les quatre charges.
3. Exprimer le potentiel sur les parties des axes x'x et y'y intérieures au carré. Quelle est, en particulier, la valeur de V aux points d'intersection de ces axes avec les côtés du carré (I, I', J et J') ?



FIN DE L'ÉPREUVE