

**9.1** Určete asymptotické chování Debyeova a Einsteinova měrného tepla, srovnajte s experimentem, diskutujte.

$$C_{V \text{ Debye}} = 9R \left( \frac{T}{\Theta_D} \right)^3 \int_0^{\frac{\Theta_D}{T}} \frac{x^4 e^x}{(e^x - 1)^2} dx$$
$$C_{V \text{ Einstein}} = 3R (\beta \hbar \omega_E)^2 \frac{e^{\beta \hbar \omega_E}}{(e^{\beta \hbar \omega_E} - 1)^2}$$

**9.2** V nejjednodušší harmonické aproximaci vykazují modely mřížek absenci teplotní roztažnosti (tj. střední hodnota výchylky je teplotně nezávislá (nulová), ukažte). Ukažte, že toto jde v modelovém přiblížení napravit přidáním dalšího členu do rozvoje potenciální energie

$$U(x) = ax^2 - bx^3 ,$$

kde  $a, b > 0$  ( $b$  je zvoleno tak, aby anharmonický příspěvek k energii byl malý) a člen úměrný  $x^3$  vyjadřuje asymetrii vzájemného odpuzování atomů.