

# Exercices du chapitre Physique 15 : Ouverture au monde quantique

## Applications directes

### Connaître les prévisions de la mécanique newtonienne

(§ 1 du cours)

#### 1. Connaître les interactions newtoniennes

- a. Citer deux interactions newtoniennes en  $\frac{1}{r^2}$ .
- Exprimer les lois de forces qui modélisent ces interactions.
- Répondre par vrai ou faux aux affirmations suivantes :
  - La loi de la gravitation universelle permet d'interpréter la structure du système solaire.
  - L'énergie d'un satellite peut varier continûment.
  - D'après la loi de COULOMB, il existe des interactions attractives entre le noyau d'un atome et les électrons de cet atome.
  - Dans un atome, les forces électriques entre le noyau et les électrons sont négligeables devant les forces de gravitation.

### Connaître les limites de la mécanique newtonienne

(§ 2 du cours)

#### 2. Montrer les limites de la mécanique de NEWTON

Le noyau d'un atome de lithium est noté  ${}^6_3\text{Li}$ .

- a. Quelle est la composition de cet atome?
- D'un point de vue énergétique, que permet de prévoir la mécanique de NEWTON appliquée au modèle planétaire de cet atome?
- Le spectre de la lumière émise par un atome de lithium ne comporte que quelques raies correspondant à des radiations de longueurs d'onde précises. Que peut-on en conclure?

### Quantification d'énergie dans le domaine microscopique

(§ 3 du cours)

#### 3. Savoir utiliser la relation donnant l'énergie d'un photon

- L'un des photons, émis par une lampe au mercure, a pour longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 546 \text{ nm}$ .
  - Calculer sa fréquence.
  - Calculer son énergie en joule, puis en eV.
- L'un des photons émis par une lampe au sodium a une énergie  $E = 2,11 \text{ eV}$ .
  - Calculer cette énergie en joule.
  - Calculer la longueur d'onde, dans le vide, de la radiation correspondante.

Données :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

#### 4. Calculer un nombre de photons

La radiation monochromatique d'un laser à dioxyde de carbone a une longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ . La puissance émise est  $\mathcal{P} = 0,10 \text{ W}$ .

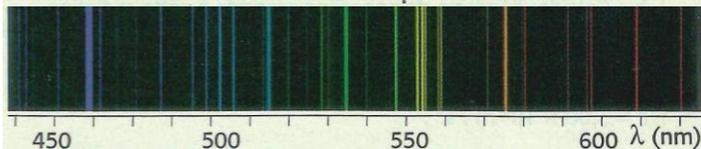
- Calculer la fréquence de cette radiation.
- Calculer, en joule puis en électronvolt, l'énergie d'un photon associé à la radiation.
- Calculer le nombre de photons émis, chaque seconde, par ce laser.

Données :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

#### 5. Interpréter un spectre d'émission

Le spectre d'émission de l'atome de mercure comporte de nombreuses raies visibles. Certaines sont représentées ci-dessous.



1. a. Expliquer pourquoi un tel spectre est qualifié de spectre de raies.

b. Que prouve ce spectre concernant l'énergie de l'atome?

2. a. Calculer, en joule puis en eV, l'énergie des photons associés à la radiation de longueur d'onde  $\lambda = 577 \text{ nm}$ .

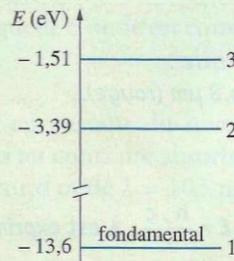
b. Ce spectre comporte-t-il une raie visible correspondant à des photons d'énergie égale à  $2,39 \text{ eV}$ ?

Données :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

#### 6. Exploiter un diagramme énergétique

Une partie du diagramme énergétique simplifié de l'atome d'hydrogène est représentée ci-dessous.



1. a. Qu'appelle-t-on niveau fondamental?

b. Quel est le niveau couramment choisi comme référence d'énergie? Quelle est la valeur de son énergie?

c. Quelle est l'énergie à fournir à un atome d'hydrogène pour l'ioniser, si celui-ci se trouve au niveau fondamental?

2. a. Calculer la longueur d'onde de la radiation correspondant à une transition du niveau 3 vers le niveau 2.

b. Cette radiation est-elle émise ou absorbée?

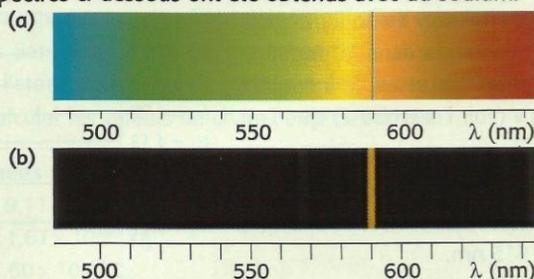
3. Reprendre les mêmes questions pour une transition du niveau 1 vers le niveau 2.

Données :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

#### 7. Différencier des spectres

Les spectres ci-dessous ont été obtenus avec du sodium.



1. Comment qualifier chacun de ces spectres?

2. a. Quelles sont les longueurs d'ondes des radiations absorbées par le sodium?

b. Les comparer aux longueurs d'ondes des radiations émises.

c. Calculer l'énergie des photons correspondant aux radiations émises.

Données :

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

### Étudier la mécanique quantique

(§ 4 du cours)

#### 9. Décrire la lumière

Richard FEYNMAN (1918-1988) est un physicien américain qui a joué un rôle très important dans la connaissance du photon. Il a obtenu pour cela le prix Nobel en 1965.

Le texte ci-dessous est une célèbre citation de ce grand professeur de physique. Il illustre les connaissances du début du xx<sup>e</sup> siècle au sujet de la lumière.

« ... À cette époque, la lumière était une onde les lundis, mercredis et vendredis et un ensemble de particules les mardis, jeudis et samedis. Restait le dimanche pour réfléchir à la question... »

1. Comment appelle-t-on ce que FEYNMAN désigne par « particules »?

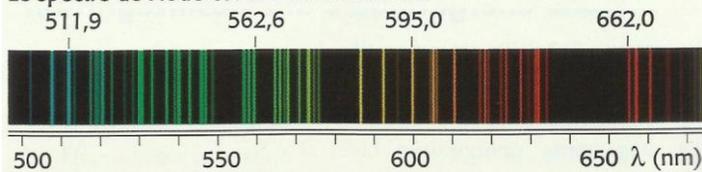
2. Quelles grandeurs physiques sont communes à une onde électromagnétique et aux « particules » évoquées dans ce texte?

3. Citer une expérience permettant de mettre en évidence le caractère ondulatoire de la lumière.

## Utilisation des acquis

### 11. Spectre de l'iode

Le spectre de l'iode est donné ci-dessous.



1. Ce spectre est-il un spectre d'émission ou un spectre d'absorption?
2. Calculer, en joule, les énergies des photons associés aux radiations dont les longueurs d'onde sont indiquées sur le spectre.

**Données :**

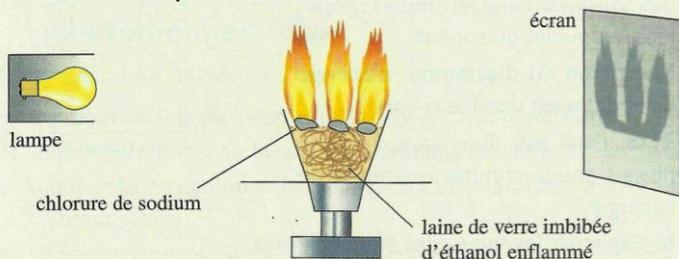
$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

### 12. Les spectres du sodium

1. Le spectre d'une lampe au sodium comporte une radiation visible. Dans l'air, la longueur d'onde de cette radiation est  $\lambda = 589 \text{ nm}$ .

- a. Quelle est la couleur de cette radiation?
- b. Pourquoi précise-t-on « dans l'air » pour la valeur de la longueur d'onde?

2. On réalise l'expérience schématisée ci-dessous.

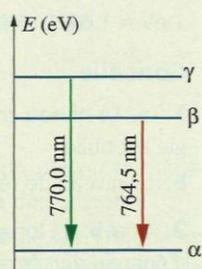


Avec une lampe à incandescence, l'écran est uniformément éclairé. En utilisant la lampe à vapeur de sodium, on observe, sur l'écran, l'ombre de la flamme (voir schéma ci-dessus).

- a. Quel phénomène est responsable de l'absence de lumière derrière la flamme?
- b. Quelle est la longueur d'onde de la radiation absorbée par les éléments chimiques contenus dans la flamme?

### 13. Un doublet du potassium

Une partie du diagramme énergétique du potassium est représentée ci-contre. Sur ce diagramme, on a représenté trois niveaux notés  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ . Le niveau  $\alpha$  est le niveau fondamental. L'énergie d'ionisation de l'atome de potassium est égale à 4,34 eV, l'état ionisé est choisi comme référence d'énergie.



1. Quelle est la valeur de l'énergie  $E_\alpha$  du niveau fondamental?
2. a. Calculer l'énergie de la radiation associée à la transition entre les niveaux  $\alpha$  et  $\beta$ .
- b. Faire de même pour la transition entre les niveaux  $\alpha$  et  $\gamma$ .
3. Quelles sont les valeurs des énergies des niveaux  $\alpha$  et  $\beta$ ?

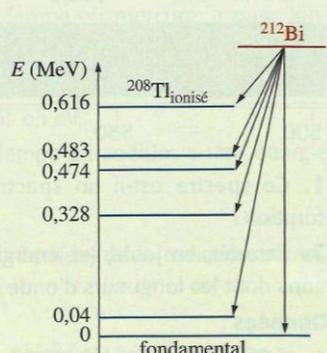
**Données :**

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

### 14. Étude énergétique d'une désintégration

Le bismuth 212,  $^{212}\text{Bi}$ , est radioactif de type  $\alpha$ . Il se désintègre en thallium 208.

Le diagramme énergétique ci-contre représente le niveau d'énergie du noyau père, de bismuth, et ceux du noyau fils.



1. Quel niveau est choisi pour référence de l'énergie? **SOS**
2. Écrire l'équation de la désintégration  $^{212}\text{Bi}$ .

3. a. Calculer la plus grande longueur d'onde des rayons  $\gamma$  émis lors de la désexcitation du noyau fils. **SOS**

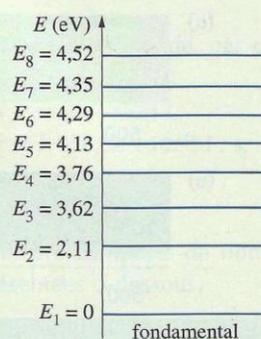
b. Faire de même pour la plus courte longueur d'onde.

**Données :**

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

### 15. Du spectre aux transitions

Le spectre d'émission du sodium comporte quelques raies dans le domaine visible. La plus intense est le « doublet du sodium » (voir l'exercice 7) que l'on peut considérer comme une raie unique dont la longueur d'onde dans le vide est égale à 589 nm. Les longueurs d'onde des autres raies visibles sont : 515 nm, 569 nm et 615 nm.



La figure ci-contre représente une partie du diagramme d'énergie simplifié du sodium.

1. Construire un tableau de valeur indiquant les diverses longueurs d'onde des quatre radiations citées dans le texte, et les énergies des photons correspondants.
2. Retrouver, sur le diagramme d'énergie, les transitions correspondant à ces radiations.

**Données :**

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

### 16. Constante de RYDBERG

Dans le spectre de l'hydrogène, la série de LYMAN est l'ensemble des radiations émises lors du retour de l'atome sur le niveau fondamental. En prenant l'atome ionisé comme état d'énergie nulle, les valeurs  $E_n$  des énergies des divers niveaux sont données par  $E_n = -\frac{E_0}{n^2}$ ,  $n$  étant un entier supérieur ou égal à 1 et avec  $E_0 = 13,6 \text{ eV}$ .

1. a. Calculer les énergies des niveaux caractérisés par  $n$  inférieur ou égal à 5.
- b. Représenter ces niveaux sur un diagramme d'énergie.
- c. Quelle est l'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène? Quelle est l'énergie du niveau fondamental?
- d. Calculer la plus grande et la plus petite longueur d'onde des radiations de la série de LYMAN.

2. Les longueurs d'ondes des transitions entre les niveaux d'énergie  $p$  et  $q$  de l'atome d'hydrogène sont telles que  $\frac{1}{\lambda_{pq}} = R_H \cdot \left( \frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right)$  où  $R_H$  est la constante de RYDBERG,  $p$  et  $q$  étant deux entiers supérieurs ou égaux à 1 et différents l'un de l'autre.

- a. Établir l'expression littérale de la constante de RYDBERG en fonction de  $c$ ,  $h$  et  $E_0$ .
- b. Calculer, en unité du système international, la valeur numérique de  $R_H$ .
- c. En utilisant le résultat précédent, calculer la plus grande et la plus petite longueur d'onde des radiations de la série de LYMAN.

**Données :**

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}; h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

### 17. Les interactions newtoniennes

Un atome d'hydrogène, dont le noyau est noté  $^1_1\text{H}$ , est constitué d'un proton et d'un électron.

1. Quelles interactions, dites newtoniennes, permettent d'interpréter et de prévoir les mouvements des corps macroscopiques?
2. Pourquoi ces interactions présentent-elles des analogies?
3. a. Sans souci d'échelle, représenter, sur un schéma, les forces qui, dans l'atome d'hydrogène, correspondent à ces interactions.

b. Calculer les valeurs de chacune de ces forces.

c. Comparer les valeurs obtenues et conclure.

**Données :**

$$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg};$$

$$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg};$$

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C};$$

$$G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2};$$

$$k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2};$$

distance moyenne entre le proton et l'électron dans l'atome d'hydrogène :  $d = 50 \text{ pm}$ .