PHYSQ 261 LEC A1 - Physique de l'énergie et de l'environnement
Examen partiel 2 - automne 2015

Nom ______________SOLUTIONS____________________________

Numéro d'étudiant.e ____

Professeur Marc de Montigny
Date Jeudi, 19 novembre 2015, de 14h30 à 15h50

Instructions

- Ce cahier contient **8 pages**. Écrivez-y directement vos réponses.
- L'examen contient **15 points** et vaut **15%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **8 questions**. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale n'est pas correcte.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez préparé.
- Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs. **Je ne le 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) ou autres moyens de communication sont interdits. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à me le demander!

Question 1. [1.0 point] Concentration d'un gaz

Exprimez les concentrations de formaldéhyde HCHO ci-dessous en mg/m^3, avec $P = 1$ atm, $T = -20$ °C. Prenez $m_H = 1$ g/mol, $m_C = 12$ g/mol et $m_O = 16$ g/mol.

A. 0.050 ppm (seuil d'irritation de l'oeil)
B. 100 ppb

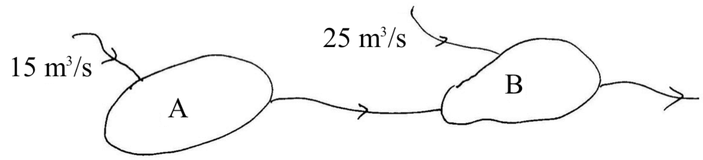
Solutions

$$\left[\frac{\mathrm{mg}}{\mathrm{m}^3}\right] = \frac{[\mathrm{ppm}]w}{22.4}\frac{273}{T}\frac{P}{1\ \mathrm{atm}} = \frac{[\mathrm{ppm}]30}{22.4}\frac{273}{253} = 1.4452\times[\mathrm{ppm}]$$

A. 0.0723 mg/m^3
B. 100 ppb = 0.1ppm, ce qui donne 0.145 mg/m^3

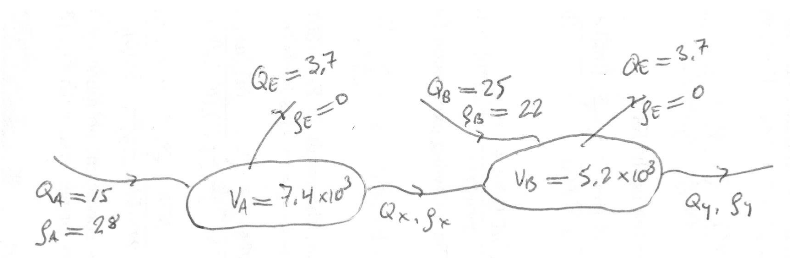
Question 2. [2.5 points] Concentration de polluants dans des lacs

À la figure ci-dessous, le lac A a un volume de 7.40×10^3 m^3, et est relié au lac B qui a un volume de 5.20×10^3 m^3. Une rivière alimente le lac A avec un débit de 15.0 m^3/s et une concentration de polluant de 28.0 g/m^3. Une seconde rivière alimente le lac B avec un débit égal à 25.0 m^3/s et une concentration du même polluant de 22.0 g/m^3. On suppose que l'eau s'évapore de ces lacs à un taux de 3.70 m^3/s, mais le polluant n'est pas évaporé. On suppose un mélange idéal dans les deux lacs. Si le polluant est non-conservatif et converti à un taux de 2.15 hr^{-1}, quelle sera la concentration à l'équilibre du polluant dans chaque lac ?



Solution

Schéma pour clarifier le bilan des polluants



Pour le lac A, on a $Q_A = Q_X + Q_E$, d'où $Q_X = 11.3 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour le lac B, on a $Q_X + Q_B = Q_E + Q_Y$ d'où $Q_Y = 32.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conversion pour le lac A: $\kappa \rho_X V_A$ où on a $\kappa = 2.15 \dfrac{1}{\text{hr}} \dfrac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = 5.972 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

entrée = sortie + conversion: $\rho_A Q_A = \rho_X Q_X + \kappa \rho_X V_A$ donne $\rho_X = \dfrac{\rho_A Q_A}{Q_X + \kappa V_A} =$ 26.7 g/m^3.

Conversion pour le lac B: $\kappa \rho_Y V_B$ et l'équation d'équilibre donne

$\rho_X Q_X + \rho_B Q_B = \rho_Y Q_Y + \kappa \rho_Y V_B$ et $\rho_Y = \dfrac{\rho_X Q_X + \rho_B Q_B}{Q_Y + \kappa V_B} =$ 23.9 g/m^3.

Question 3. [2.0 points] Pollution thermique

Une petite centrale électrique a un taux de production d'énergie égal à 600 MWe et son efficacité $E_{\text{élec}}/E_{\text{totale}}$ vaut 45%.

A. À quel taux (en MW) cette centrale perd-elle sa chaleur ?

B. Si cette centrale est refroidie par une tour humide (*wet cooling tower*), quel volume d'eau sera évaporé par semaine par la chaleur perdue ? (Rappels: densité de l'eau = 1000 kg/m^3; chaleur latente d'évaporation $L_V = 2.26\times10^6$ J/kg .)

Solutions

A. $\eta = \dfrac{E_{\text{élec}}}{E_{\text{totale}}}$ avec $E_{\text{totale}} = E_{\text{élec}} + Q_{\text{perdue}}$ donne

$$\frac{Q_{\text{perdue}}}{t} = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)\frac{E_{\text{élec}}}{t} = \left(\frac{1}{0.45} - 1\right)(600 \text{ MWe}) = 733 \text{ MW}$$

B. Pendant 1 semaine, la quantité de chaleur perdue vaut

$Q_{\text{perdue}} = \dfrac{Q_{\text{perdue}}}{t} \times 7 \text{ jours} \times 24 \text{ h} \times 3600 \text{ s} = 4.4352\times10^{14} \text{ J} = ML_V$ pour l'eau, avec $L_V = 2.26\times10^6$ J/kg, qui donne $M = 1.96\times10^8$ kg. Le volume d'eau est obtenu de la concentration: $\rho = \dfrac{M}{V}$ d'où $V = \dfrac{M}{\rho} = \dfrac{1.96\times10^8}{1000} = 1.96\times10^5 \text{ m}^3$

Question 4. [1.0 point] Radiation du corps noir

La température à la surface d'un corps humain vaut 35 °C. On considère son rayonnement comme étant décrit par le modèle du corps noir.

A. Selon la loi de Wien, à quelle longueur d'onde λ_m la puissance émise est-elle maximale ?

B. Selon la loi de Stefan, quelle est l'intensité émise, en W/m^2 ?

Solutions

A. $T = 273 + 35 = 308$ K.

Loi de Wien: $\lambda_m = \dfrac{2.8972\times10^6 \text{ nm}\cdot\text{K}}{T(\text{K})} = 9400 \text{ nm} = 9.4\ \mu\text{m}$

B. Loi de Stefan: $I = \sigma T^4 = \left(5.67\times10^{-8}\right)\left(308\right)^4 = 510 \text{ W/m}^2$

Question 5. [2.0 points] Effet de serre sur la planète Mercure

Supposez que la puissance émise par le Soleil vaille 3.96×10^{26} W.

A. Si la distance entre le Soleil et la planète Mercure vaut 57.9×10^6 km, calculez la constante solaire (en W/m^2) de Mercure. (Vu que la puissance est absorbée par un disque et redistribuée sur une sphère, divisez votre réponse par 4 pour la suite.)

B. Si l'albédo de Mercure vaut 0.068, avec quelle intensité le rayonnement retourne dans l'espace (en W/m^2) ?

C. Si le reste de l'intensité est absorbé par Mercure, qui irradie comme un corps noir, quelle est la température de Mercure, en °C ?

Solutions

A. $I = \dfrac{P}{4\pi r^2} = \dfrac{3.96\times10^{26}}{4\pi\left(5.79\times10^{10}\right)^2} = 9400 \text{ W/m}^2$

B. Pour la suite, on divise cette réponse par 4: $I = I_0/4 = 2350$ W/m^2. Albédo = 0.16, donc, $\alpha I_0 / 4 = 2350 \times 0.068 = 160 \text{ W/m}^2$ retourne à l'espace.

C. $I = (1-\alpha)\dfrac{I_0}{4} = (1-0.068)(2350) = 2190 \text{ W/m}^2 = \sigma T^4$ donne $T = 443$ K = 170 °C.

Question 6. [3.5 points] Modèle de Hubbert, concentration de CO_2 et température globale

On suppose que la production totale mondiale Q_∞ de carbone est équivalente à 250 000 quads de charbon, à raison de 25 Mtonnes de carbone (C) par quad. Le taux d'échappement de carbone en 2015 était de 10.5 Gtonnes pendant toute l'année. On estime le taux maximum d'émission à N_M = 30 Gtonnes de carbone par année.

A. En utilisant le modèle gaussien, quel est le facteur σ de cette courbe?
B. En quelle année T_M le taux d'émission sera-t-il maximum?
C. En utilisant le tableau de la page 8, déterminez en quelle année 35% de la production totale de charbon aura été consommé.
D. Calculez le taux d'échappement de carbone $N(t)$ (en Gtonnes) pendant l'année trouvée à la partie C.
E. Au cours de l'année trouvée en partie C, de combien la concentration de CO_2 dans l'atmosphère aura-t-elle augmenté? (Prenez une fraction atmosphérique de 48%.)

Solutions

A. $Q_\infty = 250000 \text{ quads} \times 25 \times 10^6 \text{ tonnes/quad} = 6.25 \times 10^{12}$ tonnes de carbone

$$\sigma = \frac{Q_\infty}{N_M \sqrt{2\pi}} = \frac{6.25 \times 10^{12}}{30 \times 10^9 \sqrt{2\pi}} = 83.11 \text{ années}.$$

B. $N = N_M e^{-\frac{z^2}{2}}$ donne $z = \sqrt{-2 \ln \frac{N}{N_M}} = \sqrt{-2 \ln \frac{10.5}{30}} =$ 1.449, d'où

$$T_M = t + z\sigma = 2015 + 1.449(83.11) = 2135$$

C. Quand 35% aura été consommé, le centre de la courbe occupera 100 – 2(35)= 30% de la surface, ce qui donne, d'après le tableau, z = 0.385. Comme c'est à gauche du pic, on a $t = T_M - z\sigma = 2135 - (0.385)(83.11) = 2103$.

D. $N = N_M e^{-\frac{z^2}{2}} = (30) e^{-\frac{0.385^2}{2}} = 27.9$ Gtonnes

E. $0.48 \times \dfrac{1 \text{ ppm}(CO_2)}{2.12 \text{ Gt(C)}} \times 27.9\text{Gt(C)} =$ 6.32 ppm (CO_2)

Question 7. [1.5 point] Puissance et résistance

Une bouilloire (*kettle*) électrique de résistance égale à 7.0 Ω contient 1.5 L d'eau à 20 °C et est branchée à une source de 110 V. Si 10% de l'énergie électrique est perdue , calculez combien de temps il faudra pour que le 90% d'énergie qui reste transforme toute l'eau en vapeur, après l'avoir réchauffée jusqu'à 100 °C. (Rappels: chaleur spécifique de l'eau c = 4186 J/kg·K, densité de l'eau 1000 kg/m^3, chaleur latente d'évaporation de l'eau $L_V = 2.26\times10^6\ \text{J/kg}$).

Solution

$P = \dfrac{V^2}{R} = \dfrac{110^2}{7} = 1729\ \text{W}$ d'où il reste 0.9(1729) = 1556 W

volume $1.5\text{L}\left(\dfrac{1\ \text{m}^3}{1000\ \text{L}}\right) = 1.5\times10^{-3}\ \text{m}^3$, de sorte que masse = 1.5 kg

$E = Pt = mL_V + cm\Delta T$ donne $t = \dfrac{m\left(L_V + c\Delta T\right)}{P} = \dfrac{1.5\left(2.26\times10^6 + 4186(80)\right)}{1556} =$ 2500 s
41.7 min

Question 8. [1.5 point] Puissance, résistance et température

On considère une ligne de transport électrique au Canada qui fonctionne à 30 kV. Cette ligne est faite de cuivre avec un coefficient thermique de résistivité $\alpha = 3.93\times10^{-3}$ °C. Prenez une variation de température qui passe de –30 °C, en hiver, à 30 °C, en été.

A. Est-ce que la puissance perdue dans la ligne augmente ou diminue en passant de l'hiver à l'été ?

B. De quelle pourcentage la puissance perdue change-t-elle, par rapport à sa valeur en hiver ?

Solutions

A. On utilise $P = \dfrac{V^2}{R} \propto \dfrac{1}{R}$, et $R(T) = R_0\left[1+\alpha\left(T-T_0\right)\right]$, on voit que si T augmente, R augmente aussi, car α est positif, et la puissance diminue

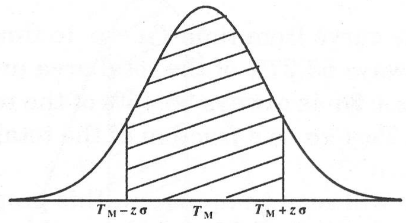
B. Si T_0 = –30 °C et T_1 = 30 °C, on a donc

$$\frac{P_1-P_0}{P_0} = \frac{R_0-R_1}{R_1} = \frac{-\alpha\left(T_1-T_0\right)}{1+\alpha\left(T_1-T_0\right)} = \frac{-(0.00393)(30-(-30))}{1+(0.00393)(30-(-30))} = -0.191$$

diminue de 19.1%

Table 3-1
Integral of the Gaussian Function vs. z

This table gives the integral of the Gaussian function from $T_M - z\sigma$ to $T_M + z\sigma$, shown as the shaded area to the right, as a decimal fraction of the total area under the function.



z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0	.0080	.0160	.0239	.0319	.0399	.0478	.0558	.0638	.0717
0.1	.0797	.0876	.0955	.1034	.1113	.1192	.1271	.1350	.1428	.1507
0.2	.1585	.1663	.1741	.1819	.1897	.1974	.2051	.2128	.2205	.2282
0.3	.2358	.2434	.2510	.2586	.2661	.2737	.2812	.2886	.2961	.3035
0.4	.3108	.3182	.3255	.3328	.3401	.3473	.3545	.3616	.3688	.3759
0.5	.3829	.3899	.3969	.4039	.4108	.4177	.4245	.4313	.4381	.4448
0.6	.4515	.4581	.4647	.4713	.4778	.4843	.4907	.4971	.5035	.5098
0.7	.5161	.5223	.5285	.5346	.5407	.5467	.5527	.5587	.5646	.5705
0.8	.5763	.5821	.5878	.5935	.5991	.6047	.6102	.6157	.6211	.6265
0.9	.6319	.6372	.6424	.6476	.6528	.6579	.6629	.6680	.6729	.6778
1.0	.6827	.6875	.6923	.6970	.7017	.7063	.7109	.7154	.7199	.7243
1.1	.7287	.7330	.7373	.7415	.7457	.7499	.7540	.7580	.7620	.7660
1.2	.7699	.7737	.7775	.7813	.7850	.7887	.7923	.7959	.7995	.8029
1.3	.8064	.8098	.8132	.8165	.8198	.8230	.8262	.8293	.8324	.8355
1.4	.8385	.8415	.8444	.8473	.8501	.8529	.8557	.8584	.8611	.8638
1.5	.8664	.8690	.8715	.8740	.8764	.8789	.8812	.8836	.8859	.8882
1.6	.8904	.8926	.8948	.8969	.8990	.9011	.9031	.9051	.9070	.9090
1.7	.9109	.9127	.9146	.9164	.9181	.9199	.9216	.9233	.9249	.9265
1.8	.9281	.9297	.9312	.9327	.9342	.9357	.9371	.9385	.9399	.9412
1.9	.9426	.9439	.9451	.9464	.9476	.9488	.9500	.9512	.9523	.9534
2.0	.9545	.9556	.9566	.9576	.9586	.9596	.9606	.9615	.9625	.9634
2.1	.9643	.9651	.9660	.9668	.9676	.9684	.9692	.9700	.9707	.9715
2.2	.9722	.9729	.9736	.9743	.9749	.9756	.9762	.9768	.9774	.9780
2.3	.9786	.9791	.9797	.9802	.9807	.9812	.9817	.9822	.9827	.9832
2.4	.9836	.9840	.9845	.9849	.9853	.9857	.9861	.9865	.9869	.9872
2.5	.9876	.9879	.9883	.9886	.9889	.9892	.9895	.9898	.9901	.9904
2.6	.9907	.9909	.9912	.9915	.9917	.9920	.9922	.9924	.9926	.9929
2.7	.9931	.9933	.9935	.9937	.9939	.9940	.9942	.9944	.9946	.9947
2.8	.9949	.9950	.9952	.9953	.9955	.9956	.9958	.9959	.9960	.9961
2.9	.9963	.9964	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972
3.0	.9973									
3.5	.9995									
4.0	.9999									