

Exercices

Exercices d'application

5 minutes chrono !

1. Mots manquants

- $v = \frac{c}{\lambda}$
- ondulatoire ; corpusculaire
- $\Delta\mathcal{E} = h\nu$
- niveaux ; quantifiées
- photon
- continu ; raies ; absorption

2. QCM

a. $5,45 \times 10^{14}$ Hz : $v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{550 \times 10^{-9}}$ (ne pas oublier d'exprimer λ en m).

b. J.s.

c. Est supérieure à celle d'une radiation de lumière rouge. L'énergie des photons ne dépend que de la longueur d'onde dans le vide (ou de la fréquence) de la radiation ; elle diminue lorsque la longueur d'onde dans le vide augmente. $\lambda_{\text{violet}} < \lambda_{\text{rouge}}$ et

$$\Delta\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda}, \text{ donc } \Delta\mathcal{E}_{\text{violet}} > \Delta\mathcal{E}_{\text{rouge}}.$$

d. D'un photon d'énergie 12,1 eV.

Cette énergie peut faire passer l'atome du niveau 1 au niveau 3.

10,4 eV ne convient pas car le photon doit avoir une énergie strictement égale à la différence entre deux niveaux.

À chaque transition, l'atome ne peut échanger qu'un seul photon : deux photons d'énergie 5,1 eV ne permettent pas d'atteindre le niveau 10,2 eV.

e. La chromosphère.

N.B. : le parcours personnalisé Cap sur la Terminale de ce chapitre est composé des exercices 29, 30 et 32 ; contrairement aux spécimens envoyés qui contiennent, par erreur, les exercices 29, 30 et 31.

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur

Chapitre 5. Le photon

Mobiliser ses connaissances

Lumière et énergie (§1 du cours)

3. Le rayonnement solaire réchauffe la Terre, alimente des cellules photovoltaïques ; il faut dépenser de l'énergie électrique pour éclairer une lampe, etc.

4. Il faut calculer $\lambda = \frac{c}{\nu}$ ou $\nu = \frac{c}{\lambda}$; exprimer ν en Hz et λ en m :

	λ	ν
Onde radio	2,83 m	106 MHz
Micro-onde	11 cm	$2,73 \times 10^9$ Hz
Ultraviolet	$2,0 \times 10^2$ nm	$1,5 \times 10^{15}$ Hz

La lumière : onde ou particules ? (§2 du cours)

5. a. $\Delta\mathcal{E} = h\nu = 1,2 \times 10^{-24}$ J.

b. $\Delta\mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{650 \times 10^{-9}} = 3,06 \times 10^{-19}$ J.

6. $\nu = 4,5 \times 10^{18}$ Hz ; $\lambda = 6,6 \times 10^{-11}$ m.

7. Nombre de photons émis en 1 seconde :

$$N = \frac{\mathcal{E}}{\Delta\mathcal{E}} = 1,7 \times 10^{18} \text{ photons/seconde.}$$

Quantification des niveaux d'énergie (§3 du cours)

8. **a** : il y a perte d'énergie avec émission d'un photon : cette transition est cause d'une raie brillante dans le spectre d'émission.

b : il y a gain d'énergie avec absorption d'un photon : cette transition est cause d'une raie sombre dans le spectre d'absorption.

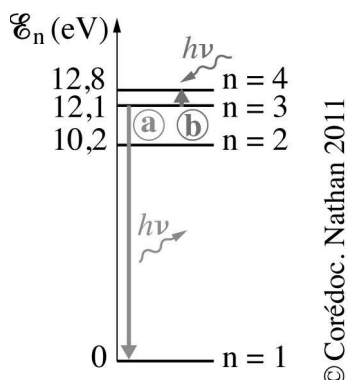
9. On doit observer deux raies sombres aux mêmes longueurs d'ondes dans le spectre du Soleil.

Utiliser ses compétences

10. En eV, $\Delta\mathcal{E} = \frac{2,4 \times 10^{-19}}{1,6 \times 10^{-19}} = 1,5$ eV.

11. $\lambda = \frac{hc}{\Delta\mathcal{E}}$.

12.



13. Exemple de rédaction : « La lumière est émise par les atomes de sodium lorsqu'ils subissent une transition d'un niveau d'énergie à un niveau d'énergie inférieur. L'atome émet alors un photon et un seul. Comme les énergies de l'atome sont quantifiées, les énergies possibles pour les photons émis ne peuvent prendre que certaines valeurs. Il en est donc de même pour les longueurs d'onde des radiations pouvant être émises et le spectre est alors un spectre de raies. »

14. L'échelle 1 cm pour 1 eV convient bien. Vérifier l'annotation de l'axe (énergie ; unité) et le positionnement du zéro.

15. Enlever 10,44 à toutes les valeurs : -10,44 eV ; -4,99 eV ; -3,73 eV ; -2,71 eV.

16. a. Lors de la transition du niveau 2 au 1, l'atome cède de l'énergie puisqu'il passe à un niveau inférieur.

L'énergie cédée est $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 10,2 \text{ eV}$.

En joules, $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = 1,60 \times 10^{-19} \times 10,2 = 1,63 \times 10^{-18} \text{ J}$.

Lors de la transition du niveau 2 au niveau 3, c'est l'inverse qui se produit.

L'énergie reçue est $\mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_2 = 1,9 \text{ eV}$.

En joules, $\mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_2 = 1,6 \times 10^{-19} \times 1,9 = 3,0 \times 10^{-19} \text{ J}$.

b. Lors d'une transition avec échange de rayonnement, l'énergie échangée, $\Delta\mathcal{E}$, est transportée par un photon et un seul.

L'énergie du photon est donnée par la formule de Planck :

$$\Delta\mathcal{E} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \text{ d'où } \lambda = \frac{hc}{\Delta\mathcal{E}}.$$

Dans le premier cas :

$$\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{1,63 \times 10^{-18}} = 1,22 \times 10^{-7} \text{ m} = 1,22 \times 10^2 \text{ nm}.$$

Dans le deuxième cas :

$$\lambda' = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{3,0 \times 10^{-19}} = 6,6 \times 10^{-7} \text{ m} = 6,6 \times 10^2 \text{ nm}.$$

c. Dans le premier cas, l'énergie est cédée par l'atome : le photon est émis. Cette transition se manifeste dans le spectre d'émission.

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur

Chapitre 5. Le photon

Dans le deuxième cas, l'énergie est reçue par l'atome : le photon est absorbé. Cette transition se manifeste dans le spectre d'absorption.

d. Les longueurs d'ondes des radiations dans le domaine visible sont comprises entre 400 nm et 800 nm environ.

Pour $\lambda = 1,22 \times 10^2$ nm, il ne s'agit pas d'une radiation du domaine visible mais du domaine ultraviolet.

Pour $\lambda' = 6,6 \times 10^2$ nm, il s'agit d'une radiation du domaine visible.

Exercices d'entraînement

17. Exercice résolu.

18. a. La lumière est fortement absorbée par le tissu noir. L'énergie reçue produit une augmentation de la température.

b. Le tissu blanc renvoie une grande partie de la lumière, il reçoit beaucoup moins d'énergie.

19. La surface réfléchissante renvoie la lumière vers le milieu extérieur et l'empêche d'échanger de l'énergie avec le contenu du sac.

20. a. $\mathcal{E} = mgz = 10 \times 10^{-6} \times 9,8 \times 1,0 \times 10^{-3} = 9,8 \times 10^{-8}$ J.

b. Nombre de photons :

$$n = \frac{\mathcal{E} \times \lambda}{hc} = \frac{9,8 \times 10^{-8} \times 500 \times 10^{-9}}{(6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)} = 2,5 \times 10^{11}.$$

21. a. $\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{4,90 \times 1,60 \times 10^{-19}} = 254$ nm ; radiation ultraviolette.

b. $\Delta\mathcal{E} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{546 \times 10^{-9} \times 1,60 \times 10^{-19}} = 2,28$ eV ; la seule différence qui convient est celle qui

correspond à la transition 5 à 3.

c. Il y a possibilité de deux transitions successives avec émission de deux photons d'énergies différentes : niveaux 3 à 2 puis 2 à 1 .

22. a. Pour une puissance lumineuse donnée, l'éclairage a un maximum d'efficacité pour l'oeil humain dans le jaune, plus précisément, le jaune-vert (voir chapitre 4).

Les couleurs ne sont plus du tout correctement restituées.

b. Au cours des chocs, les électrons apportent de l'énergie aux atomes de sodium qui la restituent en émettant de la lumière.

c. Avec les données de la page 88 on trouve 2,111 eV et 2,108 eV soit la même valeur 2,11 eV en ne conservant que les 3 chiffres significatifs des données.

En utilisant les valeurs des données à 4 chiffres significatifs (voir les rabats), on obtient 2,105 eV et 2,103 eV.

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur
Chapitre 5. Le photon

23. a. Énergie du photon :

$$\Delta\mathcal{E} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{633 \times 10^{-9}} = 3,14 \times 10^{-19} \text{ J}$$

b. Nombre de photons émis en 1 seconde :

$$N = \frac{\mathcal{P}}{\Delta\mathcal{E}_{\text{photon}}} = \frac{1,0 \times 10^{-3}}{3,14 \times 10^{-19}} = 3,2 \times 10^{15}$$

c. La quantité de photons en moles est :

$$n = \frac{N}{N_A} = 5,3 \times 10^{-9} \text{ mol}$$

24. Pour 9 photons reçus, l'énergie arrivant sur la rétine est :

$$\mathcal{E} = \frac{9hc}{\lambda} = \frac{9 \times 6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{510 \times 10^{-9}} = 3,51 \times 10^{-18} \text{ J}$$

Puisque seulement 10 % des photons parviennent à la rétine, l'énergie qui doit être reçue pendant $\Delta t = 0,10 \text{ s}$ est $\mathcal{E}' = 10\mathcal{E} = 3,51 \times 10^{-17} \text{ J}$.

La puissance lumineuse nécessaire est :

$$\mathcal{P} = \frac{\mathcal{E}'}{\Delta t} = 3,51 \times 10^{-16} \text{ W.}$$

25. a. Absorption par la chromosphère.

b. On ne reçoit plus la lumière provenant de la photosphère. La lumière reçue est celle émise par la chromosphère, beaucoup moins intense.

c. Pour un même gaz, les radiations qu'il peut absorber sont aussi celles qu'il peut émettre.

26. a. $\mathcal{E}_{\text{min}} = 6,4 \times 10^{-19} \text{ J}$.

b. $\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{6,4 \times 10^{-19}} = 3,1 \times 10^{-7} \text{ m}$: radiation ultraviolette.

c. Pour que l'énergie du photon soit supérieure à \mathcal{E}_{min} , la longueur d'onde doit être inférieure à la précédente.

d. Les molécules d'ozone vont donc absorber des photons dans le domaine des UV de courtes longueurs d'ondes (UV B et C) qui altèrent ou détruisent les cellules vivantes.

27. a. Les étoiles émettrices sont très chaudes ; le rayonnement thermique est riche en UV.

b. 13,6 eV.

c. $\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{13,6 \times 1,60 \times 10^{-19}} = 91,4 \text{ nm}$: domaine des UV.

d. Énergie du photon pour $\lambda' = 110 \text{ nm}$:

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{photon}} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{110 \times 10^{-9} \times 1,60 \times 10^{-19}} = 11,3 \text{ eV.}$$

L'absorption d'un photon devrait amener l'atome au niveau $-2,3 \text{ eV}$ qui n'existe pas. Cette radiation est sans effet.

e.

$$\lambda = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{((3,40 - 1,51) \times 1,60 \times 10^{-19})} = 658 \text{ nm.}$$

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur
Chapitre 5. Le photon

28. a. $\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3,00 \times 10^8}{9192631770} = 3,26 \times 10^{-2} \text{ m} = 3,26 \text{ cm.}$

b. $\Delta \mathcal{E}_{\text{photon}} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 9192631770}{1,60 \times 10^{-19}} = 3,81 \times 10^{-5} \text{ eV.}$

c. Les photons n'ont plus exactement l'énergie nécessaire pour faire passer les atomes au niveau B.

d. Exemples d'application : les mesures précises du temps pour coordonner les signaux de communications (téléphonie, Internet) , pour le fonctionnement du GPS ; dans le domaine de la recherche, calculs avec une haute précision des constantes universelles, tests de la théorie de la relativité.

Exercices de synthèse

29. a. Exprimer littéralement l'énergie d'un photon en fonction de la longueur d'onde de la radiation associée.

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda}$$

b. Calculer en joules puis en électrons-volts les énergies des photons associées aux quatre raies visibles du spectre.

λ (nm)	410	434	486	656
$\Delta \mathcal{E}$ (10^{-19} J)	4,85	4,58	4,09	3,03
$\Delta \mathcal{E}$ (eV)	3,03	2,86	2,56	1,90

c. Représenter sur un premier schéma les quatre transitions responsables de ces raies. Voir schéma de la question d.

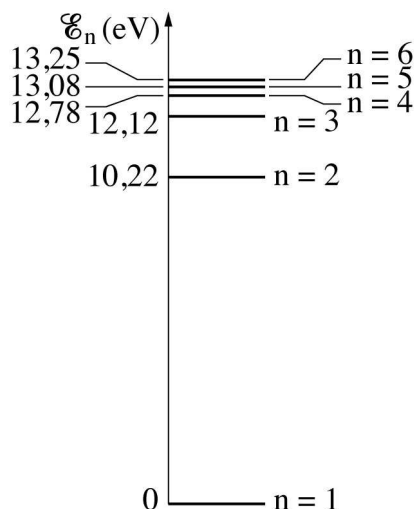
d. Calculer les énergies des niveaux 3 à 6.

L'énergie d'un niveau supérieur à 2 est $\mathcal{E} = \mathcal{E}_2 + \Delta \mathcal{E}$ avec $\mathcal{E}_2 = 10,22 \text{ eV}$:

Niveau	3	4	5	6
Énergie (eV)	12,12	12,78	13,08	13,25

e. Réaliser le schéma complet.

On obtient le diagramme suivant :



© Corédoc. Nathan 2011

Sirius 1^{re} S - Livre du professeur
Chapitre 5. Le photon

30. a. Les chocs des particules d'un gaz sur une paroi produisent à notre échelle une force pressante. Dans le cas de la lumière, une force équivalente est produite par les chocs des photons.

b. Force maximale :

$$F = p \times S = \frac{2 \times P \times S}{c} = \frac{2 \times 1,4 \times 10^3 \times 200}{3,00 \times 10^8} = 1,9 \times 10^{-3} \text{ N.}$$

c. Cette force agit de façon continue et il n'y a pratiquement pas de frottements dans l'espace interplanétaire.

Remarque : cette force est cependant trop faible pour une exploitation utile, mais il s'agit seulement dans cet essai de vérifier la faisabilité de la technique.

d. La voile doit être la plus légère possible pour que la force de pression, qui est très faible, puisse quand même agir de façon sensible sur le mouvement.

Il faut un matériau très résistant pour compenser la finesse de la voile.

31. a. Fréquence :

$$\nu = \frac{\Delta \mathcal{E}}{hc} \text{ avec } \Delta \mathcal{E} = 511 \times 10^3 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\nu = 1,23 \times 10^{20} \text{ Hz.}$$

Longueur d'onde dans le vide :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 2,43 \times 10^{-12} \text{ m} = 2,43 \times 10^{-3} \text{ nm.}$$

b. Voir un tableau des domaines des ondes électromagnétiques (cf. classe de seconde) : le domaine des rayonnements gamma se situe aux longueurs d'ondes inférieures à 10^{-11} m (fréquences supérieures à 3×10^{19} Hz).

c. Les détecteurs réagissent aux passages de photons : c'est l'aspect corpusculaire qui est mis à profit.

d. Les deux photons doivent être détectés simultanément et par deux capteurs visant dans la même direction (dans des sens opposés).

32. a. \mathcal{E}_n ne peut prendre que certaines valeurs.

b. La valeur de \mathcal{E}_n est minimale pour $n = 1$.

$\mathcal{E}_1 = -13,6 \text{ eV}$; c'est l'énergie du niveau fondamental ; les autres états sont excités.

n représente le numéro du niveau d'énergie de l'atome. Dans le cas de l'atome d'hydrogène, c'est aussi le numéro de la couche occupée par l'électron.

c.
$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_q - \mathcal{E}_p = \mathcal{E}_0 \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right).$$

d.
$$\Delta \mathcal{E} = \frac{hc}{\lambda} \text{ d'où } \frac{1}{\lambda} = \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right) \times \frac{\mathcal{E}_0}{hc}.$$

On retrouve la formule de Rydberg avec $R_H = \frac{\mathcal{E}_0}{hc}$.