



# CONCOURS D'ENTREE ECINE

AOUT 2016

---

PHYSIQUE

---

**DUREE DE L'EPREUVE : 2h00**

**Le sujet comporte 6 pages**

*Calculatrice autorisée*

## EXERCICE I

*La première raison qui bloque les automobilistes à opter pour la voiture électrique est le nombre encore insuffisant de bornes de recharge.*

*Dans ce contexte, les constructeurs doivent donc en priorité gérer le délicat problème du stockage de l'énergie électrique de leurs véhicules.*

*Aujourd'hui deux grandes tendances semblent se dessiner : l'utilisation de batteries au lithium et celle de supercondensateurs.*

Nous nous proposons d'étudier ces 2 technologies.

### **Les deux parties sont indépendantes**

#### **PARTIE 1 : Accumulateur au Lithium**

Un accumulateur est un système chimique qui fonctionne comme une pile (générateur), lorsqu'il se décharge et qui a la possibilité d'être rechargé comme une batterie de voiture classique (d'où le nom impropre de « pile rechargeable ») ; il se comporte alors comme un récepteur.

Les recherches actuelles pour les véhicules électriques tendent à utiliser des accumulateurs « Li-ion » dans lesquels l'élément lithium est apporté sous forme ionique par le composé  $\text{LiFePO}_4$ . La tension de fonctionnement de ces accumulateurs est de l'ordre de  $U_{PN} = 3,3 \text{ V}$ . Leur temps de recharge a été considérablement diminué mais reste malgré tout encore environ de trois heures.



**1.1** On s'intéresse d'abord à la « recharge » de l'accumulateur sur lequel le fabricant a indiqué une quantité d'électricité  $Q = 4,32 \text{ kC}$ .

1.1.1. Après avoir donné les expressions littérales, déterminer la valeur de l'intensité du courant nécessaire à cette recharge, si elle s'effectuait pendant une durée  $t = 20 \text{ s}$ .

1.1.2. Les valeurs d'intensité de courant usuellement utilisées au laboratoire permettraient-elles une durée de recharge aussi courte ?

**1.2.** On s'intéresse maintenant à la « décharge » de l'accumulateur.

1.2.1. L'ion lithium appartient au couple  $\text{Li}^+_{(aq)} / \text{Li}_{(aq)}$  et constitue la borne positive de l'accumulateur. Écrire l'équation de la réaction qui se produit à cette électrode, et donner le nom de cette électrode.

1.2.2. La transformation qui se produit dans la pile est-elle spontanée ou forcée ? (La nature de cette transformation n'est pas demandée). Au cours du fonctionnement de la pile le quotient de réaction est-il supérieur ou inférieur à la constante d'équilibre de la réaction qui a lieu au sein de l'accumulateur ?

1.2.3. En considérant la décharge totale de l'accumulateur, calculer la quantité d'ions  $\text{Li}^+$  consommée.

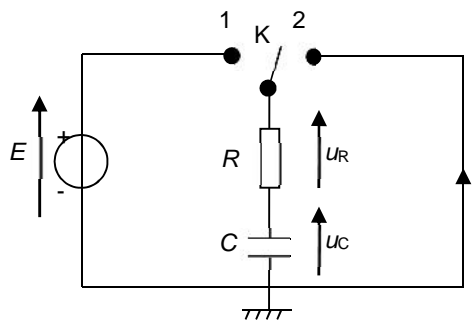
Données :  $1 \text{ F} = 96500 \text{ C}$  ;  $M_{\text{Li}} = 7,0 \text{ g.mol}^{-1}$

## PARTIE 2 : Le Supercondensateur

Le supercondensateur implanté dans un véhicule électrique se différencie d'un condensateur électrochimique classique par sa capacité à accumuler une grande quantité d'énergie (par exemple pendant les phases de freinage et d'accélération). Ils sont donc capables d'envoyer à un appareil électrique une puissance élevée pendant un temps court, ce que ne permet pas une batterie. Ces supercondensateurs stockent une quantité d'énergie plus faible qu'une batterie mais ils la restituent plus rapidement. Ils ont une durée de vie plus longue, peuvent fonctionner dans des conditions de températures plus extrêmes et sont plus légers, plus faciles à entreposer et à entretenir. **Ils peuvent se recharger en  $t = 6$  min.**



Pour étudier un tel condensateur de capacité  $C$ , on le monte dans un circuit en série avec un conducteur ohmique de résistance  $R = 1,0 \text{ } \Omega$ . On considérera qu'à l'instant  $t = 0$ , date de basculement de l'interrupteur de la position 1 à la position 2, le condensateur est totalement chargé sous une tension  $E = 2,5 \text{ V}$ .



- 2.1. Rappeler l'expression de la constante de temps  $\tau$  d'un circuit RC et montrer, par une analyse dimensionnelle, que  $\tau$  est homogène à un temps.
- 2.2. On considère que le condensateur a été totalement chargé après une durée  $t = 5 \tau$ . En déduire la valeur de  $\tau$  puis celle de la capacité  $C$  de ce condensateur. Cette valeur de capacité est-elle fréquemment rencontrée au laboratoire ?

Le circuit est orienté dans le sens du courant précisé dans le schéma ci-dessus : le condensateur et le conducteur ohmique sont alors en convention récepteur.

- 2.3. Rappeler la relation qui lie l'intensité  $i(t)$  à la dérivée de la charge  $q(t)$  par rapport au temps.
- 2.4. En appliquant la loi des tensions à ce circuit, établir l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_C(t)$ .
- 2.5. La solution de cette équation est de la forme  $u_C(t) = A.e^{-t/\tau}$ . Déterminer :  
 2.5.1. l'expression de  $\tau$  ;  
 2.5.2. l'expression de A ;  
 2.5.3. l'expression finale de  $u_C(t)$ .
- 2.6. Donner l'expression littérale de  $i(t)$  en fonction de  $E$ ,  $R$  et  $C$ , Quel est le sens réel du courant pendant la décharge du condensateur ?

## EXERCICE II

### L'ANTIMATIÈRE

*Il est communément admis par les scientifiques que, juste après le Big Bang, l'énorme quantité d'énergie disponible dans notre Univers naissant s'est transformée en des quantités égales de matière et d'antimatière.*

**Particules et antiparticules étant de même masse mais de charges opposées auraient dû tout naturellement s'annihiler les unes aux autres, débouchant sur un univers rempli de rayonnement mais vide de matière.**

*Manifestement, l'Univers dans lequel nous vivons aujourd'hui est constitué de matière et aucun atome d'antimatière à l'état naturel n'a pu être découvert. Les antiparticules ne sont produites que lors d'interactions de particules cosmiques avec l'atmosphère terrestre. C'est ainsi qu'en 1933 ont été découverts les premiers positons (anti électrons de charge positive). La disparition de l'antimatière dans l'univers est donc une énigme*

**Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.**

#### 1. L'antimatière au voisinage de la Terre

*Les éruptions solaires peuvent créer des paires électron-positon. Celle de juillet 2002 a créé un demi-kilogramme d'antimatière, assez pour couvrir la consommation d'énergie d'un grand pays pendant plusieurs jours.*

Données :

Particules	électron	positon	neutron	proton
Masse en kg	$9,109 \times 10^{-31}$	$9,109 \times 10^{-31}$	$1,674\ 92 \times 10^{-27}$	$1,672\ 62 \times 10^{-27}$

Célérité de la lumière dans le vide  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

1 W.h = 3600 J

### 1.1. Exploitation du texte :

1.1.1. Einstein a proposé une relation :  $E = m.c^2$ . Nommer et donner l'unité des grandeurs apparaissant dans cette relation.

1.1.2. En s'appuyant sur cette relation, commenter la phrase en gras dans le texte.

### 1.2. Énergie créée lors de l'éruption solaire de juillet 2002 :

1.2.1. Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un électron et un positon sachant que cette réaction produit deux photons  $\gamma$  de masse nulle.

1.2.2. Calculer l'énergie libérée par la réaction entre un positon et un électron.

1.2.3. En déduire l'énergie créée lors de l'éruption solaire de juillet 2002 et la comparer à la consommation journalière moyenne d'énergie électrique marocaine égale à 60 GW.h en 2015.

## 2. La création d'éléments radioactifs artificiels.

*L'étude des réactions nucléaires réalisées en bombardant des éléments légers comme l'aluminium par des rayons alpha va conduire Irène et Frédéric Joliot-Curie à observer, au cours de ces réactions, l'émission de neutrons et de positons accompagnant la création d'un élément X qu'ils n'identifient pas tout d'abord.*

*Ils constatent ensuite que les neutrons et les positons ne sont pas émis simultanément et que la réaction observée se produit en deux temps. Les particules alpha éjectent d'abord des neutrons hors de l'élément léger. Dans le cas de l'aluminium, des noyaux de phosphore 30 (élément X) sont créés suivant l'équation :*

*alpha + aluminium  $\rightarrow$  phosphore 30 + neutron (réaction 1)*

*Ensuite le phosphore 30 qui est radioactif se désintègre en émettant un positon et en se transformant en silicium (réaction 2).*

### Données :

$^{12}\text{Mg}$	$^{13}\text{Al}$	$^{14}\text{Si}$	$^{15}\text{P}$	$^{16}\text{S}$
------------------	------------------	------------------	-----------------	-----------------

Noyaux et particules	phosphore 30	aluminium 27	particule alpha	neutron
Masse en u	29,970 1	26,974 4	4,001 50	1,008 66

- unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 1,660 43 \times 10^{-27} \text{ kg}$

- énergie de l'unité de masse atomique :

1 u correspond à une énergie de 931,5 MeV

### 2.1. Étude de la réaction 1 :

2.1.1. Qu'appelle-t-on « particule alpha » ?

2.1.2. En appliquant les lois de conservation, écrire l'équation de la réaction 1 en utilisant les symboles des noyaux et des particules mis en jeu.

2.1.3. Donner l'expression de la variation d'énergie de la réaction (1).

2.1.4. Calculer sa valeur en MeV. Cette réaction provoque-t-elle une perte de masse

ou un gain de masse ?

## 2.2. Étude de la réaction 2 :

2.2.1. En appliquant les lois de conservation, écrire l'équation de désintégration du phosphore 30 (réaction 2). De quel type de désintégration s'agit-il ?

2.2.2. Cette réaction est-elle spontanée ou provoquée ? Justifier sans calcul si cette réaction provoque une perte ou un gain de masse.

## 3. Décroissance radioactive du phosphore.

À la date  $t_0 = 0$ , on arrête le bombardement des noyaux d'aluminium par les particules alpha. L'activité  $A_0$  de l'échantillon de phosphore 30 est alors égale à  $7,2 \times 10^{13}$  Bq.

À la date  $t_1$ , l'activité  $A_1$  de l'échantillon est égale à  $9,0 \times 10^{12}$  Bq.

À un instant  $t$ , l'activité est notée  $A(t)$ .

Donnée : temps de demi-vie du phosphore 30,  $t_{1/2} = 156$  s.

3.1. Définir l'activité  $A(t)$  d'un échantillon radioactif puis donner l'expression de la loi de décroissance radioactive pour l'activité, en expliquant la signification de chaque terme.

3.2. Définir le temps demi-vie  $t_{1/2}$  et montrer que :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ ,  $\lambda$  étant la constante de désintégration.

3.3. Exprimer  $t_1$  en fonction de  $A_0$ ,  $A_1$  et  $t_{1/2}$  et calculer sa valeur.

3.4. Montrer que l'on aurait pu trouver ce résultat facilement en calculant le rapport de  $A_0$  sur  $A_1$ .

**FIN DE L'ÉPREUVE**