

# Examen universitaire de l'ACP (2012)

Département de physique, Université de l'Alberta  
(version française : D. Sénéchal, U. de Sherbrooke)

Mardi, 7 février 2012

Durée : 3 heures.

Nom : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

Institution : \_\_\_\_\_

## Instructions :

1. La durée de l'examen est de trois heures.
2. Les calculatrices scientifiques sont permises, mais pas les manuels ou les ouvrages de référence.
3. Il y a 10 questions, d'égales valeurs. On ne s'attend pas à ce que vous puissiez les compléter toutes ; planifiez donc votre temps sagement.
4. Inscrivez vos solutions sur le questionnaire, en utilisant le verso si nécessaire.
5. Ce questionnaire comporte 22 pages.

## Constantes physique et aide-mémoire :

- charge élémentaire :  $e = 1.6022 \times 10^{-19}$  C
- permittivité du vide :  $\epsilon_0 = 8.842 \times 10^{-12}$  F/m =  $8.842 \times 10^{-12}$  C<sup>2</sup>/(Nm<sup>2</sup>)
- perméabilité du vide :  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m =  $4\pi \times 10^{-7}$  Tm/A
- vitesse de la lumière :  $c = 2.9979 \times 10^8$  m/s
- masse de l'électron :  $m_e = 9.1094 \times 10^{-31}$  kg
- masse du proton :  $m_p = 1.6726 \times 10^{-27}$  kg
- unité de masse atomique :  $m_{au} = 1.661 \times 10^{-27}$  kg
- constante de Boltzmann :  $k = 1.3807 \times 10^{-23}$  J/K
- constante de Planck :  $\hbar = h/(2\pi) = 1.0546 \times 10^{-34}$  Js
- constante gravitationnelle :  $G = 6.6726 \times 10^{-11}$  Nm<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>
- matrices de Pauli :  $\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ ,  $\sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$ ,  $\sigma_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$

**Question 1**

L'hélice d'une éolienne est montée sur un axe horizontal à environ 50 m du sol. Sous un vent régulier de 10 m/s, l'éolienne produit 600 kW. Évaluez la puissance générée par l'éolienne quand la vitesse du vent monte à 12 m/s. Dans tous les cas, supposez un vent régulier. Indice : considérez la quantité d'énergie par unité de temps traversant la surface balayée par l'hélice.



**Question 2**

On désire refroidir un gramme de graphite (carbone) de  $20^{\circ}\text{C}$  à  $100\text{ mK}$ . La chaleur spécifique du graphite suit de près la dépendance en température prédite par Debye :  $C_v = AT^3$ . À  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $C_v = 0.5\text{ J}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ . Quelle quantité d'énergie doit-on enlever à cet échantillon pour le refroidir ? Quelle quantité de chaleur un réfrigérateur idéal doit-il relâcher dans l'environnement pour effectuer ce refroidissement ?



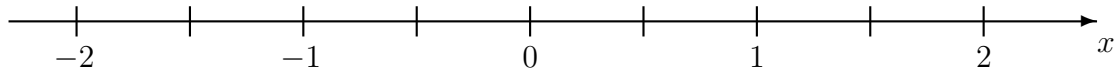
### Question 3

L'extinction Crétacé-Tertiaire d'il y a 65 millions d'années est attribuée à l'impact d'un astéroïde de 10 km de diamètre. En supposant que la densité de l'astéroïde soit semblable à celle de la Terre ( $5\,000\text{ kg/m}^3$ ) et que sa cohésion ne soit due qu'à la force de gravité, calculez la quantité d'énergie nécessaire pour le vaporiser. La bombe H la plus puissante jamais testée avait une puissance de 50 MT (mégatonnes). Un MT équivaut à  $4.184 \times 10^{15}$  joules. Une telle bombe serait-elle suffisante pour protéger la Terre d'un tel impact ?



**Question 4**

En apesanteur, comme dans la station spatiale internationale, l'eau peut former une boule en suspension. Si on touche délicatement cette boule, sa surface se met à osciller. À quelle puissance du rayon  $R$  de la boule la période  $T$  de ces oscillations est-elle proportionnelle? Autrement dit, trouvez l'exposant  $x$  dans la formule  $T \sim R^x$ . Décrivez votre raisonnement et inscrivez votre réponse sur la droite graduée ci-dessous.







**Question 5**

Un pion négatif peut être absorbé par un deutéron et produire deux neutrons :



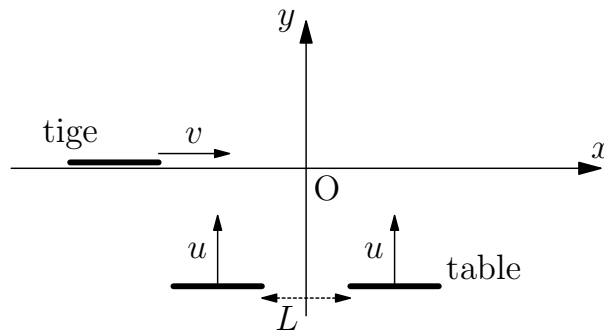
Cette réaction fut mise à profit dans la première détermination expérimentale de la parité intrinsèque du pion. Utilisez le fait que cette réaction se produise (c'est-à-dire qu'elle soit permise) et l'information ci-dessous afin de déterminer la parité intrinsèque du pion.

- Le pion absorbé est pratiquement au repos,
- Le pion a un spin 0,
- Le deutéron a un spin 1 et une parité positive.



### Question 6

Une tige mince de longueur au repos  $L$  se déplace le long de l'axe des  $x$  à une vitesse relativiste  $v$ , telle qu'observée dans un référentiel inertiel  $S$  (on néglige la gravité). Une table très mince dont la surface est parallèle à l'axe des  $x$ , se déplace dans la direction  $y$  à une vitesse relativiste  $u$ . La table comporte un trou rectangulaire, aussi de longueur  $L$  dans la direction  $x$ . Le centre de la tige se trouvera à l'origine  $O$  en même temps que le centre du trou.



Analysez le mouvement du point de vue de deux observateurs : le premier dans le référentiel  $S$  mentionné ci-dessus, et le deuxième dans le référentiel  $S'$  de la tige. Donnez les arguments nécessaires pour répondre à la question suivante : la tige passera-t-elle par le trou ? Appuyez vos arguments par des calculs. [Source : R. Shaw, Am. J. Phys. 29, 365(1961)]



**Question 7**

Un *parhélie* est une tache lumineuse parfois visible près du soleil lors des matins d'hiver, en raison de la réfraction de la lumière solaire au travers de minces cristaux de glace hexagonaux qui sont typiquement parallèles au sol. En supposant que l'indice de réfraction de la glace est de 1,31, montrez que le parhélie est situé à un angle de 22 degrés par rapport au soleil.



**Question 8**

Une charge électrique positive  $Q$  est située à mi-chemin entre deux plaques conductrices parallèles et infinies, séparées d'une distance  $d$  et mises à la terre.

1. Faites un schéma bi-dimensionnel (une section) de cette configuration et des lignes de champ électrique.
2. Déterminez la charge induite sur chaque plaque.
3. Déterminez la force agissant sur chaque plaque.

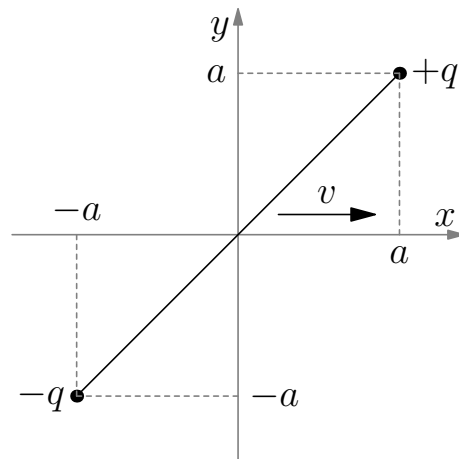




### Question 9

Ce qui suit est une idéalisation de l'expérience de Trouton-Noble.

Deux particules de charges  $q = 1\mu\text{C}$  et  $-q = -1\mu\text{C}$  sont fixées aux extrémités d'une tige isolante mince. On suppose en fait que la tige est suffisamment mince pour ne pas affecter les champs électrique et magnétique produits par les charges. Le tout n'est pas en rotation et, dans le référentiel (inertiel) du laboratoire, s'est déplacé à une vitesse constante  $\vec{v} = (10^6 \text{ m/s})\hat{x}$  pendant un temps très long avant le temps  $t = 0$ . À ce moment, les charges sont situées aux points  $(a, a)$  and  $(-a, -a)$ , tel qu'illustré.



En supposant  $a = 4\text{cm}$ ,

1. Calculez les forces électriques et magnétiques totales exercées par chacune des charges sur l'autre, dans le référentiel du laboratoire.
2. Calculez le couple  $\vec{N}$  produit par ces forces sur chaque charge séparément, et ensuite sur le tout dans le référentiel du laboratoire.
3. Dans le référentiel propre aux particules, il n'y aurait pas de champ magnétique et les forces électriques ne pourraient pas exercer de couple sur les particules. Donc le dispositif ne pourrait pas se mettre en rotation lorsque laissé à lui-même. Pourtant, dans le référentiel du laboratoire, les forces électromagnétiques produisent un couple qui, il semble, devrait induire un moment cinétique. Expliquez ce paradoxe.





### Question 10

Un faisceau de particules de spin  $1/2$  passe dans un champ magnétique non uniforme, dans le but de séparer les particules de spin up des particules de spin down, comme dans l'expérience de Stern et Gerlach. La projection du spin est mesurée le long de l'axe des  $z$  d'un repère droit et le faisceau se propage dans la direction  $+x$ . Malheureusement, l'appareillage est défectueux et 10% des particules qui devraient avoir un spin up sont en fait non polarisées. Ce faisceau imparfait de particules de spin up est ensuite utilisé dans une deuxième expérience pour mesurer le spin moyen  $s_u$  des particules le long d'un vecteur unitaire  $\hat{u} = (0, \sqrt{2}/2, \sqrt{2}/2)$ .

1. Déterminez la valeur moyenne de  $s_u$  dans la deuxième expérience.
2. Si 10 000 particules sont mesurées dans cette deuxième expérience, calculez l'incertitude (ou erreur) qui devrait être attribuée à l'estimation de 10% que nous avons faites de la fraction non polarisée du faisceau.

