

- 1) a) Décrire la méthode pour dessiner le portrait de phase pour un système à un degré de liberté décrit par un Hamiltonien de la forme  $H = p^2/(2m) + V(x)$ , pour un potentiel  $V(x)$  quelconque.  
 b) Donner une classification de tous les types de trajectoires possibles.  
 c) Définir les concepts suivants : (i) point d'équilibre stable, (ii) point d'équilibre instable, (iii) séparatrice.

Dessiner le portrait de phase et donner une classification de tous les types d'orbites possibles pour les systèmes décrits par les Hamiltoniens suivants :

- (a)  $H = p^2/(2m) - x^2$ .  
 (b)  $H = p^2/(2m) - x^2 + x^4$ .  
 (c)  $H = p^2/(2m)x^2 + x^4$ .  
 (d)  $H = p^2/(2m) + \sin(x)$ .

2) Etant données les masses du proton ( $m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$ ), du neutron ( $m_n = (940/939)m_p$ ), du noyau de deutérium ( $M_D = 1,9986m_p$ ) et du noyau de l'Helium-4 ( $m_{He^4} = 3,9726m_p$ ), déterminer les différences de masse pour les réactions nucléaires suivantes:

- (i)  $2p + 2n \rightarrow He^4$ .  
 (ii)  $D \rightarrow n + p$ .

et en déduire les quantités d'énergie cinétique absorbées ou produites.

*Indication:* Vitesse de la lumière  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

3) Montrer que pour deux événements séparés par un intervalle de type espace il existe un référentiel dans lequel ils sont simultanés.

4) Le pion  $\pi^+$  est une particule élémentaire qui a une durée de vie propre de  $\tau_0 = 2,6 \times 10^{-8} \text{ s}$ . On considère des pions qui se déplacent par rapport au repère du laboratoire ( $R_L$ ) à une vitesse constante  $v$  égale à 80% de la vitesse de la lumière,

- a) Quelle est la durée de vie de la particule mesurée depuis le référentiel du laboratoire?  
 b) Quelle est la distance parcourue par le pion pendant sa durée de vie (par rapport à  $R_L$ ) ?  
 c) Quelles seraient ces distances observées depuis le référentiel  $R_0$  dans lequel la particule est au repos?  
 d) Interpréter en termes de dilatation et contraction de l'espace-temps.