Banque PT, France

Session 2022, filière PT

Physique B, thermodynamique

Durée : 2 heures

Ce que traite le sujet

- Partie 1 : système frigorifique à cycle de Brayton inversé
- Partie 2 : techniques de refroidissement basses températures

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/banque-pt/pt/2022/physique-b-thermo

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

Epreuve de Physique B - Thermodynamique

Durée 2 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est interdit.

AVERTISSEMENT

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction, la clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans **l'appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

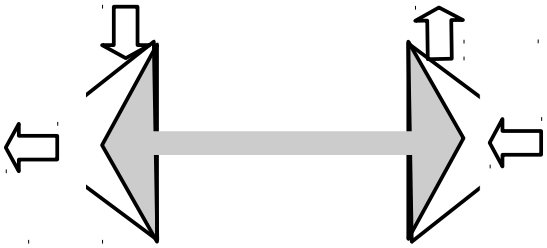
CONSIGNES :

- Composer lisiblement sur les copies avec un stylo à bille à encre foncée : bleue ou noire.
- L'usage de stylo à friction, stylo plume, stylo feutre, liquide de correction et dérouleur de ruban correcteur est interdit.
- Remplir sur chaque copie en MAJUSCULES toutes vos informations d'identification : nom, prénom, numéro inscription, date de naissance, le libellé du concours, le libellé de l'épreuve et la session.
- Une feuille, dont l'entête n'a pas été intégralement renseigné, ne sera pas prise en compte.
- Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance

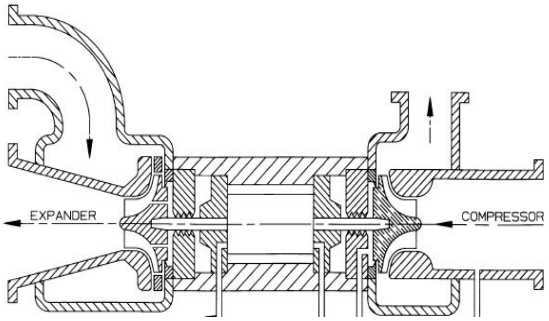
Attention : annexe à rendre obligatoirement en fin d'épreuve même-si cette dernière n'a pas été complétée.

PARTIE 1:
Étude d'un système frigorifique avec un cycle de Brayton inversé

Document 1: **Description d'un turbo-détendeur cryogénique**



Turbine Compresseur



L'objectif de cet organe n'est pas la compression mais l'expansion du gaz à travers la turbine afin d'abaisser la température du gaz. Le design de l'admission et de la partie tournante de la turbine donnent d'abord une grande vitesse au gaz avant qu'il soit détendu par l'augmentation du volume disponible autour de l'axe. Cette détente donne un travail mécanique qu'on récupère sur l'axe et qui peut servir à compresser sur le même axe.

Cette technique d'un seul et même axe est utilisée pour les turbines à gaz dans le cycle de Brayton ou dans le cycle de Joule. Le cycle de refroidissement correspondant porte donc le nom de cycle de Brayton inversé. De multiples inventions de roulements et de lubrifications ont eu lieu et permettent des vitesses de rotation très importantes à de basses températures d'utilisation.

Document 2: **Description d'un cycle de Brayton inversé avec l'air pour fluide.**

Ce cycle utilisant l'air sert à réfrigérer un fluide à -70°C, il est schématisé en annexe. Les variations d'énergie potentielles et cinétiques entre chaque organe du cycle sont négligées par rapport aux variations d'enthalpie. Les compressions et le turbinage sont considérés comme isentropiques. La transmission de puissance est supposée intégrale entre turbine et compresseur. Les échangeurs sont considérés comme isobares. Le fluide utilisé est l'air qui est de température initiale -20°C (état A) à 1.0 bar. L'air est comprimé de 1,0 bar à 10 bar de manière isentropique par deux compresseurs. Le premier compresseur est entraîné par la turbine du turbo-détendeur et amène l'air à l'état (B). L'air sort à l'état (C) à -10°C après avoir parcouru un échangeur alimenté au frigorigène R134a. La sortie du deuxième compresseur est l'état (D) à 10 bar. Ce compresseur est entraîné par un moteur électrique. L'air est ensuite refroidi à -10°C dans un deuxième échangeur au frigorigène R134a et sort à l'état E. L'air toujours compressé entraîne ensuite la turbine en se détendant jusqu'à 1,0 bar (état F). Pour finir, l'air en traversant deux échangeurs augmente en température. Entre la température de -140°C et -75°C, l'air refroidit un fluide qu'on cherche à réfrigérer à -70°C et sort à l'état G. Ensuite l'air refroidit le fluide R134a jusqu'à revenir à l'état A. Il faut d'autre part refroidir le fluide R134a par un système complémentaire.

(Partie 1: poids approximatif dans le barème 45%)

Question 1: Rappeler le premier principe avec l'enthalpie massique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel d'un système à une entrée et une sortie.

Question 2: Compléter le schéma en annexe avec les lettres des différents états du cycle.

Question 3: En utilisant le diagramme {log(P),h} de l'air (R729) fourni en annexe (unité des isothermes en °C, unité des isentropes en $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), exprimer puis calculer le travail massique reçu par l'air lors de la détente isentropique de (E) à (F). En déduire le travail massique reçu par l'air lors de la compression de (A) à (B).

Question 4: Compléter le tableau de l'annexe, placer les points et tracer le cycle sur le diagramme {log(P),h} de l'air en annexe.

Question 5: Exprimer et calculer le transfert thermique reçu par l'air en contact avec le fluide qui est à maintenir à -70°C.

Question 6: On considère deux sources à -70°C et -25°C. Redémontrer, exprimer puis calculer l'efficacité de Carnot dans le cas d'une machine réversible qui refroidit la source froide grâce à du travail apporté par l'extérieur.

Question 7: En considérant que le travail du compresseur électrique soit la seule énergie dépensée, exprimer et calculer l'efficacité du cycle. Commenter.

Question 8: Quelle dépense supplémentaire faudrait-il compter pour calculer l'efficacité du cycle ?

Question 9: Exprimer et calculer le transfert thermique massique reçu du R134a par l'air dans les trois échangeurs « R134a ». En déduire le transfert thermique total reçu par le R134a.

Question 10: On considère une efficacité égale à 2 pour refroidir le fluide R134a par un système complémentaire afin de compenser les échanges avec l'air. Exprimer et calculer une nouvelle efficacité pour le système.

PARTIE 2: Techniques de refroidissement basses températures

Document 3: **Évaporateur de cryogènes et frigorigènes**

Un système réfrigérant peut utiliser l'évaporation isobare d'un liquide dont la température d'évaporation est plus basse que la température désirée. Elle se fait souvent à pression atmosphérique dite normale. C'est l'évaporation qui permet de transférer des «frigories» du liquide vers le corps à refroidir. Si le liquide utilisé n'est pas un mélange mais est pur, l'évaporation est non seulement isobare mais aussi isotherme.

Fluide	He	H_2	Ne	N_2 R728	Air R729	Ar R740	O_2 R732	$C_2H_2F_4$ R134a
T_{VAP}(1bar)	4,2 K	20.4	27.1K	77K	79K	87.3 K	90K	247K
T_{VAP}(1bar)	-269°C	-253°C	-246°C	-196°C	-194°C	-186°C	-183°C	-26°C
Δh_{VAP}(1bar)	20.4 kJ/kg	446 kJ/kg	84,7 kJ/kg	199 kJ/kg	---	163,5 kJ/kg	213 kJ/kg	215,9 kJ/kg

Document 4: **Détente de Joule-Thomson et Température d'inversion**

Pour un gaz parfait, l'enthalpie ne dépend que de la température (ou $H_{G.P.}=H(T)$). Pour un gaz réel, l'enthalpie dépend aussi de la pression (ou $H_{REEL}=H(T,P)$). Une détente de Joule-Thomson est adiabatique et sans travail indiqué et se fait avec un détendeur. Si on néglige la variation d'énergie potentielle et cinétique, on montre facilement que la détente se fait sans changement de température pour un gaz parfait. Pour un gaz réel, la variation de température peut être soit positive soit négative. Pour que la variation soit négative, il faut que la température de la détente soit en dessous d'une température dite d'inversion $T_{INVERSION}$ qui est propre à chaque gaz.

Le coefficient de Joule Thomson $\mu_{J\text{-}T}$ est la dérivée partielle de la température en fonction de la pression à enthalpie constante.

$$\mu_{J-T}=\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H \quad \text{. Avec} \quad C_P=\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$$

On peut montrer que $$\mu_{J-T}=\frac{T\cdot\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V}{C_P}$$

Gaz	He	Ne	N_2 R728	Air R729	Ar R740	O_2 R732
$T_{INVERSION}$	43 K	260K	623 K	603 K	815 K	761K

Document 5: **Diagramme TS de l'Hélium en dessous de 15K**



Document 6: **Le Large Hadron Colisionner (LHC)**

« Ces performances ne seraient pas envisageables sans l'utilisation de systèmes cryogéniques. Les câbles des bobines composés de niobium-titane (NbTi) doivent être conservés à très basses températures pour atteindre un état de supraconduction. Ainsi les aimants supraconducteurs du LHC sont maintenus à 1,9 K (-271,3°C) grâce à un circuit fermé d'hélium liquide. Le système de réfrigération des aimants du LHC est conçu sur la base de 5 « îlots cryogéniques » devant véhiculer le fluide de refroidissement et transporter des kilowatts de puissance réfrigérante sur plusieurs kilomètres. L'ensemble du processus de refroidissement dure quelques semaines, il se déroule en trois phases. Premièrement, l'hélium est refroidi à 80 K puis 4,5 K, deuxièmement, il est injecté dans les masses froides des aimants et troisièmement, il est refroidi jusqu'à la température de 1,9 K. Au cours de la première étape, 10 000 tonnes d'azote liquide, environ, sont utilisées dans les échangeurs de chaleur des réfrigérateurs pour baisser la température de l'hélium à 80K. Ensuite des turbines entrent en jeu pour baisser la température du liquide à 4,5 K (- 268,7°C). Une fois les aimants remplis, le système est à nouveau refroidi par les unités de réfrigération à 1,8 K pour atteindre 1,9 K (-271,3°C). Au total, 36 000 tonnes de masses froides dans les aimants sont refroidies par le système cryogénique. En période d'exploitation de la machine, l'hélium circule en boucle fermée.»
https://home.cern/fr/science/engineering/cryogenics-low-temperatures-high-performance
au 01/11/2021

Tournez la page S.V.P.

(Partie 2: poids approximatif dans le barème 55%)

Question 11: Montrer qu'une détente de Joule-Thomson est isenthalpe (H=constante). Ensuite montrer qu'elle est isotherme (T=constante) pour un gaz parfait(GP). Dans un diagramme {log(P),h} quelles sont donc les formes des isothermes pour un GP ?

Question 12: On souhaite abaisser la température de l'air par détente de Joule-Thomson avec un gaz réel en se situant sous la température d'inversion. Justifier dans ce cas le signe du coefficient de Joule Thomson. Calculer le coefficient de Joule-Thomson du GP.

Question 13: On étudie le turbinage adiabatique réversible d'un air à 220ºC d'une pression initiale de 10 bar à une pression finale de 1,0 bar. En utilisant le diagramme en annexe, évaluer la température finale $T_{F\text{-}REV}$.

Question 14: On considère cette fois-ci un turbinage adiabatique irréversible ($\delta S_i>0$) de 10 bar à 1,0 bar et une température finale $T_{F\text{-}IRREV}$. Comparer sans calcul $T_{F\text{-}IRREV}$ et $T_{F\text{-}REV}$ en justifiant à l'aide du diagramme.

Question 15: A l'aide de la deuxième identité thermodynamique, montrer que la variation d'entropie d'un GP est égale à:

$\Delta S = S_F - S_I = C_P \cdot \ln\left(\frac{T_F}{T_I}\right) - n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{P_F}{P_I}\right)$. Comparer alors $T_{F\text{-}IRREV}$ et $T_{F\text{-}REV}$.

Question 16: Si la température devient trop basse et qu'on se rapproche du domaine diphasé, quelle(s) risque(s) encour(en)t la turbine ? Donner alors un avantage et un inconvénient au turbinage pour l'abaissement de température.

Question 17: Donner un avantage et un inconvénient à la détente de Joule-Thomson pour l'abaissement de température. (regarder la forme des isenthalpes dans le diagramme TS)

Question 18: Quel(s) liquide(s) cryogène(s) peu(ven)t être utilisé(s) dans un évaporateur pour refroidir et liquéfier le diazote à pression atmosphérique ? Justifier.

Question 19: La détente de Joule-Thomsom du cycle des machines cryogéniques utilisant l'Hélium au CERN se produit à partir de 3,0 bar et 5,5K. A l'aide du document 5, relever les entropies du diagramme pour exprimer et calculer la fraction massique en liquide du mélange après détente à 1,0 bar.

Question 20: Quelle est la température de refroidissement la plus basse possible pour un corps en contact avec l'hélium liquide à pression atmosphérique ? Justifier. Avec une pompe à vide, on ramène la pression de 1 bar (pression atmosphérique) à 15mBar, quelle est la température la plus basse possible pour un corps en contact avec l'hélium liquide sous cette pression réduite ? (on s'aidera du document 5)

Question 21: A l'aide du document 6, recopier le tableau ci-dessous puis compléter le.

Phase de refroidissement	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Objet à refroidir	Hélium à .. K	Aimants à .. K	Aimants à .. K
Liquide réfrigérant	… à .. K sous 1,0 bar	Hélium à .. K avec turbinage cryogénique	.. à .. K sous 15 mbar

Fin de l'épreuve

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : …….. **Section/Spécialité/Série :** ……

Epreuve : …….. **Matière :** …….. **Session :** ……..

CONSIGNES

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

086

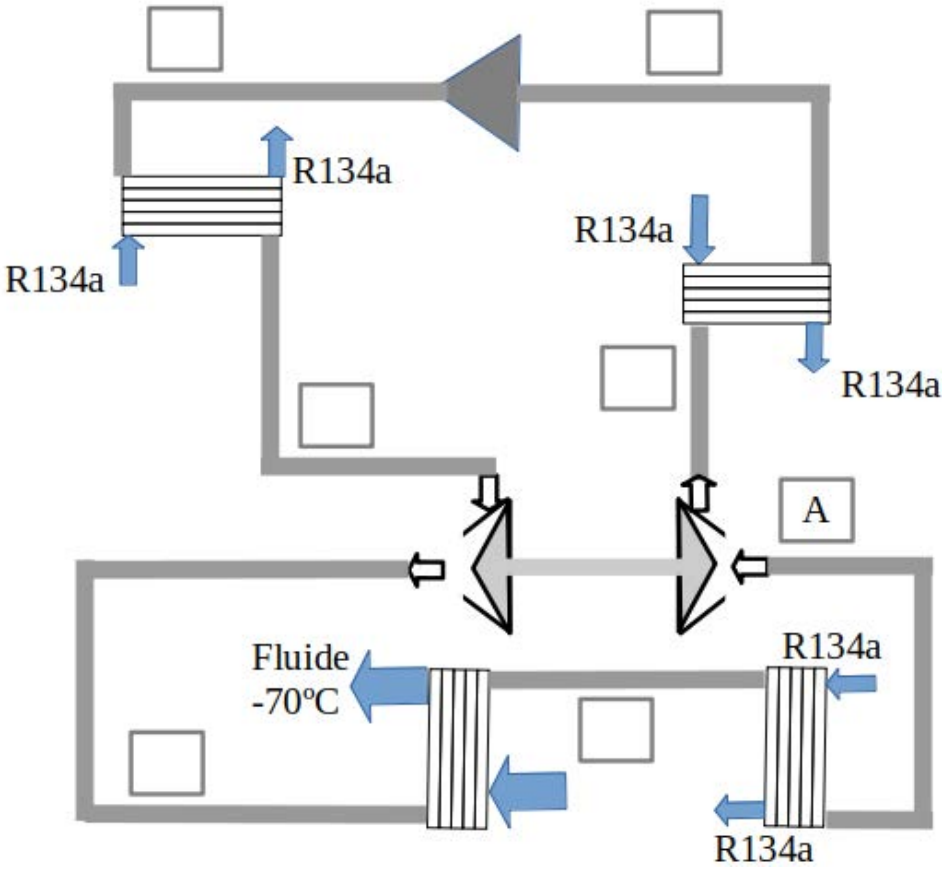
Renseigner la cartouche d'identification : une feuille, dont l'entête n'a pas été intégralement renseigné, ne sera pas prise en compte.

Annexe à rendre en fin d'épreuve.

B

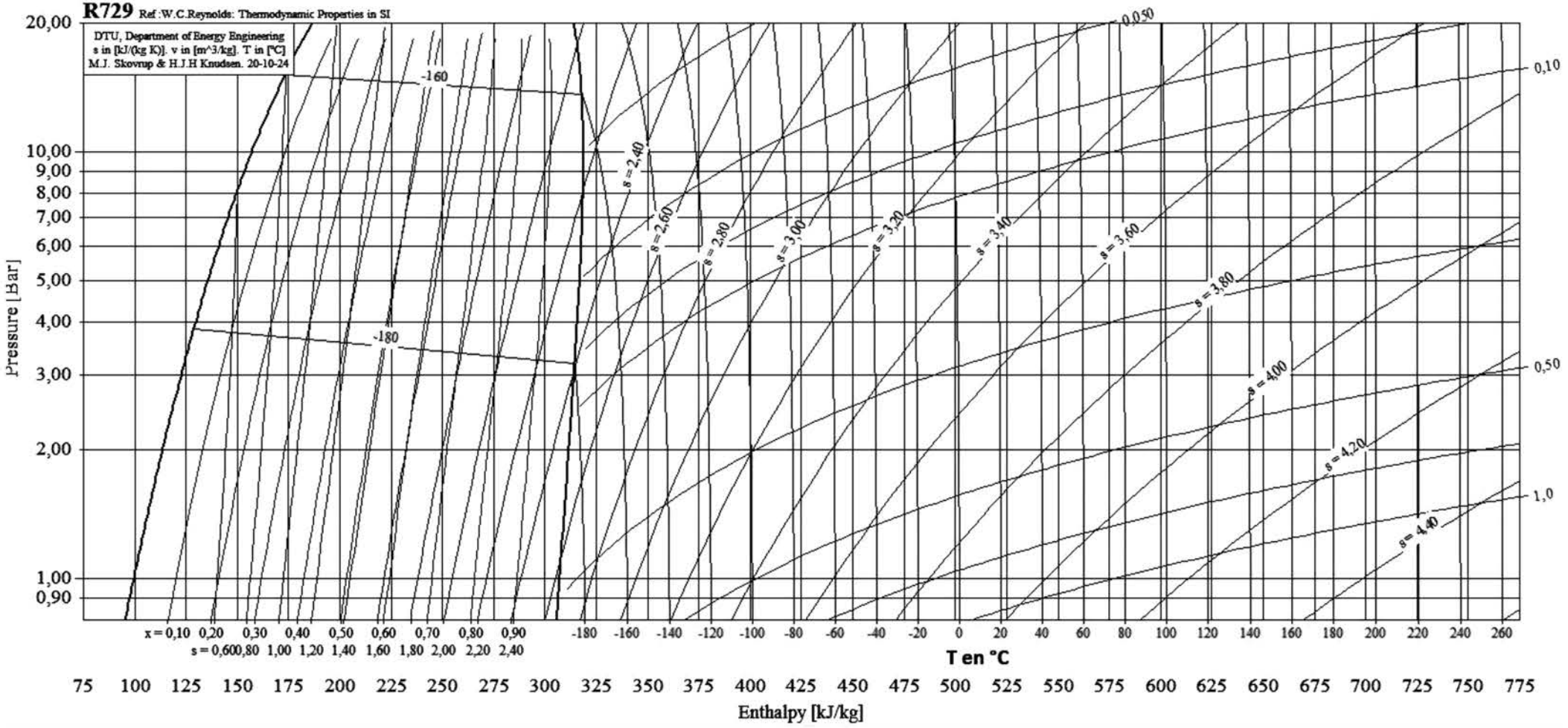
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

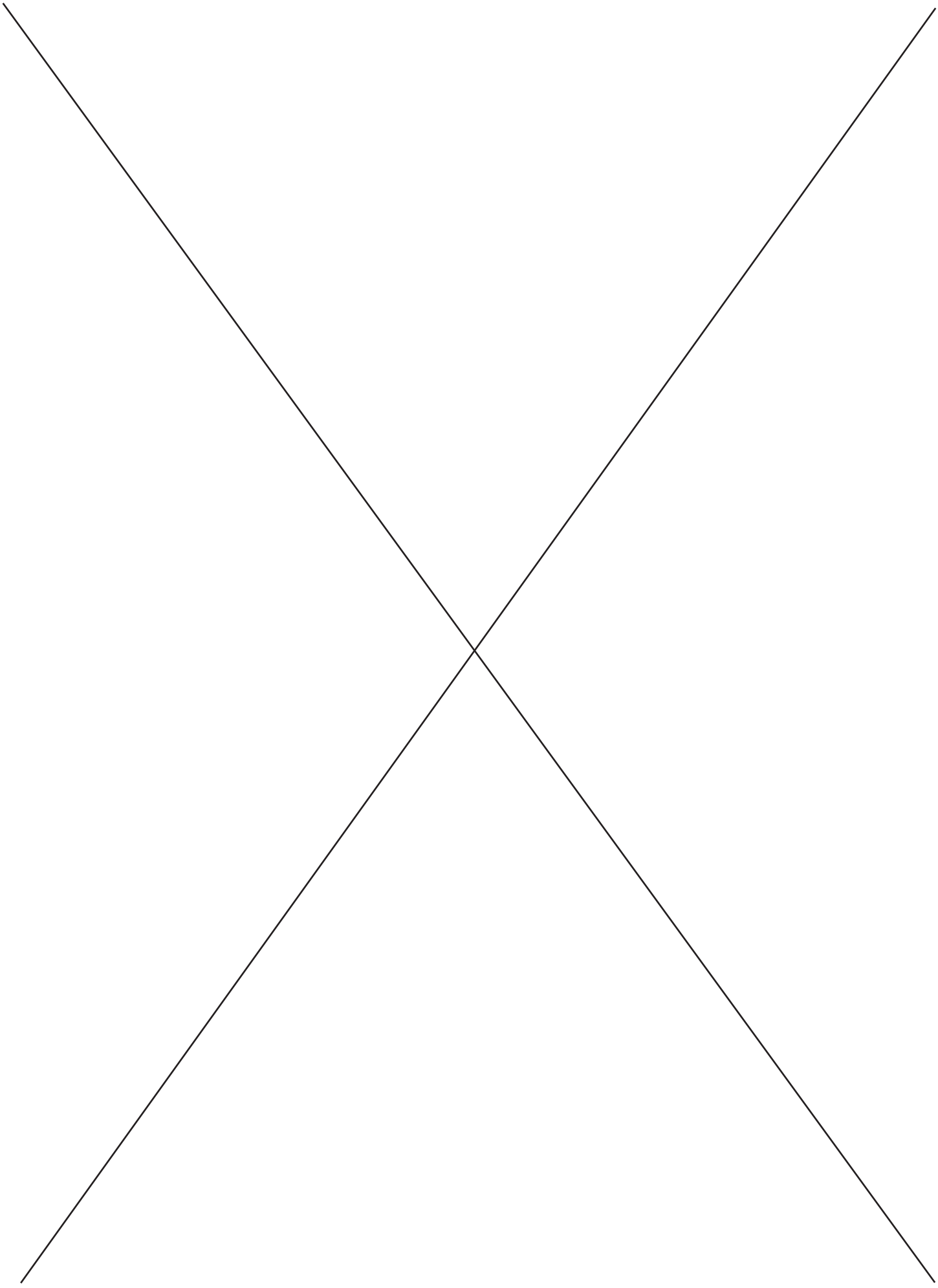
Question 2



Question 4

États		Pression	Température	h(kJ.kg^{-1})
A	Entrée compresseur	1,0 bar	-20°C	
B	Entrée échangeur			
C	Entrée compresseur		-10°C	
D	Entrée échangeur	10 bar		
E	Entrée turbine	10 bar	-10°C	
F	Entrée échangeur	1,0 bar		
G	Entrée échangeur	1,0 bar	-75°C	


R729 Ref :W.C.Reynolds: Thermodynamic Properties in SI
DTU, Department of Energy Engineering
s in [kJ/(kg K)]. v in [m^3/kg]. T in [°C]
M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen. 20-10-24
Pressure [Bar]
20,00
10,00
9,00
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,90
-160
-180
0,050
0,10
0,50
1,0
s = 2,40
s = 2,60
s = 2,80
s = 3,00
s = 3,20
s = 3,40
s = 3,60
s = 3,80
s = 4,00
s = 4,20
s = 4,40
x = 0,10 0,20 0,30 0,40 0,50 0,60 0,70 0,80 0,90
s = 0,60 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 2,20 2,40
-180 -160 -140 -120 -100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260
T en °C
75 100 125 150 175 200 225 250 275 300 325 350 375 400 425 450 475 500 525 550 575 600 625 650 675 700 725 750 775
Enthalpy [kJ/kg]



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PT chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/banque-pt/pt