

上海交通大学试卷

(2021至2022学年第2学期)

班级号_____ 学号_____ 姓名(中和法)_____

课程名称: PHY1302P 物质结构导论 _____ 成绩_____

说明

Avertissement

1. 考试时间: 1小时30分钟。
Durée de l'examen : 1 heure 30 minutes.
2. 可以使用计算器。但不能使用任何参考资料。
*L'utilisation d'une calculatrice est **autorisée**. Tous les documents sont **interdits**.*
3. 各个大题是不相关的, 可以按照任何顺序来完成。
Les exercices sont indépendants. Ils peuvent être traités dans un ordre quelconque.
4. 请注意书写质量会影响阅卷老师批改试卷: 字体不清或者语言表述不清的答案将会被酌情扣分。
La correction tient compte de la qualité de la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.
5. 答题纸如无法顺利上传Moodle, 请发至邮箱: meng.xia@sjtu.edu.cn

Données

- Constante de Planck : $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Vitesse de la lumière dans le vide : $c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Charge élémentaire : $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Définition de l'électron-volt : $1 \text{ eV} = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- Permittivité diélectrique du vide : $\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
- Masse de l'électron : $m_e = 9,10939 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Masse du proton : $m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- Masse du neutron : $m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Énergie d'un photon : $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$
- Énergie cinétique : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$

承诺人：_____

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

11A

The diagram illustrates the electromagnetic spectrum. The top part shows a logarithmic scale of wavelengths from 10^{-11} to 10^3 meters. The spectrum is divided into several regions: Rayons Gamma, Rayons X, Ultra violet, Infrarouge, Micro-ondes, and Ondes radio. Below this, a detailed view of the visible spectrum (Spectre visible) is shown, ranging from 400 nm (violet) to 800 nm (red), with intermediate colors like blue, green, yellow, and orange.

Exercice 1. Le lithium (*30 points*)

Le lithium est l'élément chimique de numéro atomique $Z = 3$, de symbole Li. C'est un métal alcalin.

1. Écrire les équations correspondant à la 1^{re} et à la 2^e ionisation de Li.
2. Les énergies de la 1^{re} et de la 2^e ionisation de Li valent 5,4 eV et 75,6 eV. Comment expliquer cette grande différence de valeur ?
3. Une radiation lumineuse de longueur d'onde 120 nm peut-elle permettre la première ionisation de Li ? Dans quel domaine énergétique se situe cette lumière (UV, visible, IR) ?

L'effet photoélectrique (光电效应) est l'émission d'électrons d'un métal sous l'effet d'un rayonnement lumineux. Einstein l'explique en 1905 en considérant que la lumière est constituée de photons. La longueur d'onde du **seuil photoélectrique** du lithium Li est $\lambda_0 = 520$ nm.

4. Le lithium émet-il des électrons lorsqu'il reçoit des rayons de longueurs d'onde supérieures ou inférieures à 520 nm ?
5. Calculer l'énergie (en eV) et la vitesse des électrons émis par une plaque (平板) de lithium placée dans le vide et illuminée (照射) par des rayons de longueur d'onde 450 nm.

Exercice 2. Énergie et configuration électronique (*30 points*)

Dans le modèle de Slater, l'énergie d'une orbitale atomique d'un électron appartenant à la couche n , peut être calculée à l'aide de la formule approchée suivante :

$$E_n = -13,6 \left(\frac{Z_n^*}{n^*} \right)^2 \text{ eV}$$

où les valeurs de n^* (nombre quantique principal effectif) sont données dans le tableau suivant :

| | | | | | |
|---|---|---|---|-----|---|
| Nombre quantique principal réel n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Nombre quantique principal effectif n^* | 1 | 2 | 3 | 3,8 | 4 |

On s'intéresse à l'atome de vanadium V ($Z = 23$).

1. En respectant la règle de Klechkowski, établir la configuration électronique de l'atome de vanadium dans l'état fondamental.

Le modèle de Slater permet de calculer la « charge effective » Z^* ressentie par les électrons de valence du vanadium dans ces conditions :

$$Z_{4s}^* = 3,30, \quad Z_{3d}^* = 4,30$$

2. Calculer l'énergie totale (en eV) des **électrons de valence** du vanadium dans la configuration électronique proposée.

Considérons maintenant l'atome de vanadium dans la configuration électronique hypothétique (假设的) pour laquelle tous les électrons de valence sont rassemblés (集合) dans des orbitales 3d.

3. Écrire cette configuration électronique.

Les règles de Slater établissent alors que dans ces conditions : $Z_{3d}^* = 3,60$.

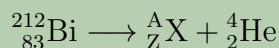
4. Calculer l'énergie totale (en eV) des **électrons de valence** du vanadium dans la configuration électronique proposée.

5. Commenter ce résultat en considérant que l'énergie des **électrons de cœur** est la **même** pour les deux configurations proposées.

Exercice 3. Découverte des neutrinos (40 points)

Principe de conservation de l'énergie

Le $^{212}_{83}\text{Bi}$ est un noyau émetteur α , il se désintègre selon la réaction :



1. À l'aide du tableau périodique, identifier le noyau ${}^A_Z\text{X}$.

La perte de masse observée lors de la désintégration du ^{212}Bi est : $|\Delta m| = 1,1024 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$.

2. Calculer l'énergie libérée E_r par la désintégration du bismuth. *Donner le résultat avec 4 chiffres significatifs en unité de MeV.*

${}^A_Z\text{X}$ peut être obtenu dans son état fondamental ou dans un état excité.

L'expérience montre que :

- la particule α et le noyau ${}^A_Z\text{X}$ issus de cette désintégration possèdent des énergies cinétiques dont la somme est **quantifiée** : elle ne prend que des valeurs bien déterminées dont les mesures sont données dans le tableau ci-dessous.

| $E_{c,\alpha} + E_{c,X} \text{ (MeV)}$ | 6,184 | 6,143 | 5,856 | 5,711 | 5,701 | 5,568 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Abondance relative (%) | 27,2 | 69,9 | 1,6 | 0,18 | 1,1 | 0,02 |

- La désintégration de type α est souvent suivie d'une émission de rayonnement γ . Les valeurs de l'énergie des photons γ émis sont **quantifiées** et correspondent aux transitions représentées sur la Figure 1.

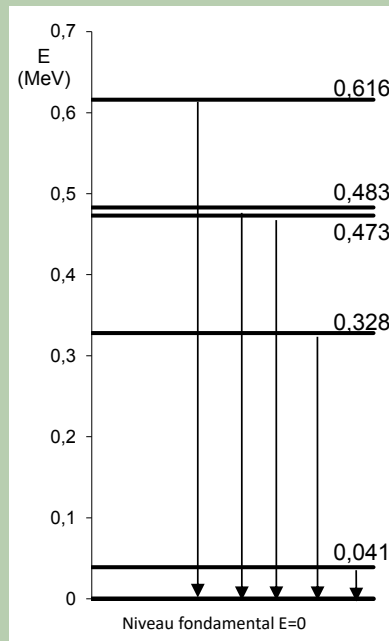


FIGURE 1 – Niveaux d'énergie du noyau ^{108}Cd

- Définir E_{photon} l'énergie libérée au cours de la désintégration γ . Montrer que $E_r = E_{c,\alpha} + E_{c,X} + E_{\text{photon}}$ pour chacune des valeurs données.

Expérience Cowan-Reines

L'existence de l'antineutrino a été confirmée expérimentalement en 1956 par Frederick Reines et Clyde Cowan.

Lors de la fission, beaucoup d'antineutrinos sont créés. Une petite partie d'entre eux vont réagir avec les protons pendant une réaction dite "*bêta inverse*", où un **proton** devient un **neutron** et l'**antineutrino** un **positon**.

- Écrire l'équation de cette réaction bêta inverse.

L'annihilation (湮灭) de **positon** avec un **électron** crée une **paire** de photon γ . Un matériau spécial permet de détecter le rayonnement gamma.

- Écrire la réaction d'annihilation et déterminer l'énergie (en eV) d'un photon émis. On suppose que la masse d'un positon est la même que celle d'un électron.

Cette première expérience ne suffit pas. Pour améliorer la fiabilité (可信度) des résultats, le cadmium-108 est utilisé pour absorber les neutrons créés dans la réaction bêta inverse. Après l'**absorption** d'un **neutron**, le noyau ^{108}Cd devient ^{109}Cd dans un **état excité**.

- Écrire l'équation de cette réaction de "**capture d'un neutron**".

(Dans cette deuxième expérience, le rayonnement gamma émis par le cadmium est détecté 5 microsecondes après le rayonnement gamma émis par l'annihilation du positon, on montre alors qu'il est réellement produit par l'antineutrino.)