# Physique moderne

## Rattrapage

durée : 1h30 (2h en cas de tiers-temps)

**Aucune sortie avant 1h d'épreuve**

**Instructions à lire avant de commencer**

**Sont interdits :**

— les documents ;

— **tous** les objets électroniques (calculatrice, téléphone, montre connectée, *etc.*) ;

— les déplacements et les échanges.

**Consignes :**

1. vérifiez que le sujet est composé de 3 pages ;
2. indiquez le nombre total de pages de votre copie ;
3. numérotez toutes les pages de la copie ;
4. une attention particulière sera donnée à la qualité de la rédaction ;
5. en cas d'erreur dans l'énoncé, vous l'indiquerez sur votre copie et continuerez le devoir.

**Le barème est donné à titre indicatif**

## Données

- constante de Planck réduite (valeur communiquée aux étudiants) : $\hbar = \frac{h}{2\pi} \approx 1 \times 10^{-34}$ U.S.I (U.S.I. : Unité du Système Internationale) ;
- $1\,\text{eV} \approx 2 \times 10^{-19}\,\text{J}$ ;
- remarque : valeur (fausse) donnée par l'énoncé initial $\hbar \approx 6 \times 10^{-34}$ U.S.I

## Exercice 1 – Questions de cours (7 points)

1. Dimension et unité de la constante de Planck
   1.a) Quelle relation pouvez-vous utiliser pour retrouver la dimension et l'unité de la constante de Planck ? Plusieurs choix sont possibles.
   1.b) Retrouver la dimension et l'unité de la constante de Planck à partir de la formule précédente.
   1.c) Pourquoi la constante de Planck et la constante de Planck réduite ont la même dimension ?

1.d) Quelle grandeur physique (notamment utilisée en mécanique classique) a la même dimension que la constante de Planck ?

2. Effet tunnel

2.a) Pourquoi ne peut-on pas observer l'effet tunnel pour une particule dans un puits infini de potentiel ?

2.b) Représenter graphiquement une énergie potentielle $V$ en fonction de la position $r$ qui permet d'observer l'effet tunnel (plusieurs réponses sont possibles).

2.c) Sur ce même graphique, indiquer un intervalle d'énergie pour lequel l'effet tunnel peut-être observé.

## **Exercice 2** – Applications directes (7 points)

1. La longueur d'onde maximale pour observer l'effet photoélectrique sur un métal est notée $\lambda_1$.

1.a) Exprimer le travail d'extraction $W_1$ (énergie minimale à fournir pour extraire un électron).

1.b) Si la longueur d'onde de la lumière utilisée est notée $\lambda_2$ exprimer l'énergie cinétique maximale des électrons extraits.

1.c) Parmi les deux longueurs l'onde précédentes ($\lambda_1$ et $\lambda_2$), laquelle est la plus grande ?

2. Sachant que le travail d'extraction du zinc vaut $W_{\mathrm{Zn}} \approx 4\,\mathrm{eV}$, peut-on observer l'effet photoélectrique avec de la lumière visible ?

3. Après avoir rappelé la relation de de Broglie, exprimer la longueur d'onde de de Broglie d'un atome d'hydrogène dans son état fondamental d'énergie notée $E_0$.

## **Exercice 3** – Électron confiné (6 points)

On considère un électron de masse $m$ et libre de se déplacer uniquement sur un segment de droite de longueur $L$. Son énergie potentielle $V$ est nulle sur ce segment et son énergie totale $E$ se réduit donc à son énergie cinétique. L'origine du repère est choisie de manière à ce que ce segment soit confondu avec l'intervalle $[0, L]$.

La partie spatiale de sa fonction d'onde $\psi(x)$ vérifie alors l'équation :

$$\frac{\hbar^2}{2m}\frac{{}^2\psi}{x^2} + E\psi = 0. \tag{1}$$

1. Résolution de l'équation (1)

1.a) Quel nom porte l'équation (1) ?

1.b) Montrer que les solutions de cette équation sont de la forme

$$\psi(x) = C\cos(kx) + S\sin(kx),$$

avec $k$ une constante à exprimer en fonction des données du problème. Les constantes $C$ et $S$ seront déterminées dans la suite.

2. Détermination de $C$

2.a) On admettra que si l'énergie potentielle de l'électron est infinie en dehors du segment (intervalle $[0, L]$), sa probabilité de présence en dehors de ce segment est nulle. Dès lors, quelle relation devra vérifier la fonction d'onde $\psi$ aux bords du segment ?

2.b) En déduire la valeur de $C$.

3. Quantification de l'énergie

3.a) Montrer que les conditions aux limites trouvées à la question 2.a entraînent la quantification de l'énergie.

3.b) Déterminer ces niveaux d'énergie en fonction des données du problème.

4. À partir de l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde, montrer que $S = \sqrt{2/L}$. Rappel : $2\sin^2(x) = 1 - \cos(2x)$.

5. Donner une application (existante ou à venir) du confinement d'une particule dans une boîte.