

**Série 10.**  
**Systèmes quantiques.**

**Exercice 10.1** Oscillateur harmonique.

Pour l'oscillateur harmonique,

$$H = \hbar\omega \frac{p^2 + q^2}{2} \quad (1)$$

[possédant le spectre  $E_n = \hbar\omega(n+1/2)$ ], calculer l'entropie  $S$  en fonction de la température  $T$ .

Vérifier que

- (1) dans la limite des basses températures,  $\lim_{T \rightarrow 0} S(T) = 0$ .
- (2) dans la limite des hautes températures, l'entropie s'approche de sa valeur classique [voir Problème 6.1].

**Exercice 10.2** Système à deux niveaux.

On considère un spin  $s = 1/2$  dans un champ magnétique extérieur  $B$ . Le Hamiltonien du système s'écrit

$$H = -Bs_z = \frac{B}{2} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Calculer l'aimantation  $\langle s_z \rangle$  et l'entropie  $S$  à température  $T$  en fonction du paramètre  $x = B/T$ . Commenter les résultats dans les limites  $x \rightarrow 0$  et  $x \rightarrow \infty$ .