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

Refroidissement avec une détente de Joule-Thomson

Etude préliminaire

On considère un kilogramme de gaz. On montre que l'enthalpie massique du gaz réel est donnée par

$$h(T,P) = h_{gp}(T) + \int_{P0}^{P} (v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p)dP$$

$$\text{Rq : le terme } v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \text{ est pris à la température T}$$

h_{gp} est l'enthalpie du gaz parfait à T: $h_{gp}= c_p\,(T-T_0)$ (origine des enthalpies à 0 pour T0),

à T_0,P_0, le gaz est un gaz parfait.

L'équation d'état de l'azote est donnée par la loi approchée

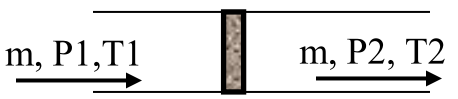
$Pv= rT+ [B-A/(rT)]P$ avec $A=165{,}8\ Jm^3/Kg^2$, $B= 1{,}357\ 10\text{-}3\ m^3/Kg$, $r= 297{,}1\ J/Kg/K$

Calculer l'enthalpie de l'azote en fonction de l'enthalpie du gaz parfait (pris dans les mêmes conditions de T et P), de la pression P0, et des paramètres de l'équation d'état.

Refroidissement de l'azote par détente

On cherche à refroidir de l'azote avec une détente de Joule-Thomson.

On détend de façon adiabatique le gaz en le faisant circuler sans vitesse initiale notable dans une conduite comportant une section qui ralentit le gaz (voir schéma ci-dessous).



On étudie le régime permanent

1°) Rappeler le premier principe pour un système ouvert à une entrée et une sortie en régime permanent et qui permet de récupérer du travail utile W^u sur un arbre.
-Que peut-on dire de la transformation de Joule-Thomson ?
-Si l'azote est un gaz parfait, démontrer que $T_2=T_1$.
2°) En réalité l'azote est légèrement différent d'un gaz parfait si la pression augmente.
Son équation d'état est donnée par la loi approchée donnée dans l'étude préliminaire.
- Donner l'expression de $\left.\frac{dT}{dP}\right|_h$ *lors de la détente de Joules-Thomson et en fonction des paramètres de la loi d'état approchée, et de c_p*
3°) Montrer qu'il existe une température Ti tel que si T<Ti, la détente provoque un refroidissement, et si T>Ti un réchauffement.
A.N. donner la valeur de Ti, avec $c_{P,N2}=7/2\ r$.
4°) pour faire facilement et rapidement une application numérique, on va simplifier l'expression de dT/dP.
Pour cela, on admettra que, lors de la détente, la variation de température est faible.
Montrer alors que dT/dP est pratiquement constant au voisinage de 293K, et pour les valeurs de pression $P1=10^6$ et $P2=10^5$ Pa.
En déduire la valeur du refroidissement T2-T1.

Réponses

Etude préliminaire

$v = \frac{rT}{P} + (B - \frac{A}{rT})$ ===> $\left.\frac{\partial v}{\partial T}\right|_P = \frac{r}{P} + \frac{A}{rT^2}$, $v - T\left.\frac{\partial v}{\partial T}\right|_P = B - 2\frac{A}{rT}$

$h(T,P) = h_{gp}(T) + \left(B - 2\frac{A}{rT}\right)(P - P_0)$

Refroidissement de l'azote par détente

1°) Pour un système ouvert avec une entrée 1 et une sortie 2, en régime permanent, le bilan d'énergie devient :

$$\dot{m}\,(h2 - h1) = \dot{W}^u + \dot{Q},$$

$\dot{m}$ est le débit massique de fluide passant dans le système (kg/s), $\dot{W}^u$ est la puissance utile récupérée sur un arbre et $\dot{Q}$ la puissance échangée en chaleur.
La détente de Joule-Thomson est telle que $\dot{W}^u$ =0 $\dot{Q}$ =0. ===> détente isenthalpe h2=h1
Si le gaz est parfait h=cp T +cst ===> T2=T1, pas de variation de température lors de la détente.
2°) Lors de la détente de Joule-Thomson dh= 0
En reprenant l'expression de h(T,P) vue précédemment, on obtient :

$$\left.\frac{dT}{dP}\right|_h = -\frac{[B-2A/rT]}{[c_P+2A\,(P-P_0)/rT^2]}$$

3°) Pour une détente : dP <0
Si dT/dP >0 alors dT <0, c'est un refroidissement,
Si dT/dP <0 alors dT >0, c'est un réchauffement.
La valeur limite est B- 2A/rTi =0 ===> Ti= 2A/rB
Si B- 2A/rT<0, c.a.d. si T <Ti , alors dT<0 refroidissement
Si B- 2A/rT>0, c.a.d. si T >Ti , alors dT>0 rechauffement
Ti= 822,5 K
4°) Si la température varie peu au cours de la détente, le terme $[B - 2A/rT]$ est pratiquement constant.
D'autre part avec les valeurs de pression P2 (=P0) et P1,
on trouve que la valeur maximum de $2A\,(P1 - P_0)/rT^2$ est égale à 11,7 J/kg
or cp=7/2r= 1040 j/kg
===> on peut négliger le 2eme terme du dénominateur de dT/dP.
dT/dP est constant au voisinage de 298 K
A.N. : T2-T1=(2A/rT-B) (P2-P1)/cp ===> T2-T1= 2,36 10-6 (P2-P1) à T1=293K
Soit T2-T1= -2,1 K