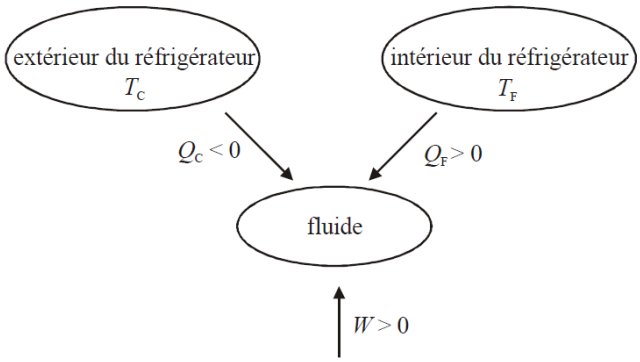
Exercice n°2 : Système de refroidissement du LHC (ATS 2015) (commun)

Correction de P. Salles.

26) Voir cours.

Système étudié dans cet exercice: fluide caloporteur.



27) L'extérieur du réfrigérateur est la source chaude et l'intérieur du réfrigérateur la source froide.

28) Du fait des transferts thermiques naturel du chaud vers le froid à travers les parois, l'intérieur du réfrigérateur reçoit de l'énergie. Le but de la machine est d'extraire cette énergie de l'intérieur du réfrigérateur et de la rejeter à l'extérieur afin de maintenir à basse température le compartiment frigorifique.

On en déduit que $\boxed{Q_F > 0}$ et $\boxed{Q_C < 0}$.

Un réfrigérateur est un récepteur donc $W > 0$.

29) Le premier principe s'écrit sur un cycle $\Delta U = W + Q_C + Q_F$.

L'énergie interne est une fonction d'état donc sur un cycle $\Delta U = 0 \Rightarrow \boxed{W + Q_C + Q_F = 0}$.

30) $\boxed{\eta = \dfrac{Q_F}{W}}$ or $W = -Q_C - Q_F$ donc $\boxed{\eta = -\dfrac{Q_F}{Q_C + Q_F}}$

31) Le second principe s'écrit sur un cycle <u>réversible</u> $\dfrac{Q_C}{T_C} + \dfrac{Q_F}{T_F} = \Delta S$.

L'entropie est une fonction d'état donc sur un cycle $\Delta S = 0 \Rightarrow \boxed{\dfrac{Q_C}{T_C} + \dfrac{Q_F}{T_F} = 0}$

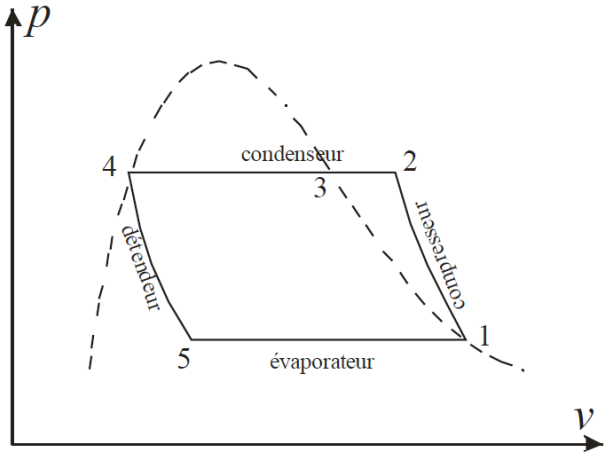
32) $\dfrac{Q_C}{T_C} + \dfrac{Q_F}{T_F} = 0 \Rightarrow Q_C = -\dfrac{T_C}{T_F} Q_F$ pour un cycle réversible

$$\Rightarrow \eta_{rev} = -\frac{Q_F}{-\dfrac{T_C}{T_F} Q_F + Q_F} \Rightarrow \boxed{\eta_{rev} = \frac{T_F}{T_C - T_F}}$$

$$\eta_{rev} = \frac{280}{300 - 280} \Rightarrow \boxed{\eta_{rev} = 14}$$

33) Diagramme de Clapeyron

34) On lit $x_1 = 1$, $x_3 = 1$ et $x_4 = 0$.



3.2.1. Calcul des températures T_2 et T_3

35) La compression 1-2 est réversible donc d'après le second principe $\frac{\delta Q}{T} = dS$

La compression 1-2 est adiabatique donc $\delta Q = 0$.

On en déduit que **la compression 1-2 est isentropique** $(dS = 0)$

36) La compression isentropique d'un gaz parfait obéit à la loi de Laplace

$$\boxed{T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

37) $T_2 = 263 \left(\frac{10}{3} \right)^{0,23} = 263 \frac{4}{3} \Rightarrow \boxed{T_2 \approx 350 \text{ K}}$

38) $\boxed{c_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{R}{M}}$

39) $\boxed{\Delta h_{2\to3} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{R}{M} (T_3 - T_2)}$

40) $\Delta h_{2\to3} = h_3 - h_2 = 1490 - 1620 = -130 \text{ kJ.kg}^{-1}$

$$T_3 - T_2 = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{M}{R} \Delta h_{2\to3} = -0,23 \frac{17.10^{-3}}{8,31} 130\,000 \Rightarrow T_3 - T_2 = -60 \text{ K} \Rightarrow \boxed{T_3 = 290 \text{ K}}$$

3.2.2. Calcul de x_5 et de Q_f

41) L'enthalpie de vaporisation d'un masse m_l de liquide est $\Delta H = m_l \Delta h_{vap}$

or $m_l = (1-x) m_{tot}$ donc $\Delta H = (1-x) m_{tot} \Delta h_{vap}$.

On a bien $\boxed{\Delta h = (1-x) \Delta h_{vap}}$ lors de la vaporisation.

42) $1 - x_5 = \frac{h_1 - h_5}{\Delta h_{vap}(T_1)} = \frac{1130}{1\,450} = 0,78$ donc $\boxed{x_5 = 0,22}$

43) C'est l'évaporation $(5 \to 1)$ du fluide qui permet de prendre de l'énergie à la source froide grâce au transfert $Q_f > 0$.

44) Le premier principe des systèmes ouverts appliqué à l'évaporateur (sans parties mobiles) donne $h_1 - h_5 = \cancel{w_i} + q_f \Rightarrow \boxed{q_f = (h_1 - h_5)} 1130 \text{ kJ.kg}^{-1}$

3.2.3. Calcul de l'efficacité du réfrigérateur

45) Le seul organe comprenant des parties mobiles est le compresseur donc le seul travail indiqué w_i est sur la transformation $1 \to 2$.

Le premier principe des systèmes ouverts appliqué à la compression adiabatique donne $h_2 - h_1 = w_i + \cancel{q}$.

On a donc bien démontré que $\boxed{w_{i\,\text{cycle}} = h_2 - h_1} = 170 \text{ kJ.kg}^{-1}$

46) $\eta_r = \frac{q_f}{w} = \frac{1130}{170} \Rightarrow \boxed{\eta_r = \frac{20}{3}}$

47) $\eta_r < \eta_{rev}$. Le cycle n'est pas réversible.