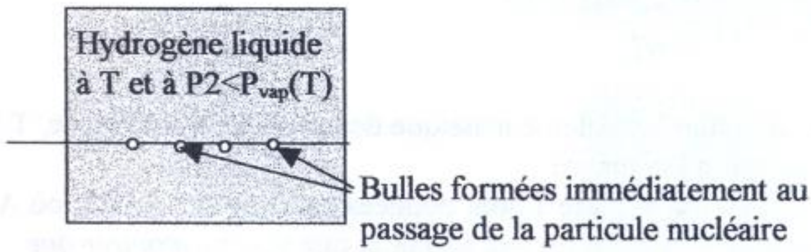
INSA de Rouen
Département Energétique et propulsion
Enseignement Thermodynamique et Machines Thermiques (A. Coppalle)

Pour détecter des particules nucléaires, on fait passer celles-ci dans un système appelé 'chambre à bulles'. Il s'agit d'une enceinte contenant de l'hydrogène liquide et la trace des particules est alors détectée par des petites bulles qui se forment aux passages des particules à hautes énergies.
L'hydrogène liquide est détendu, sa pression P2 est inférieure à la pression d'équilibre $P_{vap}(T)$.
L'hydrogène est donc dans un état métastable à la température T. Quand une particule nucléaire passe dans la chambre, il y a un petit apport local d'énergie le long de la trajectoire, ce qui entraîne la formation de bulle de gaz d'hydrogène, celles-ci étant sphériques de rayon r.



Au passage de la particule nucléaire, on constate que si, la bulle est d'un rayon r supérieure à un rayon critique r_c, elle grossit, sinon elle disparaît.

A tout instant, la pression dans la bulle vérifie **la relation P-P2=2A/r**, où A est une constante.
On suppose que la vaporisation et l'augmentation de la taille des bulles est isotherme à la température T.

On va déterminer la pression critique correspondant au rayon r_c.
Question préliminaire : *A partir de la définition de l'enthalpie libre massique g(T,P), retrouver la relation liant dg à dT et dP.*

1°) *Calculer les variations d'enthalpie libre massique Δg de :*
- *l'hydrogène liquide qui passe de P_2 à $P_{vap}(T)$,* (liquide incompressible et indilatable)
- *l'hydrogène gazeux qui passe de P_c à $P_{vap}(T)$,* (hypothèse de gaz parfait)

2°) en déduire la pression critique de formation des gouttes correspondant au rayon critique r.
On supposera que, quand une bulle apparaît, il y a immédiatement égalité des enthalpies libres massiques entre la phase liquide et la phase vapeur, c.a.d. $g_l(T,P_2)=g_v(T,P_c)$.
On exprimera Pc en fonction de $P_{vap}(T)$, P2, T, v_l le volume massique de l'hydrogène liquide.
On suppose connue $r=R/M_{H2}$.
3°) En déduire l'expression de r_c.
4°) A.N. Calculer P_c et r_c pour les valeurs suivantes (en SI) :
$T=26{,}5$ K ; $P2=2.\ 10^5$, $P_{vap}(26{,}5)=4.5\ 10^5$, $A= 9\ 10^{-4}$
R=8,32 et $M_{H2}=0.002$ (SI). Dans les conditions de la chambre, on prendra $v_{h2}=1/58$ (SI)

Réponses

Question préliminaire: $g=h-Ts$ ===> $dg= -sdT+vdP$, avec v le volume massique

1°) $dg_l= -s_l dT+v_l dP$ ===> $\Delta g_l= v_l\,(Pvap(T)-P2)$

$dg_v=-s_v dT+v_v dP$ ===> $\Delta g_v= rT\,Ln(P_{vap}/P_C)$

2°) à l'équilibre : $g_l(T,P_{vap})= g_v(T,P_{vap})$

Mais on admet aussi (voir énoncé) qu'il y a égalité des enthalpies libres au moment ou apparait une bulle de gaz : $g_l(T,P_2)= g_v(T,P_c)$

===> $\Delta g_l=\Delta g_v$ ===> $v_l\,(Pvap(T)-P2)= rT\,Ln(P_{vap}/P_C)$

3°) $r_c= 2A/(P_C-P_2)$

4°) A.N.: $P_c= 4,32\ 10_5$ Pa, $r_c= 7,76$ nm