

PHYSQ 261 LEC X1 : Physique de l'énergie et de l'environnement
EXAMEN FINAL
Automne 2011

Nom **SOLUTIONS**

Numéro d'étudiant _____

Professeur Marc de Montigny
Date Mercredi, 7 décembre 2011, de 18h00 à 21h00
Lieu CSJ MCM 164

Instructions

- Ce cahier contient **10 pages**. Vous y écrirez directement vos réponses.
- L'examen vaut **40%** de la note finale du cours. Il vaut **40 points**.
- L'examen contient **15 questions** de différents niveaux de difficulté. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale n'est pas correcte. Soyez clairs et précis.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez préparé.
- Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs. *Je ne les corrigerai pas*, sauf si vous m'indiquez de le faire.
- Matériel permis: crayons ou stylos, calculatrices (programmables et graphiques permises). Les assistants numériques (en anglais, *PDA*s) sont interdits.
- Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.
- **Si quelque chose n'est pas clair, dites-le moi!**

Question 1. [3.0 points] Efficacité thermique Une centrale nucléaire contient un réacteur auquel on doit fournir de la chaleur à un taux de 714 MW pour produire de l'énergie électrique à un taux égal à 207 MWe.

- (A) À quel taux, en MW, la chaleur est-elle libérée dans l'environnement?
- (B) Quelle est l'efficacité thermique η de cette centrale?
- (C) Si cette centrale est refroidie par une tour humide (en anglais, *wet cooling tower*), quel volume d'eau est évaporé par jour si on suppose que toute la chaleur perdue par la centrale cause l'évaporation? (Pour l'eau: densité $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, chaleur latente d'évaporation $L_V = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$.)

Solution

$$(A) \frac{Q_c}{t} = \frac{Q_h}{t} - \frac{W}{t} = 714 - 207 = 507 \text{ MW}$$

$$(B) \eta = \frac{W}{Q_h} = \frac{207}{714} = 0.2899 = 29\%$$

$$(C) Q_c = mL_V = \rho VL_V, \quad V = \frac{\left(\frac{Q_c}{t}\right)\Delta t}{\rho L_V} = \frac{(507 \times 10^6)(24 \times 3600)}{(1000)(2.26 \times 10^6)} = 19400 \text{ m}^3$$

Question 2. [2.0 points] Coefficients de performance (COP)

- (A) Quel est le COP d'un climatiseur *idéal* qui refroidit une pièce à 22 °C quand il fait 32 °C à l'extérieur?
- (B) Quel est le COP d'une pompe à chaleur *idéale* qui réchauffe une pièce à 32 °C quand il fait 22 °C à l'extérieur?

Solution

$$(A) COP = \frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_h - Q_c} = \frac{1}{\frac{Q_h}{Q_c} - 1} = \frac{1}{\frac{T_h}{T_c} - 1} = \frac{1}{\frac{32 + 273}{22 + 273} - 1} = 29.5$$

$$(B) COP = \frac{Q_h}{W} = \frac{Q_h}{Q_h - Q_c} = \frac{1}{1 - \frac{Q_c}{Q_h}} = \frac{1}{1 - \frac{T_c}{T_h}} = \frac{1}{1 - \frac{22 + 273}{32 + 273}} = 30.5$$

Question 3. [1.0 point] Chaleur latente de fusion et entropie Sachant que la chaleur latente de l'eau est $L_f = 33.5 \times 10^4$ J/kg, quel est le changement d'entropie d'un morceau de glace de 200 grammes qui fond à 0 °C?

Solution

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mL_f}{T} = \frac{(0.2)(33.5 \times 10^4)}{273} = 245 \text{ J/K}$$

Question 4. [2.0 points] Principe du bilan matière La rivière *A* a une concentration de 15 mg/L d'un certain polluant et se jette dans un lac à 8 m³/s. La rivière *B* contient 42 mg/L du même polluant et se jette dans le même lac à 7 m³/s. En supposant que le lac soit un système conservatif à l'équilibre, calculez la *concentration* et le *débit* du polluant dans une troisième rivière *C* qui *sort* du lac?

Solution

$$Q_C = Q_A + Q_B = 8 + 7 = 15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_C Q_C = \rho_A Q_A + \rho_B Q_B, \rho_C = \frac{\rho_A Q_A + \rho_B Q_B}{Q_C} = \frac{(15)(8) + (42)(7)}{(15)} = 27.6 \text{ mg/L}$$

Question 5. [5.0 points] Concentration de formaldéhyde dans un bar Un bar a un volume de 750 m^3 . De l'air pur y pénètre à raison de $400 \text{ m}^3/\text{hr}$. À 20 h, la concentration du formaldéhyde (masse molaire 30 g , taux de conversion $\kappa = 0.4 \text{ hr}^{-1}$) émis de la fumée de cigarette est égale à 0.320 mg/m^3 . Le formaldéhyde est émis par les cigarettes à un taux total constant de 110 mg/hr .

- (A) Écrivez l'équation de la concentration de formaldéhyde en fonction du temps.
- (B) À quelle heure la concentration sera-t-elle égale à 0.210 mg/m^3 ?
- (C) Quelle sera la concentration à 22h00, en mg/m^3 ?

Solution

(A) $\rho_{\infty} = \frac{S}{Q + \kappa V} = \frac{110}{400 + (0.4)(750)} = 0.15714 \text{ mg/m}^3$ (plus petite que la concentration

initiale $\rho_0 = 0.320$; la concentration va donc *décroître*). On a aussi $\kappa + \frac{Q}{V} = 0.93333$.

$$\rho(t) = (\rho_0 - \rho_{\infty}) \exp\left[-\left(\kappa + \frac{Q}{V}\right)t\right] + \rho_{\infty} = 0.163 \exp(-0.933t) + 0.157$$

(B) En posant $0.163 \exp(-0.933t) + 0.157 = 0.210$, on trouve $t = 1.2 \text{ h} = 1 \text{ h } 12 \text{ min}$
21 h 12

(C) $t = 2 \text{ h}$ et la formule en (A) nous donnent **0.182 mg/m^3**

Question 6. [2.0 points] Protocole de Kyoto Le mécanisme de *Cap and Trade* du Protocole de Kyoto peut donner l'impression que certaines grandes usines peuvent ainsi "acheter" le droit de polluer. Le professeur Learry Gagné nous a expliqué qu'il y a lieu d'être plus optimiste vis-à-vis ce mécanisme. Expliquez brièvement pourquoi.

Selon les termes du protocole, l'ensemble des usines mènerait à une réduction globale des émissions de carbone.

Question 7. [2.0 points] Pollution thermique Définissez brièvement le *chauffage urbain* (en anglais, *district heating*).

Distribution de la chaleur libérée par des machines thermiques (usines, etc.) vers des résidences et des commerces.

Question 8. [2.0 points] Albédo Définissez brièvement l'*albédo*. A-t-il pour effet d'accroître ou de réduire la température globale terrestre?

Fraction de la puissance solaire incidente qui est réfléchiée par l'atmosphère. L'albédo contribue donc à réduire l'intensité reçue par la planète et à réduire la température.

Question 9. [2.0 points] Réchauffement dû au CO₂ La concentration de CO₂ dans l'atmosphère valait 315 ppm en 1961 et elle vaut maintenant 390 ppm. Si on suppose qu'un doublement de concentration impliquerait une augmentation de température $\Delta T_d = 3.5$ °C, de combien la température a-t-elle augmenté depuis les 50 dernières années?

Solution

$$\Delta T = \frac{\Delta T_d}{\ln 2} \ln \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{3.5}{\ln 2} \ln \frac{390}{315} = 1.1 \text{ °C}$$

Question 10. [3.0 points] Gaz à effet de serre En 2003, le Canada a généré environ 160×10^9 kWh (ou 160 TWh) d'électricité au moyen du charbon. De combien a augmenté la concentration de CO_2 atmosphérique (en ppm ou ppb) à cause de la consommation de charbon au Canada en 2003?

(Utilisez les données suivantes: (1) 25.2 Mtonnes de carbone sont émises par quad de charbon consommé (1 quad $\cong 293 \times 10^9$ kWh), (2) 48% du carbone émis est capté par l'atmosphère, et (3) 2.12 Gtonnes de carbone atmosphérique conduit à une hausse de la concentration de CO_2 atmosphérique de 1 ppm.)

Solution

$$(160 \times 10^9 \text{ kWh}) \frac{1 \text{ quad}}{293 \times 10^9 \text{ kWh}} \frac{25.2 \text{ Mt}}{\text{quad}} 0.48 \frac{1 \text{ ppm}}{2120 \text{ Mt}} = 0.00312 \text{ ppm ou } 3.12 \text{ ppb}$$

Question 11. [5.0 points] Puissance et transport d'électricité Un centre de distribution d'électricité reçoit une puissance électrique de 150 kW avec une tension de 3200 V. Cette puissance provient d'une centrale électrique après avoir perdu 15% de la puissance initiale (à la centrale) sous forme de chaleur dans les lignes de transport. (Indice: On peut voir la centrale comme une pile, et les lignes de transport et le centre de distribution comme des résistances dans un circuit en série.)

- (A) Quelle est la tension (ou voltage) fournie par la centrale électrique?
- (B) Quelle est la puissance fournie par la centrale électrique?
- (C) Quelle est la puissance perdue dans les lignes de transport?
- (D) Quel courant circule dans le centre de distribution?
- (E) Quelle est la résistance équivalente à la ligne de transport?

Solution

Notation : L = lignes de transport, C = centrale électrique, D = centre de distribution

$$(A) P_D = 0.85P_C, VI = 0.85\varepsilon I, \varepsilon = \frac{V}{0.85} = \frac{3200}{0.85} = 3770 \text{ V}$$

$$(B) P_D = 0.85P_C, P_C = \frac{P_D}{0.85} = \frac{150 \text{ kW}}{0.85} = 176.47 = 176 \text{ kW}$$

$$(C) P_L = 0.15P_C = 0.15 \frac{P_D}{0.85} = 0.15 \frac{150 \text{ kW}}{0.85} = 26.47 = 26.5 \text{ kW}$$

$$(D) I = \frac{P_D}{V} = \frac{150 \text{ kW}}{3.2 \text{ kV}} = 46.875 = 46.9 \text{ A}$$

$$(E) R = \frac{P_L}{I^2} = \frac{26470}{46.875^2} = 12.0 \Omega$$

Question 12. [2.0 points] Transformateurs

Un transformateur abaisseur de tension (*step-down transformer*) compte 30 enroulements à la sortie. On veut l'utiliser pour réduire la tension d'entrée d'une ligne de transport moderne à 765 kV vers un centre de distribution qui a une tension de 440 V à la sortie. Combien d'enroulements doit avoir le transformateur à l'entrée?

Solution

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \text{ donne } N_1 = N_2 \frac{V_1}{V_2} = (30) \frac{765000}{440} = 52160$$

Question 13. [3.0 points] Radioactivité

Lorsque de l'iode est ingurgité par une personne, cet iode est éliminé par des processus biologiques de sorte qu'il en reste la moitié après 4.50 jours. Si de l'iode radioactif I(131) de demi-vie égale à 8.10 jours est injecté dans un patient, après combien de temps en restera-t-il 15%, en tenant compte de l'élimination biologique et de la radioactivité?

Solution

$$T_{\frac{1}{2}^e}^{-1} = T_{\frac{1}{2}^b}^{-1} + T_{\frac{1}{2}^p}^{-1} \text{ donne } T_{\frac{1}{2}^e} = (4.5^{-1} + 8.1^{-1})^{-1} = 2.892857 \text{ j}$$

$$N(t) = N_0 \exp \left[- \left(\frac{t \ln 2}{T_{\frac{1}{2}^e}} \right) \right] \text{ avec } \frac{N}{N_0} = 0.15 \text{ donne } 7.92 \text{ jours}$$

Question 14. [3.0 points] Réacteurs nucléaires Un morceau de 2.00 g de cobalt-59, de section efficace $\sigma = 3.70 \times 10^{-27} \text{ m}^2$, est bombardé de neutrons pendant 90 minutes, avec une intensité de 5.00×10^{16} neutrons par s par m^2 . (Rappel: Nombre d'Avogadro $N_A = 6.02 \times 10^{23}$). Combien de noyaux de cobalt-59 seront transmutés en cobalt-60?

$$\Delta N = \frac{N_a m \sigma N}{A} = \frac{(6.02 \times 10^{23})(2)(3.70 \times 10^{-27})(5.00 \times 10^{16} \times 90 \times 60)}{59} = 2.04 \times 10^{16}$$

Question 15. [3.0 points] Fission nucléaire En 2007, le Canada a produit 93×10^9 kWh (ou 93 TWh) d'énergie nucléaire, soit 3.4% de la production mondiale d'énergie nucléaire. Déterminez la masse d'uranium-235 requise pour produire cette énergie, en supposant que 200 MeV soit libéré par fission d'uranium-235. (Rappel: 1 kWh = 3.6 MJ, 1 u = 1.66×10^{-27} kg)

$$m = \frac{E_{total}}{E_{1 \text{ fission}}} m_U = \frac{93 \times 10^9 \text{ kWh} \frac{3.6 \times 10^6 \text{ J}}{1 \text{ kWh}}}{200 \text{ MeV} \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}}{\text{MeV}}} \times 235 \text{ u} \frac{1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}}{1 \text{ u}} = 4080 \text{ kg}$$



Joyeux Noël !