

**PHYSQ 261 LEC A1 - Physique de l'énergie et de l'environnement
EXAMEN FINAL - automne 2015**

Nom _____ **SOLUTIONS** _____

Numéro d'étudiant.e _____

Professeur Marc de Montigny
Date Lundi, 14 décembre 2015, de 14 h à 17 h
Lieu Gymnase de la Faculté Saint-Jean

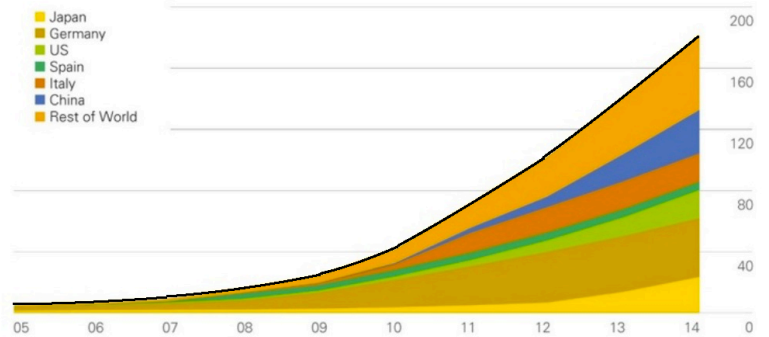
Instructions

- Ce cahier contient **9 pages**. Écrivez-y directement vos réponses.
- L'examen contient **40 points** et vaut **40%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **15 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 (une feuille recto-verso) que vous aurez complété. À retourner avec l'examen quand vous aurez terminé.
- 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: aide-mémoire, crayons ou stylos, calculatrices (programmables et graphiques permises). Tout autre appareil électronique ou moyen de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

Si quelque chose n'est pas clair, dites-le moi!

Question 1. [3.0 points] Modèle exponentiel et énergie solaire

Les courbes à droite représentent la production d'énergie solaire photovoltaïque en GW. Considérez le trait noir supérieur, qui indique la production mondiale. En supposant un *modèle exponentiel*,



- A. quel est le temps de doublement ?
- B. Sachant que la production mondiale valait 180 GW en janvier 2014, *calculez* la production mondiale en janvier 2008.
- C. Calculez la production mondiale en janvier 2020.

Solution

- A. Par ex. 40 GW en octobre 2009, 80 GW en mars 2011, 160 GW en juillet 2013, donc $T_{1/2} \approx 1.4$ ans
- B. $N(t) = N_0 \exp\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = 180 \exp\left(\frac{\ln 2}{1.4}(-6)\right) = 9.2$ GW. La courbe donne plutôt 15 GW.
- C. $N(t) = N_0 \exp\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = 180 \exp\left(\frac{\ln 2}{1.4}(6)\right) = 3500$ GW

Question 2. [3.0 points] Rayonnement solaire

La puissance émise par le Soleil vaut 3.96×10^{26} W.

- A. Si la distance entre le Soleil et Vénus vaut 108×10^6 km, calculez la constante solaire (en W/m^2) pour Vénus.
- B. [Pour la suite, divisez votre réponse par 4, car la puissance est absorbée par un disque et distribuée sur une sphère.] Si l'albédo de Vénus vaut 0.75, quelle est l'intensité retournée vers l'espace, en W/m^2 ?
- C. Le reste de l'intensité est absorbé par Vénus, qui irradie comme un corps noir. En tenant compte de l'albédo, quelle est la température de Vénus, en $^\circ\text{C}$? (La température réelle moyenne de Vénus est environ 450°C)

Solutions

- A. $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{3.96 \times 10^{26}}{4\pi(108 \times 10^6)^2} = 2700 \text{ W/m}^2$
- B. On divise cette réponse par 4: $I = I_0/4 = 675 \text{ W/m}^2$. Albédo = 0.75, donc, $\alpha I_0 / 4 = 675 \times 0.75 = 507 \text{ W/m}^2$ retourne à l'espace.
- C. $I = (1 - \alpha) \frac{I_0}{4} = (1 - 0.75)(675) = 169 \text{ W/m}^2 = \sigma T^4$ donne $T = 234 \text{ }^\circ\text{K} = -39.3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Question 3. [2.0 points] Puissance, résistance et température

Considérez une ligne de transport électrique (une section est montrée à droite) opérant à 150 kV. Cette ligne est faite d'un métal dont le coefficient thermique de résistivité vaut $3.90 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Si la température baisse de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ à $-20 \text{ }^\circ\text{C}$,



- A. la puissance perdue dans la ligne va-t-elle augmenter ou diminuer ?
- B. De quelle fraction ?

Solution

$$P = \frac{V^2}{R} \propto \frac{1}{R}, \text{ on a donc}$$

$$\frac{P_f - P_i}{P_i} = \frac{R_i - R_f}{R_f} = \frac{-\alpha(T_f - T_i)}{1 + \alpha(T_f - T_i)} = \frac{-(0.0039)(-20 - 20)}{1 + (0.0039)(-20 - 20)} = \frac{0.156}{0.844} = 0.185$$

- A. la puissance perdue va **augmenter**
- B. **de 18.5%**

Question 4. [3.0 points] Générateurs électriques

Une bobine de section transversale 40.0 cm^2 est constituée de 100 enroulements et a une résistance de 4.50 ohms. Elle tourne à 120 tours par minute et son axe est perpendiculaire à un champ magnétique de 0.0400 T . Déterminez :



- A. le voltage maximal produit V_{max} ,
- B. le voltage efficace V_{rms} ,
- C. la puissance maximale P_{max} ,
- D. la puissance moyenne P_{av} , et
- E. le courant efficace I_{rms} .

Solution

A. $V_{\text{max}} = NBA\omega = (100)(0.04)(40 \times 10^{-4}) \left(120 \times \frac{2\pi}{60} \right) = 0.201 \text{ V}$ ou **201 mV**

B. $V_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} =$ **142 mV**

C. $P_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}^2}{R} = \frac{0.201^2}{4.5} =$ **8.98 mW**

D. $P_{\text{av}} = \frac{1}{2} P_{\text{max}} =$ **4.49 mW**

E. $I_{\text{rms}} = \frac{P_{\text{av}}}{V_{\text{rms}}} =$ **31.6 mA**

Question 5. [3.0 points] Radioactivité, demi-vie, activité

Les isotopes de molybdène $^{99}_{42}\text{Mo}$ ont une demi-vie assez longue qui leur permet d'être transportés vers des hôpitaux, où ils seront désintégrés en technétium métastable $^{99}_{43}\text{Tc}(m)$, qui est utilisé pour marquer (*tag*) des médicaments.

A. Quel type de désintégration génère du $^{99}_{43}\text{Tc}(m)$ à partir de $^{99}_{42}\text{Mo}$?

Pour le $^{99}_{43}\text{Tc}(m)$, de demi-vie 6.006 h, calculez

- B. la constante de désintégration λ et
 C. le nombre de noyaux de Tc requis pour avoir une activité initiale de 2.85 μCi .
 (1 Ci = 3.7×10^{10} Bq)
 D. Quelle sera l'activité A du Tc 12 heures plus tard?

Solution

- A. **bêta négative** : $^{99}_{42}\text{Mo} \rightarrow ^{99}_{43}\text{Tc} + e^- + \bar{\nu}$
 B. $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{6.006} \approx 0.115 \text{ h}^{-1}$ ou $3.21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
 C. $N = \frac{A}{\lambda} = \frac{2.85 \times 10^{-6} \text{ Ci} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}}{0.1154 \text{ h} \cdot \text{Ci}} = 3.29 \times 10^9 \text{ noyaux}$
 D. $A = A_0 e^{-\lambda t} = 2.85 \mu\text{Ci} \times e^{-0.1154 \times 12} = 0.714 \mu\text{Ci} = 2.64 \times 10^4 \text{ dés./s}$

Question 6. [2.5 points] Section efficace

Un échantillon de 2.50 g d'or Au-197 est bombardé de neutrons pendant 2 heures à une intensité $N = 5.80 \times 10^{17}$ neutrons par s par m^2 .

- A. À quel taux les noyaux d'or-197 seront transmutés en or-198 en captant un neutron ?
 B. Combien de noyaux d'or-~~197~~198 seront produits pendant 2 heures ?

Table 10-3: Neutron Absorption Cross Sections

Isotope	Cross section (barns)	Isotope	Cross section (barns)
^1_1H	0.332	$^{135}_{54}\text{Xe}$	2.64×10^6
^2_1H	5.2×10^{-4}	$^{157}_{64}\text{Gd}$	2.54×10^5
$^{59}_{27}\text{Co}$	37	$^{197}_{79}\text{Au}$	99
$^{113}_{48}\text{Cd}$	2×10^4	$^{235}_{92}\text{U}$	582
$^{115}_{49}\text{In}$	198	$^{238}_{92}\text{U}$	2720

Solutions

- A. $\Delta N = \frac{1}{A} N_a m \sigma N = \frac{1}{197} (6.02 \times 10^{23}) (2.50) (99 \times 10^{-28}) (5.8 \times 10^{17}) = 4.39 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$
 B. $n = (2 \times 3600) \times \Delta N = 3.16 \times 10^{17} \text{ noyaux}$

Question 7. [2.5 points] Fission et fusion nucléaires

En vous aidant du tableau 10.4, calculez l'énergie libérée, en MeV, lors de la

- A. fission ${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{54}^{140}\text{Xe} + {}_{38}^{95}\text{Sr}$ et de la
 B. fusion ${}_{1}^2\text{H} + {}_{1}^3\text{H} \rightarrow {}_{2}^4\text{He} + {}_{0}^1\text{n}$. (Négligez le n.)

Table 10-4: Binding Energy per Nucleon

Nucleus	B.E. (MeV)	Nucleus	B.E. (MeV)	Nucleus	B.E. (MeV)
${}_{1}^2\text{H}$	1.112	${}_{5}^{10}\text{B}$	6.475	${}_{54}^{140}\text{Xe}$	8.295
${}_{1}^3\text{H}$	2.827	${}_{6}^{12}\text{C}$	7.68	${}_{92}^{235}\text{U}$	7.59
${}_{2}^4\text{He}$	2.572	${}_{7}^{14}\text{N}$	7.475	${}_{92}^{238}\text{U}$	7.586
${}_{2}^6\text{Li}$	7.074	${}_{26}^{56}\text{Fe}$	8.791	${}_{92}^{238}\text{U}$	7.57
${}_{3}^6\text{Li}$	5.332	${}_{38}^{95}\text{Sr}$	8.552	${}_{92}^{239}\text{U}$	7.558
${}_{3}^7\text{Li}$	5.606	${}_{40}^{100}\text{Zr}$	8.531	${}_{94}^{239}\text{Pu}$	7.56
${}_{4}^9\text{Be}$	5.371	${}_{54}^{138}\text{Xe}$	8.314	${}_{94}^{240}\text{Pu}$	7.556

Solutions

- A. $140(8.295) + 95(8.552) - 235(7.590) = 190 \text{ MeV}$
 B. $4(7.074) - 3(2.827) - 2(1.112) = 17.6 \text{ MeV}$

Question 8. [2.5 points] Dosimétrie nucléaire

Un tissu de 300 g est exposé à des neutrons d'énergie 50 keV et d'activité 2.5 Bq.

- A. Quelle est la dose par unité de temps D/t en Gy/s ?
 B. Quelle est la dose équivalente par unité de temps H/t en Sv/s ?

Table 12-2: Values of the Radiation Weighting Factor w_R

Radiation	w_R	Radiation	w_R
Photons, all energies	1	Neutrons, energy < 10 keV	5
Electrons, all energies	1	Neutrons, 10 – 100 keV	10
Protons, energy > 2 MeV	5	Neutrons, 100 keV – 2 MeV	20
α -particles, fission fragments	20	Neutrons, 2 – 20 MeV	10

Solution

- A. $\frac{D}{t} = \frac{E/t}{m} = \frac{50 \text{ keV}}{0.300 \text{ kg}} \frac{1.6 \times 10^{-16} \text{ J}}{\text{keV}} \times 2.5 \text{ s}^{-1} = 6.7 \times 10^{-14} \text{ Gy/s}$
 B. $\frac{H}{t} = \frac{D}{t} w_R = (6.7 \times 10^{-14})(10) = 6.7 \times 10^{-13} \text{ Sv/s}$

Question 9. [3.0 points] Énergie nucléaire dans le monde

- A. Nommez trois pays où on retrouve des mines d'uranium.
- B. Nommez un type de réacteur nucléaire pour lequel on n'a pas besoin d'enrichir l'uranium-235.
- C. Environ quelle fraction de la puissance électrique mondiale est produite par de l'énergie nucléaire ?
- D. Nommez un avantage de l'énergie nucléaire.
- E. Nommez une source importante de rayonnement de fond naturel (*background radiation*).

Solutions

- A. Trois parmi Canada, Australia, Niger, Kazakhstan, Russie, Namibie
- B. CANDU
- C. 11%
- D. Pas d'émission de dioxyde de carbone
- E. Un parmi gaz de radon, rayonnement cosmique, bâtiments et sol, aliments

Question 10. [2.5 points] Fusion nucléaire

- A. Quelle(s) température(s) doit avoir un mélange deutérium-tritium pour que la fusion soit possible, si la densité de noyaux est $n = 1.8 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ et la durée de confinement est $\tau = 4.5 \text{ s}$?
- B. À cette température, quelle est l'énergie cinétique moyenne des noyaux, en eV ?

Solutions

A. $T\tau n > 6 \times 10^{28} \text{ m}^{-1}\text{sK}$ donne $T > \frac{6 \times 10^{28}}{\tau n} = \frac{6 \times 10^{28}}{(4.5)(1.8 \times 10^{19})} > 741 \text{ MK}$

B. $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}k_B T = \frac{3}{2}(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(741 \times 10^6) \times \frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 96 \text{ keV}$

Question 11. [3.0 points] Énergie éolienne à Halkirk en Alberta

Le plus gros parc éolien en Alberta se trouve à Halkirk (120 km à l'est de Red Deer). Il compte 83 turbines pour une puissance totale de 150 MW. Chaque pale produit un rayon de 44.0 m. La densité de l'air vaut 1.29 kg/m^3 .



- A. Quelle puissance est produite par chaque turbine, en MW ?
- B. Si le vent avait une vitesse de 35.0 km/h, quelle serait la puissance maximale de Betz produite par chaque turbine ?
- C. Si la puissance produite par chaque turbine correspond à votre réponse en A quelle efficacité $\eta\eta_e$ combinée aura la turbine ?

Solutions

A. $150\text{MW}/83 = 1.8 \text{ MW}$

B. $P_{\max} = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \frac{16}{27} = \frac{1}{2} (1.29) \pi (44)^2 (35000 / 3600)^3 \frac{16}{27} = 2.14 \text{ MW}$

C. De $P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \eta \eta_e$ on a $\eta \eta_e = \frac{2P}{\rho \pi r^2 v^3} = \frac{2(1.8 \times 10^6)}{1.29 \pi (44)^2 (35000 / 3600)^3} = 0.499$
ou **49.9%**

Question 12. [3.0 points] Énergie des vagues

Une plage fait face à une vague de largeur 550 m, d'amplitude 1.5 m et de longueur d'onde 15 m. (Densité de l'eau : 1000 kg/m^3)

- A. Quelle est la puissance de cette onde en MW ?
- B. Quelle énergie, en kWh sera produite pendant une journée ?

Solutions

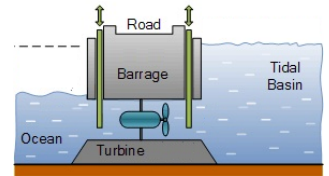
A. De $\frac{P}{\ell} = \frac{1}{4} \rho g^{3/2} A^2 \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi}}$ on trouve

$$P = (550) \frac{1}{4} (1000) (9.81)^{3/2} (1.5)^2 \sqrt{\frac{15}{2\pi}} = 14.7 \text{ MW} \cong 15 \text{ MW}$$

B. $E = Pt = (15 \text{ MW})(24) = 3.6 \times 10^5 \text{ kWh}$

Question 13. [2.0 points] Énergie marémotrice

Expliquez brièvement le principe physique de fonctionnement d'une centrale marémotrice. En particulier, comment convertir l'énergie potentielle en énergie électrique ?



Solution

Le bassin est rempli à la marée haute. À la marée basse, le principe des vases communicants fait que si on ouvre la vanne, les niveaux des deux côtés seront égaux, donc l'eau circulera par la turbine, qui générera de l'énergie électrique.

Question 14. [2.0 points] Énergie marémotrice

La centrale marémotrice d'Annapolis, en Nouvelle-Écosse, peut produire 20 MWe. Si l'eau chute d'une hauteur de 3.0 m et que le rendement de conversion « gravité vers électrique » est 60%, quel débit volumique en m³/s sera requis ?



Solution

$$P = \epsilon \frac{mgh}{t} = \epsilon \frac{V}{t} \rho gh \text{ donne } \frac{V}{t} = \frac{P}{\epsilon \rho gh} = \frac{20 \times 10^6}{(0.60)(1000)(9.81)(3.0)} = 1130 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Question 15. [3.0 points] Insolation et énergie solaire

La ville de Regina est dans l'une des régions du Canada où l'insolation est la plus élevée. Sa latitude vaut 50.45° . La déclinaison est dans le tableau.

- A. Quelle est l'insolation à Regina en W/m^2 à 14 h (2 pm) le 24 juillet ?
- B. Quelle puissance serait disponible si on couvrait un toit de 42 m^2 de capteurs solaires efficaces à 15.0% ?
- C. Quelle masse d'eau à température 25°C cette puissance pourrait évaporer pendant 3 heures (Il faut la chauffer à 100°C . Chaleur spécifique de l'eau $c = 4186 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, densité de l'eau 1000 kg/m^3 , chaleur latente d'évaporation de l'eau $L_v = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$.) ?

Declination ($^\circ$)	Approximate dates
+23.45	June 22
+20	May 21, July 24
+15	May 1, Aug 12
+10	Apr 16, Aug 28
+5	Apr 3, Sept 10
0	Mar 21, Sept 23
-5	Mar 8, Oct 6
-10	Feb 23, Oct 20
-15	Feb 9, Nov 3
-20	Jan 21, Nov 22
-23.45	Dec 22

Solutions

A. $I = 1368(\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H)$ avec $H = 15^\circ(14 - 12) = 30^\circ$, $\phi = 50.45^\circ$ et $\delta = 20^\circ$ donne $I = 1070 \text{ W/m}^2$

B. $P = \epsilon IA = (0.15)(1070)(42) = 6740 \text{ W}$

C. $E = Pt = mL_v + cm\Delta T$ donne $m = \frac{Pt}{L_v + c\Delta T} = \frac{(6740)(3 \times 3600)}{2.26 \times 10^6 + (4186)(100 - 25)} = 28.3 \text{ kg}$

**Bonnes vacances !
Marc de Montigny**