

BTS CHIMISTE

PHYSIQUE

Durée : 2 h

Coefficient : 3

Calculatrice autorisée**Les deux exercices sont indépendants****PREMIER EXERCICE : ÉNERGIE NUCLÉAIRE**

La France a produit, en 1999, 486,3 TWh (1 TWh = 1×10^{12} Wh) d'électricité dont 375 TWh d'origine nucléaire (origine : CEA) et se classe ainsi au second rang mondial des producteurs d'électricité d'origine nucléaire.

DONNÉES

1 u (unité de masse atomique) = $1,6606 \times 10^{-27}$ kg

$c = 2,9979 \times 10^8$ m.s⁻¹

$N_A = 6,022 \times 10^{23}$ mol⁻¹

$e = 1,602 \times 10^{-19}$ C

Masses de quelques particules		
proton	neutron	électron
$m_p = 1,6726 \times 10^{-27}$ kg	$m_n = 1,6749 \times 10^{-27}$ kg	$m_e = 9,1093 \times 10^{-31}$ kg

Masses atomiques de quelques isotopes			
${}^{235}_{92}\text{U}$	${}^{146}_{58}\text{Ce}$	${}^{85}_{34}\text{Se}$	${}^2_1\text{H}$ (deutérium)
235,044 u	145,910 u	84,922 u	2,0141 u

1. Les réacteurs nucléaires.

La France compte aujourd'hui 58 réacteurs nucléaires à eau sous pression (REP). La production d'énergie dans ces réacteurs repose sur la fission de l'uranium 235. En effet, lorsqu'un neutron heurte un noyau d'uranium ${}^{235}_{92}\text{U}$, une des fissions possibles conduit à la formation d'un noyau de cérium ${}^{146}_{58}\text{Ce}$, d'un noyau de sélénium ${}^{85}_{34}\text{Se}$, ainsi qu'à un nombre a de neutrons.

1.1. Écrire l'équation complète de cette réaction nucléaire ; en déduire la valeur de a . Justifier en exprimant les lois appliquées.

1.2. Calculer la variation de masse Δm qui accompagne la fission d'un noyau d'uranium 235.

1.3. Calculer, en joule et en MeV, l'énergie ΔE libérée par cette réaction.

1.4. Les centrales nucléaires françaises utilisant de l'uranium 235 fournissent au maximum une puissance électrique $P = 1455$ MW.

La combustion d'un kilogramme de pétrole libère une énergie $E = 45 \times 10^6$ J sous forme de chaleur. Le rendement de la transformation d'énergie thermique en énergie électrique est de 34,2 %. En déduire la masse de pétrole qui serait nécessaire pour produire pendant un an la même énergie électrique que les centrales nucléaires françaises.

2. Étude des déchets et radioprotection

La fission de l'uranium 235 produit, entre autres nucléides, le césium 137, émetteur radioactif γ .

2.1. Un employé de la centrale reste accidentellement durant une heure à proximité de la source de 1,0 g de césium 137. Durant cette exposition, il absorbe, uniformément sur l'ensemble du corps, 5 % des rayons γ d'énergie 0,66 MeV émis par cette source.

On suppose que l'activité de cette source est égale à $3,0 \times 10^{12}$ Bq.

Sachant que l'employé a une masse de 70 kg, calculer la dose absorbée en gray (ou J.kg^{-1}).

2.2. La notion de dose n'est pas suffisante pour expliquer les relations "doses-effets". C'est pourquoi on lui assortit un paramètre "qualité" du rayonnement traduisant la nature du rayonnement incident. Ainsi le produit de ce coefficient appelé EBR par la dose absorbée traduit une "dose équivalente" exprimée en sievert (Sv) ; la dose maximale annuelle autorisée est de 50 mSv.

Calculer la dose absorbée reçue par l'employé de la centrale victime de l'accident sachant que l'EBR vaut dans ces conditions 0,06. Commenter ce résultat.

DEUXIÈME EXERCICE : COGÉNÉRATION ET MOTEUR DE STIRLING

Le moteur de Stirling fait aujourd'hui l'objet de nombreux programmes de recherche et développement aux États-Unis, au Japon et en Europe du Nord, où il y a déjà quelques opérations de démonstration en vraie grandeur, notamment en Allemagne et aux Pays-Bas. Le moteur de Stirling présente des avantages significatifs par rapport à un moteur à explosion, Diesel ou essence :

- peu de maintenance et une longue durée de vie ;
- moteur peu bruyant ;
- la combustion extérieure et continue, à basse pression, peut être parfaitement contrôlée pour émettre peu de gaz polluants (3 à 4 ppm d'oxydes d'azote) ;
- enfin, dans les installations de cogénération, la quasi-totalité de la chaleur non dépensée peut être récupérée et exploitée, ce qui conduit à un rendement global potentiel très élevé, de l'ordre de 95 %.

Les températures notées T sont des températures absolues, en K.

1. Généralités sur les moteurs

Un moteur est un système fermé échangeant un travail W avec l'extérieur, une chaleur Q_F avec une source froide (température T_F) et une chaleur Q_C avec une source chaude (température T_C).

1.1. Indiquer les signes des quantités W , Q_F et Q_C , en justifiant la réponse.

1.2. Donner la définition du rendement (ou coefficient de performance) d'un moteur.

2. Cycle de Carnot

On rappelle qu'un cycle de Carnot est constitué de deux transformations réversibles isothermes et de deux transformations réversibles adiabatiques.

2.1. Rappeler l'expression du rendement d'un cycle de Carnot en fonction de T_F et T_C .

2.2. Existe-t-il, a priori, un moteur de plus grande performance, à T_F et T_C données ?

3. Étude théorique du moteur de Stirling

Le moteur de Stirling est modélisé ainsi : moteur ditherme à combustion externe dans lequel un gaz parfait est soumis à un cycle à quatre transformations :

- 1→2 compression isotherme où le gaz échange de la chaleur avec la source froide
- 2→3 transformation isochore
- 3→4 détente isotherme où le gaz échange de la chaleur avec la source chaude
- 4→1 transformation isochore

On notera P_i, V_i, T_i les variables d'état relatives aux états (i).

3.1. Donner, sans démonstration, l'expression des travaux W_{12}, W_{23}, W_{34} et W_{41} échangés au cours de chaque transformation ainsi que le travail total W en fonction des variables V_i, T_i et n (quantité de gaz parfait, en mol).

3.2. Expliquer pourquoi la variation d'énergie interne est nulle au cours de la transformation 3→4. En déduire l'expression de la quantité de chaleur Q_{34} échangée avec la source chaude.

3.3. Établir l'expression donnant le rendement du moteur de Stirling en fonction de T_2 et T_3 . Justifier alors l'intérêt que suscite un tel moteur.

4. Étude numérique du moteur de Stirling

Ce moteur est utilisé pour une installation individuelle de cogénération. Il est placé au foyer d'une parabole : la source chaude est ainsi maintenue à 770 K par concentration du rayonnement solaire. Le travail obtenu est transformé en électricité à l'aide d'un alternateur, et la chaleur restante sert au chauffage de la maison.

Le tableau suivant donne les valeurs des variables P, V et T dans les quatre états du système.

	État 1	État 2	État 3	État 4
P (Pa)	$1,0 \times 10^5$	$5,0 \times 10^5$	$14,3 \times 10^5$	$2,9 \times 10^5$
V (m ³)	1×10^{-3}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
T (K)	270	270	770	770

4.1. Calculer le rendement de ce moteur.

4.2. Calculer W, Q_{34} et en déduire la valeur de la chaleur Q_{12} échangée avec la source froide.

4.3. Sachant que le cycle est répété 500 fois par minute, en déduire la puissance fournie sous forme de travail. Calculer également la puissance thermique fournie par le système.