
TRAVAUX DIRIGÉS

DE CHIMIE

CHARLES TUCHENDLER



MPSI 4 – LYCÉE SAINT-LOUIS

ANNÉE 2019/2020

Table des matières

| | | |
|--|---------------------------------------|---|
| TD n° 3 | INTRODUCTION À LA MÉCANIQUE QUANTIQUE | 1 |
| Exercice n° 1 - Etude du noyau de vanadium | | 1 |
| Exercice n° 2 - Masse molaire atomique d'un élément | | 1 |
| Exercice n° 3 - Expérience de G. P. Thomson | | 1 |
| Exercice n° 4 - Microscope électronique à balayage | | 2 |
| Exercice n° 5 - Taux d'émission de photons | | 2 |
| Exercice n° 6 - Pression de radiation du Soleil | | 2 |
| Exercice n° 7 - Effet photoélectrique | | 3 |
| Exercice n° 8 - Effet Compton | | 3 |
| Exercice n° 9 - Onde de matière | | 3 |
| Exercice n° 10 - Confinement et quantification | | 3 |
| Exercice n° 11 - L'atome d'hydrogène et son spectre atomique | | 4 |
| Exercice n° 12 - Série de Humphreys | | 4 |

INTRODUCTION À LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

Exercice n° 1 - Etude du noyau de vanadium

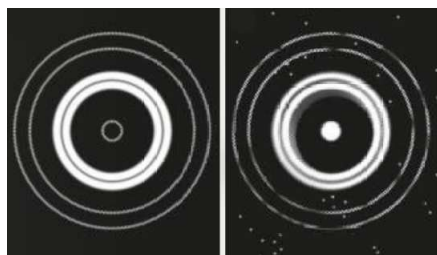
On donne : $Z(\text{V}) = 23$.

1. Quels sont les noms et significations des nombres A et Z ?
2. Définir les termes : atome, élément et isotope. On les caractérisera par des propriétés relatives à Z et/ou A .
3. Quels sont les nombres de protons et de neutrons présents dans un noyau de vanadium ^{51}V ?
Donner un ordre de grandeur de la masse atomique molaire de ^{51}V .
4. Mêmes questions pour ^{48}V .

Exercice n° 2 - Masse molaire atomique d'un élément

Le carbone naturel est constitué de $x\%$ de l'isotope $^{12}_6\text{C}$ et $y\%$ de l'isotope $^{13}_6\text{C}$. La masse molaire de l'isotope 13 est $13,0063 \text{ g.mol}^{-1}$. Calculer les pourcentages isotopiques x et y sachant que la masse molaire de l'élément carbone est $M = 12,0115 \text{ g.mol}^{-1}$.

Exercice n° 3 - Expérience de G. P. Thomson



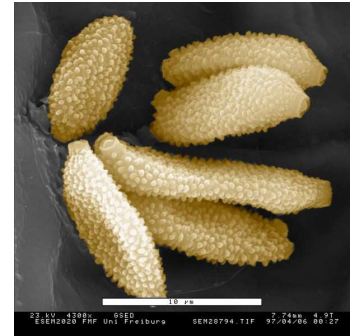
En 1927, les physiciens américains Davisson et Germer fournissaient la preuve expérimentale de l'hypothèse de Louis de Broglie en mettant en évidence le phénomène de diffraction d'électrons sur un échantillon monocristallin de nickel. Quelques mois plus tard, le Britannique G. P. Thomson confirmait ce résultat en faisant passer un faisceau d'électrons monocinétique à travers une mince feuille de métal. Avec des électrons accélérés par une différence de potentiel (tension) de l'ordre du kilovolt (kV), il obtint sur une plaque photographique placée derrière la cible une figure de diffraction identique à celle observée avec des rayons X de même énergie. La figure ci-contre représente les anneaux concentriques obtenus par diffraction sur un mince feuillet métallique : de rayons X (à gauche) et d'électrons (à droite).

1. En quoi l'expérience de G. P. Thomson confirma-t-elle la nature ondulatoire des électrons ?
2. Donner l'ordre de grandeur de la longueur d'onde des rayons X. L'utilisation de ces derniers vous semble-t-elle adaptée pour mener une étude cristallographique par diffraction ?
3. Soumis à une différence de potentiel $U > 0$, un électron de charge $q = -e = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ et de masse $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, initialement au repos acquiert une énergie cinétique égale à eU . Établir la relation numérique approchée $\lambda \simeq 1,23/\sqrt{U} \text{ nm}$ où U est la tension accélératrice en volts (V). En déduire la longueur d'onde des électrons utilisés par Thomson. Commenter.

Exercice n° 4 - Microscope électronique à balayage

Le pouvoir de résolution d'un microscope, c'est-à-dire la taille caractéristique des plus petits détails qu'il permet d'observer, est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde utilisée.

1. Quel est le phénomène qui limite le pouvoir de résolution d'un microscope ?
2. Rappeler les valeurs des longueurs d'ondes extrêmes (dans le vide) du spectre visible et déterminer les énergies en eV des photons correspondants.
3. La taille des grains de pollen d'orchidée dont l'image est fournie ci-contre est de l'ordre de $10\ \mu\text{m}$.
 - (a) Expliquer pourquoi cette image ne peut pas provenir d'un microscope optique, sachant qu'en grossissant l'image ci-contre, on peut observer des détails 100 fois plus petits que la taille des grains de pollen.
 - (b) Cette image a été obtenue à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB), dans lequel un faisceau d'électrons est envoyé sur l'échantillon à analyser. Après interaction avec la matière, ces électrons sont récupérés par des capteurs dont les informations permettent de reconstruire l'image. Évaluer l'ordre de grandeur de l'énergie cinétique minimale des électrons qui ont été utilisés pour obtenir ce « cliché ». On donne la masse de l'électron $m_e = 9,1 \times 10^{-31}\ \text{kg}$.



Exercice n° 5 - Taux d'émission de photons

Une lampe à vapeur de sodium est placée au centre d'une large sphère qui peut absorber toute la lumière qui l'atteint. La puissance de la lampe est de $100\ \text{W}$ et on suppose que le rayonnement émis est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 590\ \text{nm}$.

1. A quel taux les photons sont-ils absorbés par la sphère ?
2. Quel rayon doit avoir la sphère pour que celle-ci absorbe exactement $1\ \text{photon.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$?
3. Calculer le taux d'émission de photon du Soleil sachant que la puissance lumineuse totale émise par le Soleil est de $3,9 \cdot 10^{26}\ \text{W}$.

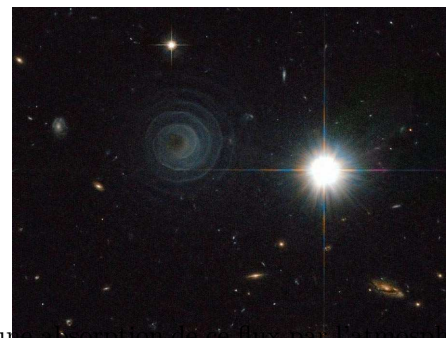
Exercice n° 6 - Pression de radiation du Soleil

Le flux solaire dans l'espace est donné par :

$$\Phi = \Phi_0 \left(\frac{D_0}{D} \right)^2$$

où $\Phi_0 = 1,36\ \text{kW.m}^{-2}$ est appelée "constante solaire" et où $D_0 = 1,5 \cdot 10^{11}\ \text{m}$ est l'unité astronomique. La puissance radiative \mathcal{P}_{rad} reçue par une surface S exposée sous incidence normale aux rayons solaires est alors simplement définie par $\mathcal{P}_{rad} = S \times \Phi$.

1. Rappeler quelle est la définition de l'unité astronomique (u.a.).
2. En déduire le flux solaire à la surface de la Terre en supposant qu'aucune absorption de ce flux par l'atmosphère n'est lieu.
3. On considère ici le rayonnement solaire incident sur la Terre correspondant à un nombre N de photons reçus par une surface S . On suppose que le rayonnement est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}\ \text{m}$ et que le flux solaire est celui calculé à la question précédente.
 - (a) Rappeler les expressions de l'énergie et de la quantité de mouvement de chaque photon.
 - (b) Exprimer la puissance radiative reçue par une surface S en fonction de h , ν , et du taux d'émission de photons $\frac{dN}{dt}$.
En déduire l'expression du taux d'émission de photons $\frac{dN}{dt}$ en fonction de S , Φ , h et ν
 - (c) En supposant que tous les photons incidents sont absorbés lorsqu'ils frappent la surface S , exprimer la force exercée par le flux de photons solaire au niveau de la Terre.
 - (d) En déduire l'expression de la force de pression de radiation solaire sur Terre. La calculer numériquement.
 - (e) Comparer la valeur obtenue à celle de la pression atmosphérique.



Exercice n° 7 - Effet photoélectrique

On considère un métal dont le travail d'extraction est de 1,8 eV.

1. Que vaut le potentiel d'arrêt des électrons éjectés du métal lorsque qu'un rayonnement lumineux à une longueur de 400 nm éclaire le métal ?
2. Quelle est la vitesse maximale des électrons éjectés ?

On souhaite réaliser un photodétecteur dans le domaine visible, fonctionnant sur le principe de l'effet photoélectrique. Parmi les différents éléments cités ci-dessous, lequel choisiriez-vous ?

- le tantale (4,2 eV) ;
- le tungstène (4,5 eV) ;
- le aluminium (4,2 eV) ;
- le barium (2,5 eV) ;
- le lithium (2,3 eV).

Exercice n° 8 - Effet Compton

Des rayons X de longueur d'onde $\lambda = 22$ pm sont diffusés sur une cible de carbone graphite et sont détectés sous un angle de 85° par rapport à la direction du faisceau incident. On rappelle que le décalage Compton s'écrit :

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \varphi)$$

1. Calculer le décalage Compton des rayons diffusés ?
2. Quel pourcentage de l'énergie des photons incidents est transféré à l'électron diffuseur ?

Des rayons γ d'énergie 0,511 MeV sont dirigés sur une cible en aluminium et sont diffusés dans différentes directions par les électrons les moins liés aux atomes d'aluminium.

3. Quelle est la longueur d'onde des rayons incidents ?
4. Quelle est celle des rayons diffusés selon un angle de 90° ?
5. Quelle est l'énergie des photons diffusés dans cette direction ?

Un photon subit une diffusion Compton sur un électron libre initialement au repos. Le photon est diffusé sous un angle de 45° alors que sa longueur d'onde initiale est $\lambda = 3,00$ pm.

6. Quel vaut l'énergie cinétique de l'électron après la diffusion ?

Exercice n° 9 - Onde de matière

★ Calculer la longueur d'onde de de Broglie d'un électron, d'un photon et d'un neutron, tous trois d'énergie 1,00 keV.

★ La double raie jaune du sodium correspond à une longueur d'onde d'environ $\lambda = 590$ nm. Quelle énergie cinétique doit on communiquer à un électron pour que sa longueur d'onde de de Broglie correspondent à la raie jaune du sodium ?

Exercice n° 10 - Confinement et quantification

Un électron est confiné dans un puits de potentiel unidimensionnel de profondeur infinie et de largeur $L = 100$ pm.

1. Quelle est la plus petite quantité d'énergie que l'électron peut posséder ?
2. Quelle quantité d'énergie doit-on transférer à l'électron pour lui faire subir un saut depuis le niveau fondamental d'énergie au niveau du second état excité ?
3. Quelle devrait-être la longueur d'onde d'un photon absorbé qui permettrait une telle transition ?
4. Une fois excité au niveau du second état, quelle(s) longueur(s) d'onde pourrai(en)t être émise(s) lors de la désexcitation de cet électron ?

Exercice n° 11 - L'atome d'hydrogène et son spectre atomique

Calculer dans le cas de l'hydrogène :

1. l'énergie d'excitation nécessaire pour passer de l'état fondamental à l'état $n = 3$ (en eV),
2. l'énergie nécessaire pour ioniser l'atome à partir de l'état excité $n = 3$ (en eV),
3. la fréquence ainsi que la longueur d'onde du photon émis lorsque l'atome passe de l'excité $n = 3$ à l'état moins excité $n = 2$. A quel domaine du spectre optique appartient cette radiation ?

Exercice n° 12 - Série de Humphreys

On s'intéresse à l'atome d'hydrogène et à une des séries de son spectre : la série de Humphreys.

1. Quelle est la définition d'une série ? Quelle entité effectue les transitions associées ?
2. Pour la série de Humphreys, la longueur d'onde la plus courte des transitions possibles est $\lambda_{\min} = 3,28 \mu\text{m}$. A quel domaine du spectre optique appartient cette radiation ?
3. Préciser à quel type de transition correspond une longueur d'onde minimale. En déduire la valeur du nombre quantique principal de cette série. Ce niveau est-il le niveau fondamental ou un niveau excité ?
4. Quelles sont l'énergie et la fréquence de l'onde associée à l'ionisation de l'atome d'hydrogène à partir de ce niveau ? Vous exprimerez l'énergie en J, en eV et en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.
5. Quelle est enfin la limite supérieure du domaine de longueurs d'onde associé à cette série ?