BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2010

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

obligatoire

L'usage des calculatrices EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 11 pages numérotées de 1 à 11, y compris celle-ci et les annexes.

Les feuilles d'annexes (pages 10 et 11) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE même si elles n'ont pas été complétées.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I. RÉACTION D'OXYDOREDUCTION AVEC LE COUPLE $Zn^{2+}(aq)/Zn(s)$ (6,5 points)

Le zinc est un métal de couleur bleu-gris, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant du dihydrogène. On l'obtient principalement à partir du minerai de sulfure de zinc (ZnS). Le métal zinc est utilisé notamment comme électrode dans de nombreuses piles telles que les piles salines et alcalines. Une autre application du zinc à l'état métallique est son utilisation comme couche protectrice sur l'acier pour lutter contre la corrosion. Une technique possible est l'électrozingage qui consiste à faire un dépôt de zinc sur un métal par électrolyse.

Données :

- Couleurs de solutions : - une solution aqueuse contenant des ions cuivre Cu^{2+} est bleue ;
  - une solution aqueuse contenant du diiode (I_2) est orange.
- Couples d'oxydo-réduction : $Zn^{2+}(aq)/Zn(s)$; $Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$; $Al^{3+}(aq)/Al(s)$; $I_2(aq)/I^-(aq)$
- Masse molaire : $M_{Zn} = 65,4\ g.mol^{-1}$; $M_{Al} = 27,0\ g.mol^{-1}$
- Valeur du Faraday : $1\ F = 9,65 \times 10^4\ C.mol^{-1}$
- Charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19}\ C$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$

1. Première expérience : réaction avec le couple $Cu^{2+}(aq)$ / Cu(s)

Dans un becher, on introduit :
- un volume $V_1 = 20$ mL d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre contenant des ions $Cu^{2+}(aq)$ de concentration $C_1 = 1,0 \times 10^{-1}\ mol.L^{-1}$;
- un volume $V_2 = 10$ mL d'une solution aqueuse de sulfate de zinc contenant des ions $Zn^{2+}(aq)$ de concentration $C_2 = 1,0 \times 10^{-1}\ mol.L^{-1}$;
- une lame de cuivre ;
- une lame de zinc.

Après quelques minutes, on observe plusieurs faits expérimentaux :
- le mélange réactionnel initialement bleu est devenu quasiment incolore ;
- un dépôt métallique rougeâtre est apparu sur la lame de zinc ;
- le mélange réactionnel a subi une légère augmentation de température.

On suppose que la transformation chimique qui se produit est modélisée par la réaction dont l'équation (1) figure ci-dessous. La constante d'équilibre de cette réaction a pour valeur $K = 2 \times 10^{37}$.

$$Cu^{2+}(aq) + Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + Cu(s) \qquad \textbf{équation (1)}$$

1.1. Disposant de l'équation de la réaction ci-dessus, donner l'expression du quotient de réaction Q_r.
1.2. Calculer la valeur de ce quotient de réaction à l'état initial.
1.3. Appliquer le critère d'évolution spontanée et déterminer le sens d'évolution du système. Montrer que le sens d'évolution prévu est cohérent avec les observations expérimentales.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

2. Deuxième expérience : étude de la pile zinc - aluminium

On dispose maintenant :
- de 100 mL d'une solution aqueuse de sulfate de zinc contenant des ions $Zn^{2+}(aq)$ de concentration $3{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1} ;
- de 100 mL d'une solution aqueuse de sulfate d'aluminium contenant des ions $Al^{3+}(aq)$ de concentration $1{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1} ;
- d'une lame de zinc de masse $m_1 = 3{,}0$ g ;
- d'une lame d'aluminium de masse $m_2 = 3{,}0$ g ;
- d'un pont salin ;
- d'un conducteur ohmique de résistance R ;
- de fils de connexion.

2.1. Schématisation de la pile

2.1.1. Réaliser le schéma annoté de la pile Zinc – Aluminium.

2.1.2. *On branche un conducteur ohmique aux bornes de la pile.*
Compléter le schéma de la question précédente.

2.2. Principe de fonctionnement de la pile

L'équation de la réaction qui se produit quand la pile débite est :

$$3\ Zn^{2+}\ (aq) + 2\ Al\ (s) = 2\ Al^{3+}\ (aq) + 3\ Zn\ (s)$$

2.2.1. Écrire l'équation de la réaction électronique qui se produit à l'électrode de zinc et celle qui se produit à l'électrode d'aluminium.

2.2.2. En déduire le sens de circulation des électrons dans le circuit extérieur. Justifier votre réponse.

2.2.3. Indiquer sur le schéma :
- le sens de circulation des électrons dans le circuit extérieur ;
- le sens du courant ;
- la polarité de la pile.

2.3. Étude de la pile en fonctionnement

2.3.1. Déterminer les quantités de matières initiales (en mol) en ion Zn^{2+} et en aluminium solide Al(s), sachant qu'on utilise la totalité des solutions disponibles pour réaliser la pile.

2.3.2. Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système **(voir annexe 1 en page 10)**.
En déduire le réactif limitant et la valeur x_{max} de l'avancement maximal.

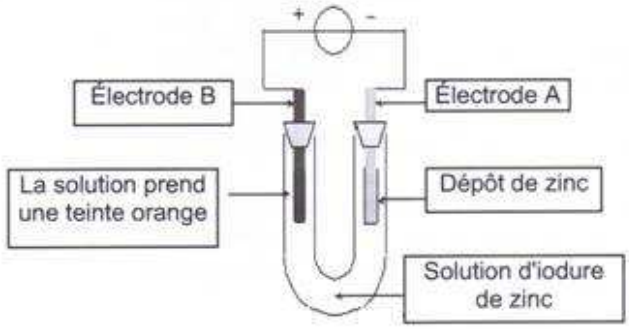
2.3.3. Calculer la quantité maximale d'électricité Q_{max} que peut débiter cette pile. Justifier votre raisonnement à l'aide de la dernière colonne du tableau descriptif du système de l'**annexe 1 page 10**.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3. Troisième expérience : électrolyse d'une solution d'iodure de zinc

Pour faire cette expérience, on réalise un montage (représenté ci-dessous) comprenant un générateur, un tube en U rempli d'une solution aqueuse d'iodure de zinc (contenant des ions zinc Zn^{2+} et des ions iodure I^-) et deux électrodes A et B.

On constate que :
- sur l'électrode A, il se forme un dépôt métallique de zinc ;
- du côté de l'électrode B, la solution prend une teinte orange.



3.1. Au niveau de l'électrode B :
3.1.1. Quel est le produit formé au niveau de l'électrode B ?
3.1.2. Écrire la demi-équation électronique correspondante.

3.2. Écrire l'équation de la réaction électronique modélisant la transformation sur l'électrode A.

3.3. Parmi les électrodes A et B, identifier l'anode et la cathode en justifiant vos réponses.

3.4. Étude quantitative de l'électrolyse :

Au cours de l'électrolyse, l'intensité du courant a été maintenue à la valeur I = 500 mA. Un dépôt de zinc de masse m_{Zn} = 1,50 g a été obtenu sur l'électrode A.

3.4.1. Calculer la quantité de matière d'électrons n_{e^-} (en mol) qui a circulé pendant l'électrolyse. On pourra raisonner sur l'équation de la réaction mise en oeuvre au niveau de l'électrode A ou sur toute autre justification bien argumentée.
3.4.2. En déduire la quantité d'électricité Q mise en jeu pendant l'électrolyse.
3.4.3. Déterminer la durée Δt de l'électrolyse.

4. Bilan

Pour chacune des trois expériences ci-dessus, indiquer à l'aide de croix sur le tableau, situé en **annexe 1 page 10**, si la transformation chimique mise en jeu :
- est spontanée ou forcée ;
- nécessite de l'énergie ou libère de l'énergie.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 4 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE II. LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE ET PROVOQUÉE DE L'URANIUM (5,5 POINTS)

En 1797, Joseph Denis François Champeaux, ingénieur des Mines, remarque dans l'échantillonnage d'un collectionneur « un minéral d'un beau jaune verdâtre formé de lamelles placées les unes sur les autres ». Il met 3 ans à localiser le gisement d'origine de cette roche à Saint Symphorien de Marmagne.

Nommé en 1852 « Autunite » en référence à l'Autunois, en Bourgogne, cet étrange minéral est exploité clandestinement par les collectionneurs et utilisé à la cristallerie de Baccarat pour la fabrication de verres jaunes à reflets verts.
C'est à cette époque que son analyse chimique est effectuée : il s'agit de phosphate d'uranium et de calcium hydraté de formule $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2,10H_2O$. L'uranium métal est alors isolé du minerai provenant de Saint Symphorien.
En 1896, Henri Becquerel découvre le phénomène de radioactivité en travaillant sur l'uranium.

L'uranium étant devenu un minerai militaire, le CEA installe en 1946 à Saint Symphorien le premier centre de recherche et d'exploitation de l'uranium. Le site, non rentable, fermera 3 ans plus tard, mais tous les géologues de l'uranium se formeront là.

Données :

Unité de masse atomique	$u = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	$E = 931{,}5$ MeV
Électronvolt	$1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J
Megaélectronvolt	$1\text{ MeV} = 1{,}00 \times 10^{6}$ eV
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3{,}00 \times 10^{8}\text{ m.s}^{-1}$

Nom du noyau ou de la particule	Uranium	Strontium	Xénon	Neutron	Proton
Symbole	$^{235}_{92}U$	$^{94}_{Z}Sr$	$^{A}_{54}Xe$	$^{1}_{0}n$	$^{1}_{1}p$
Masse (en u)	235,120	93,8946	138,888	1,00866	1,00728

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 5 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

1. A la découverte d'un minéral radioactif : l'Autunite

1.1. Qu'appelle-t-on noyau radioactif ?

1.2. L'uranium présent dans l'Autunite comprend 3 isotopes naturels : ^{238}U, présent en écrasante majorité, ^{235}U et ^{234}U.

1.2.1. Rappeler la définition de noyaux isotopes.
1.2.2. Comparer la composition des noyaux des atomes d'uranium 235 et 238.

1.3. Voici une petite partie de la chaîne de désintégration de l'uranium 238 :

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{91}Pa \rightarrow ^{234}_{92}U \rightarrow ^{230}_{90}Th$$

1.3.1. Rappeler les lois de conservation dites lois de Soddy, intervenant lors des désintégrations nucléaires.
1.3.2. Écrire l'équation de cette désintégration du noyau d'uranium 238 en thorium 234.
1.3.3. Quel est le type de radioactivité correspondant à cette désintégration ?
1.3.4. *Le thorium 234 se désintègre lui-même en protactinium* ^{234}Pa.
Écrire l'équation de cette deuxième réaction de désintégration.
Quelle particule est alors émise ?

1.4. *L'uranium* ^{238}U *présente un temps de demi-vie de* $4{,}5.10^9$ *années.*

1.4.1. Rappeler la définition du temps de demi-vie noté $t_{1/2}$.
1.4.2. En utilisant la loi de décroissance radioactive $N(t) = N_0.e^{-\lambda t}$, retrouver la relation entre le temps de demi-vie et la constante radioactive λ : $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.
1.4.3. En déduire la valeur de la constante de désintégration radioactive λ en an^{-1}, puis en s^{-1}.

1.5 *L'activité* A_0 *d'une pierre d'Autunite de masse voisine de 100 g, n'est pas négligeable ; elle est voisine de 9000 Bq.*

1.5.1. Rappeler la définition de l'activité d'une espèce radioactive.
1.5.2. Que représente un Becquerel (Bq) ?
1.5.3. *On rappelle que l'activité* $A(t)$ *à la date t et le nombre de noyaux* $N(t)$ *présents au même instant sont liés par la relation :* $A(t) = \lambda N(t)$.
Calculer le nombre de noyaux N_0 d'uranium présents dans cette pierre à la date $t = 0$ s et montrer que son ordre de grandeur est de 10^{21}.
1.5.4. *L'activité* $A(t)$ *de l'échantillon suit la loi de décroissance radioactive :* $A(t) = A_0.e^{-\lambda t}$ *avec* $A(t)$ *l'activité de l'échantillon à la date t et* A_0 *l'activité initiale qui vaut 9000 Bq.*
Que vaut l'activité de la pierre au bout de 10 ans ?
Que vaut-elle au bout de 1000 ans ?
1.5.5. Que peut-on en déduire à propos de la décroissance de l'activité de cette pierre.
1.5.6. Quels effets biologiques peut avoir l'inhalation prolongée de poussières issues d'une telle pierre ?

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 6 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

2. La radioactivité provoquée de l'uranium :

Dans certaines conditions, l'uranium 235 peut se scinder en deux noyaux plus légers et plus stables comme par exemple le strontium et le xénon selon l'équation suivante :

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{Z}Sr + ^{A}_{54}Xe + 3\,^{1}_{0}n$$

2.1. Comment appelle-t-on ce type de réaction ?

2.2. Déterminer la valeur de A et de Z.

2.3. Bilan énergétique :

2.3.1. Énoncer la relation d'équivalence masse-énergie.
2.3.2. Exprimer, en fonction des masses des particules et des noyaux intervenant dans l'équation précédente, la variation d'énergie de masse ΔE au cours de cette réaction nucléaire.
2.3.3. À l'aide des données en début d'exercice, calculer sa valeur en J, puis en MeV.

2.4. Est-ce que de l'énergie est libérée au cours de cette réaction ? Justifier la réponse.

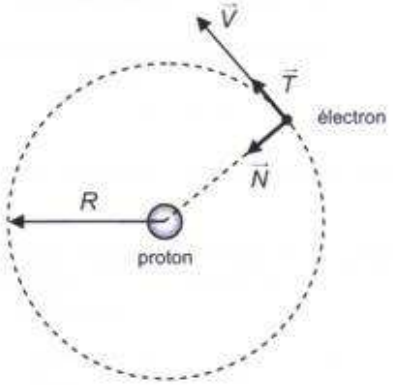
Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE III. L'ATOME D'HYDROGÈNE (4 points)

On se propose dans cet exercice d'étudier le modèle de l'atome d'hydrogène proposé par Niels Bohr en 1913. Ce modèle est une continuité du modèle planétaire proposé par Ernest Rutherford, avec cette différence essentielle que Niels Bohr introduisit un nouveau concept, à savoir la quantification des niveaux d'énergie dans l'atome.

1. Mouvement de l'électron dans l'atome

Pour commencer cette étude, on suppose que l'électron est animé d'un mouvement circulaire et uniforme de rayon R autour du proton. Les caractéristiques du mouvement de l'électron sont exprimées dans la base mobile de vecteurs unitaires $\vec{N}$ et $\vec{T}$ comme indiqué sur le schéma qui suit :



L'électron est soumis à une force d'interaction électrostatique $\vec{F}$ centripète :

$$\vec{F} = k\frac{e^2}{R^2}\vec{N}$$

où R est le rayon de l'atome, e la valeur de la charge électrique élémentaire et k une constante.

1.1. Représenter sur le schéma **en annexe 2 page 11 à rendre avec la copie** cette force d'interaction.

1.2. On rappelle que la charge élémentaire e s'exprime en Coulomb (C). Déterminer alors l'unité de la constante k.

1.3. Dans le cas d'un mouvement circulaire et uniforme, écrire l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ dans la base mobile $(\vec{T},\vec{N})$, ceci en fonction de la valeur de la vitesse $\vec{V}$ de l'électron et du rayon R de la trajectoire circulaire.

1.4. En appliquant une loi dont on donnera le nom, montrer que la valeur de la vitesse $\vec{V}$ est donnée par l'expression suivante :

$$V = e\sqrt{\frac{k}{mR}}$$

1.5. Calculer la valeur de cette vitesse. *On donne :*

$m = 9{,}109.10^{-31}$ kg $\quad e = 1{,}602.10^{-19}$ C $\quad R = 5{,}3.10^{-11}$ m et $k = 9{,}0.10^{9}$ SI

1.6. Connaissant l'expression littérale de la vitesse V, déterminer l'expression littérale de son énergie cinétique E_C.

1.7. Calculer la valeur de cette énergie cinétique, puis convertir celle-ci en électron-volt (eV).
On donne : $1\,eV = 1{,}602.10^{-19}$ J.

2. La quantification de Bohr

Dans le modèle de Bohr, l'énergie de l'atome est quantifiée.

2.1. Expliquer succinctement ce qui signifie l'adjectif « quantifié ». On pourra, pour illustrer le propos, faire une comparaison avec l'énergie déterminée dans le cadre de la mécanique de Newton.

L'énergie de l'atome d'hydrogène se met sous la forme :

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2} \quad (eV)$$

où n est un nombre entier strictement positif appelé nombre quantique principal.

À chacune de ces énergies est associée une orbite circulaire de l'électron dont le rayon r_n vérifie :

$$r_n = a_0\, n^2$$

avec a_0 une grandeur appelée « rayon de Bohr », valeur du rayon de l'atome pour la plus petite valeur de n à savoir $n = 1$.

2.2. Compléter le **tableau joint dans l'annexe 2 page 11 à rendre avec la copie** en indiquant la valeur de l'énergie de l'atome ainsi que le rayon de l'orbite de l'électron en fonction de n. Le rayon sera exprimé celui-ci en multiple de a_0.

n	1	2	3	4	5
E_n (eV)	−13,6	−3,40	−1,51		
r_n	a_0	$4a_0$	$9a_0$		

2.3. Vers quelle valeur évolue l'énergie E_n de l'atome lorsque la valeur du nombre quantique principal n devient très grande ? Même question concernant la valeur du rayon r_n.

L'image que l'on peut donner à l'électron en interaction avec le proton dans l'atome d'hydrogène est celle d'un puits dans lequel l'électron serait « piégé ». Le document fourni **en annexe 2 page 11**, donne une représentation graphique de ce puits.

2.4. Quelle énergie minimale faut-il fournir à l'atome pour « libérer » l'électron de ce puits ?

2.5. Quelle modification subit l'atome d'hydrogène si l'électron est « libéré » de ce puits ?

2.6. *On apporte à l'atome, dans son état de plus basse énergie E_1, une énergie $\Delta E = 10,2$ eV (on ne cherchera pas à savoir comment).* Dans quel état énergétique se retrouve alors l'atome après avoir reçu cette énergie ?

2.7. *Dans ce nouvel état, l'atome est instable et va chercher à retrouver son état de plus basse énergie. Ce phénomène s'accompagne de l'émission d'un photon.*

Déterminer sa fréquence puis sa longueur d'onde dans le vide.

On donne $h = 6,62.10^{-34}$ *J.s* et $c = 3,00.10^{8}$ *m.s*$^{-1}$

2.8. À quel domaine spectral appartient la radiation émise ?

Annexe 1 de l'exercice I. à rendre avec la copie

2.3.2. Tableau descriptif du système :

Équation	$3\ Zn^{2+}(aq)$ + $2\ Al(s)$ = $2\ Al^{3+}(aq)$ + $3\ Zn(s)$				
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			Quantité d'électrons échangée (mol)
État initial	0			$1{,}0\times10^{-2}$	$4{,}6\times10^{-2}$	0
En cours de transformation	x					
État maximal	x_{max}					

4. Bilan :

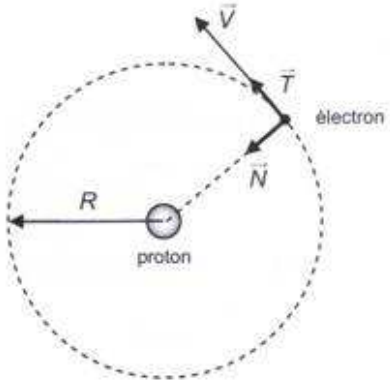
Transformation chimique :	spontanée	forcée	nécessitant de l'énergie	libérant de l'énergie
Première expérience				
Deuxième expérience				
Troisième expérience				

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Annexe 2 de l'exercice III. à rendre avec la copie

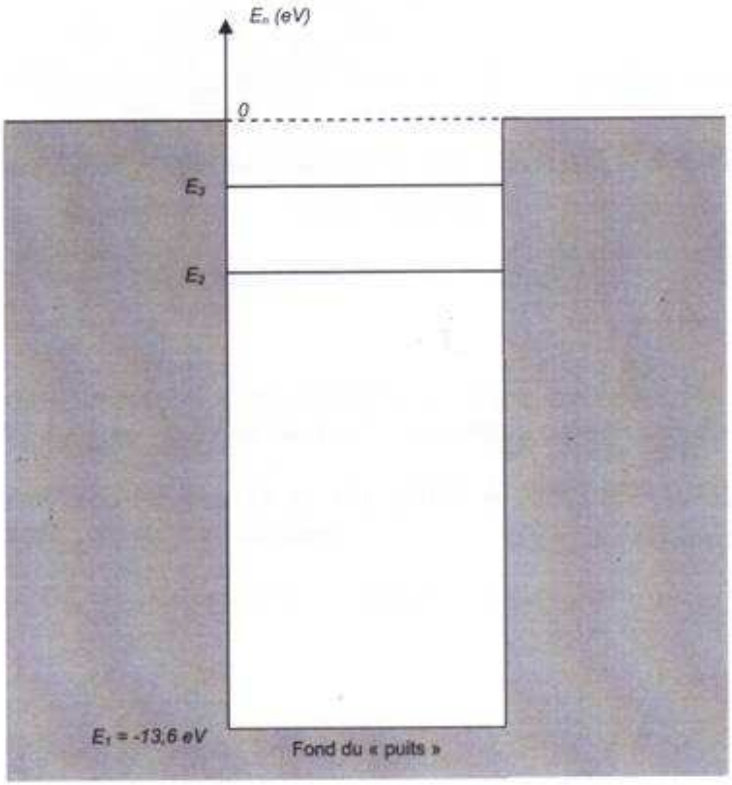
Question 1.1.



n	1	2	3	4	5
E_n (eV)	-13,6	-3,40	-1,51		
r_n	a_0	$4a_0$	$9a_0$		

Question 2.2.

Question 2.3.



Ne sont représentés sur ce diagramme que les trois premiers niveaux d'énergie, à savoir E_1 (le niveau fondamental ou fond du « puits ») E_2 et E_3.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 11 / 11
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer